

Standarder for kapasitetsplanlegging

Forfatter: Kenneth Nielsen

Med tekstbidrag fra: Torben Brand, Lene Jahnsen, Marit Linnerud, Erik Natvig, Thomas Nygreen, Sarah Fossen Sinnathamby, Ove Tovås, Joel Sultan, Johan Fatnes, Kenneth Nielsen

Kvalitetssikret av: Svein Skartsæterhagen

Godkjent av: Christian Knittler

Dokumentet er godkjent elektronisk og er lagret uten signatur

Prosjektnummer: N/A	
Versjon: 1.0	

Forord

Arbeidsmetoden i jernbaneutredninger følger utredningsinstruks fra Direktoratet for økonomistyring (DFØ), KVVU-prosessen, Jernbanedirektoratets virksomhetsstyringssystem og andre aktuelle prosess-beskrivelser.

For å sikre helhetsspektivet i jernbaneutredninger, må alle som jobber med kapasitetsfaglige oppgaver ta hensyn til at etterspørsel etter jernbanetransport, togtilbud og infrastruktur ikke kan utvikles isolert fra hverandre. Transport, trafikk og infrastruktur henger logisk sammen, dvs. at jernbanetransport forutsetter et togtilbud og et togtilbud forutsetter infrastruktur. Motsatt vei begrenser infrastrukturen det togtilbudet som er mulig å tilby, og et gitt togtilbud kan bare generere et visst transportarbeid.

Utredning av hvilken infrastruktur som er nødvendig for å kunne tilby en gitt transportkapasitet og utredning av hvilken transportkapasitet en gitt infrastruktur kan tilby må skje på en konsistent måte på tvers av utredninger og prosjekter. Dette gjelder både for metoder for beregninger og analyser og for beregning av inngangsdata der det ikke foreligger et ferdig datagrunnlag.

Denne veilederen har som hensikt at kapasitetsutredninger og -analyser utføres på en konsistent måte. Veilederen beskriver fremgangsmåter og standardverdier for det kapasitetsfaglige arbeidet, mens den generelle kapasitetsplanleggingsprosessen er beskrevet i et eget dokument «Prosesser for kapasitetsplanlegging» dokumentnummer 201700509-1.

Oslo, juni 2017

Christian Knittler
Fagansvarlig Kapasitet

Innhold

Forord	3
1 Innledning	9
1.1 Formål	9
1.2 Prosess for kapasitetsplanlegging	9
1.2.1 Innledning	9
1.2.2 Planhorisont og planleggingsprosess for infrastrukturkapasitet	10
1.2.3 Leveransen fra kapasitetsprosessene	14
1.2.4 Begreper vedr. ulike konsepter	15
1.3 Analysemetoder og tidshorisont	15
1.3.1 Konstruktive metoder	15
1.3.2 Analytiske metoder	16
1.3.3 Simuleringsmetoder	16
1.3.4 Oppsummering om metoder og tidshorisont	16
1.4 Omfang og oppbygging av håndboken	17
2 Kapasitet	19
2.1 Systemtenking	19
2.2 Begreper vedr. spor	19
2.3 Kapasitetsbegrepet	21
2.3.1 Definisjon og generell beregning	21
2.3.2 Om beregning av togfølgetid	23
2.3.3 Togfølgetid og signalering	24
2.4 Kapasitet på dobbeltspor	24
2.4.1 Ensartet trafikk	24
2.4.2 Blandet trafikk uten forbikjøring	25
2.4.3 Separasjon av trafikk med ulik hastighet	28
2.4.4 Kapasitetsbegrensninger på dobbeltspor	29
2.4.5 Utnyttelse av ruteleier på dobbeltspor	31
2.4.6 Generelt behov for ekstra ruteleier	34
2.4.7 Retningsdrift og linjeføring på stasjoner	35
2.4.8 Plattformlengder og -høyder	36
2.4.9 Forbikjøring på dobbeltspor	36
2.4.10 Avgreninger på dobbeltspor	47
2.4.11 Overkjøringsforbindelser på dobbeltspor	57
2.4.12 Tiltak for å øke kapasitet på dobbeltspor	58
2.4.13 Stasjonsutforming på dobbeltspor	58
2.5 Stasjonskapasitet på dobbeltspor	65
2.5.1 Kapasitetsberegning på stasjoner	66
2.5.2 Antall gjennomkjøringsspor på stasjoner	66
2.5.3 Spor for innfasing av godstog	71
2.5.4 Belegg og flaskehalser på stasjoner	71
2.5.5 Generell betraktning av tidsbelegg på stasjoner	83
2.6 Kapasitet på enkeltspor	85

2.6.1	Generelt beregningsprinsipp på enkeltspor	85
2.6.2	Kryssingstap på enkeltspor	86
2.6.3	Framføringstid og forholdet t/t_0 på enkeltspor	89
2.6.4	Blanding av korte og lange kryssingsspor	99
2.6.5	Tidstap med lange godstog på korte kryssingsspor	102
2.6.6	Plassering av kryssingsspor ut fra kjøretid	103
2.6.7	Antall systemkryssinger langs strekning	104
2.6.8	Tidsavstand mellom kryssingsspor	104
2.6.9	Antall kryssingsspor på enkeltsporsstrekninger	109
2.6.10	Grense for antall tog på enkeltspor	112
2.6.11	Utforming av kryssingsstasjoner	113
2.6.12	Tiltak for å øke kapasitet på enkeltspor	115
2.6.13	Flygende kryssinger	115
2.7	Vendeanlegg	117
2.7.1	Vendespor på stasjon	117
2.7.2	Vending ved plattform	119
2.7.3	Vending bak plattform	120
2.7.4	Oppsummering om vending ved og bak plattform	123
2.7.5	Vendeanlegg i moduler	124
2.7.6	Antall vendespor per linje	126
2.7.7	Plassering av vendeanlegg	127
2.8	Robusthet	128
2.8.1	Punktlighet og marginer	128
2.8.2	Spredning av forsinkelser	128
2.8.3	Reserveruteleier	131
2.8.4	Buffertid	132
2.9	Materiellbehov	133
2.9.1	Generell beregning av materiellbehov	133
2.9.2	Materiellbehov i rush	135
2.9.3	Reservemateriell	136
2.10	Hensetting	137
2.10.1	Behov for hensetting	137
2.10.2	Tilkobling av hensettingsanlegg	138
2.10.3	Driftsbanegårder	142
2.11	Godsterminaler	143
2.11.1	Om beregning for godsterminaler	143
2.11.2	Volum i enheter og i tonn	143
2.11.3	Antall tog per døgn	144
2.11.4	Avgangs- og ankosmtfrekvens	144
2.11.5	Antall tog i omløp	146
2.11.6	Toglengde og antall spor	148
2.11.7	Statisk sporkapasitet	150
2.11.8	Lastespor	150
2.11.9	Løftekapasitet	156
2.11.10	Reservespor	161
2.11.11	Avisingsanlegg	161

2.11.12	Lokspor	161
2.11.13	Dynamisk sporkapasitet	161
2.11.14	Dimensjonerende sporbehov	165
2.11.15	Areal	165
2.12	Kjøretidsberegning	166
2.12.1	Akselerasjoner og retardasjoner	166
2.12.2	Om beregning av gjennomsnittshastigheter	167
2.12.3	Kjøretidsbesparelse ved innkorting av trase	167
2.12.4	Framføringstillegg	168
2.12.5	Skjøting og deling	179
2.12.6	Oppholdstider	180
2.12.7	Tillegg for kjøring i avvik	181
3	Verktøy og datagrunnlag.....	182
3.1	Verktøy	183
3.1.1	OpenTrack	183
3.1.2	Treno	184
3.1.3	Viriato	185
3.2	Datakilder	185
4	Dimensjoneringsgrunnlag.....	189
4.1	Generelle krav og føringer	189
4.1.1	Punktlighets-, sikkerhets- og miljøkrav.....	189
4.1.2	Vedlikehold	191
4.2	Transportkapasitet - etterspørsel	199
4.2.1	Transportmarked	199
4.2.2	Relevant transportmarked	199
4.2.3	Geografiske markeder	200
4.2.4	Transportkapasitetsmål	203
4.2.5	Transportmodeller	204
4.2.6	Dimensjonerende snitt	205
4.3	Trafikkapasitet	206
4.3.1	Innledning	206
4.3.2	Persontrafikk	206
4.3.3	Godstrafikk	219
4.4	Materiellets egenskaper	224
4.4.1	Transportkapasitet	224
4.4.2	Kjøretid og framføringstid	225
4.4.3	Akselerasjon og retardasjon	225
4.4.4	Passasjerutveksling og oppholdstid	225
4.4.5	Materielltyper	226
4.4.6	Vendetid	226
4.4.7	Standardmateriell	227
4.5	Oppfattet tilbud	228
4.5.1	Problemstilling	228
4.5.2	Ventetider	229
4.5.3	Oppfattet frekvens	229

4.5.4	Avgangsventetid og ankomstventetid	230
5	Rutemodelluavhengig dimensjonering - lang sikt	233
5.1	Konseptuell dimensjonering	233
5.1.1	Inngangsdata til rutemodelluavhengig prosess	233
5.1.2	Materiellbehovsestimat	233
5.1.3	Hensettingskonsept	233
5.1.4	Øvrig trafikk	234
5.1.5	Driftskonsept	234
5.1.6	Tilgjengelig infrastruktur	234
5.1.7	Banekonsept og funksjonskrav	234
5.2	Identifikasjon av anbefalt løsning	235
5.2.1	Utredningsfasen	235
5.2.2	Strategiutredninger	235
5.2.3	KVU/KS1	235
5.2.4	Beskrivelse av anbefalt løsning	235
5.3	Bruk av identifiserte løsning	236
6	Rutemodellavhengig dimensjonering - mellomlang sikt	237
6.1	Strategisk dimensjonering	237
6.1.1	Rutemodell	237
6.1.2	Materiellturnering	245
6.1.3	Hensettingsmodell	245
6.1.4	Øvrig trafikk	245
6.1.5	Infrastrukturmodell	246
6.1.6	Verifisering av robusthet og kapasitet	246
6.1.7	Verifisert prinsipplosning	247
6.2	Identifikasjon av anbefalt løsning	248
6.2.1	Tiltaksutredning og tiltaksliste	248
6.2.2	Effektpakker	248
6.2.3	Strekningsvise utviklingsplaner	250
6.3	Oppfølging av resultatmål i hovedplaner	250
6.3.1	Anbefalt løsning og hovedplaner	250
6.3.2	Verifikasjon av måloppnåelse	250
7	Referanser	251
8	Vedlegg	254
	Vedlegg 1. Prosessflytdiagrammer	255
8.1	Rutemodelluavhengig kapasitetsplanlegging – lang sikt	255
8.2	Rutemodellavhengig kapasitetsplanlegging – mellomlang sikt	256
	Vedlegg 2. Beregning av togfølgetider	257
8.3	Togfølgetid på enkeltspor	257
8.4	Togfølgetid på dobbeltspor og ulik hastighet	258
8.5	Konvensjonelt sikringsanlegg	260
8.5.1	Blokkprinsipp med konvensjonelt sikringsanlegg	260
8.5.2	Beregning av togfølgetid i konvensjonelt sikringsanlegg	261

8.5.3	Blokk lengde ved akselerasjon.....	262
8.5.4	Togfølgetid ved akselerasjon og retardasjon.....	263
8.5.5	Blokk lengde ved bremsing med konvensjonelle signaler	266
8.5.6	Automatisk togkontroll, ATC	268
8.5.7	Gjennomsignaler i ATC.....	269
8.6	ERTMS	272
8.6.1	Generelt prinsipp	272
8.6.2	Belegg i blokker med ERTMS	273
8.6.3	Kryssing med ERTMS	277
8.6.4	Togfølgetid ved kryssende togveier	278
Vedlegg 3. Avgrening i plan.....		280
8.7	Ventetider	280
8.8	Antall ruteleier	281
8.9	Oppsummering	283
Vedlegg 4. Definisjoner		285

1 Innledning

1.1 Formål

Denne kapasitetshåndboken skal benyttes som veileder i forbindelse med Jernbanedirektoratets arbeid med infrastrukturdimensjonering for tilstrekkelig transport- og trafikkapasitet.

Kapasitetshåndboken skal utgjøre et grunnlag for å sikre enhetlige metoder og standarder, både når arbeid gjøres internt i Jernbanedirektoratet og av andre parter.

Kapasitetshåndboken er *ikke* en *lærebok* i kapasitet men en presentasjon av dimensjoneringsprinsipper og standardverdier for ulike parametere som benyttes i dimensjoneringsprosessen. Det er allikevel en del metodebeskrivelse som danner grunnlag for vurderinger og anbefalinger i håndboken og som gir grunnlag for vurderinger som gjøres når det skal utføres kapasitetsarbeid.

Primære brukere er

- Seksjon Trafikk og kapasitet, avdeling Persontrafikkavtaler i Jernbanedirektoratet
- Ansatte i Bane NOR som utfører kapasitetsrelaterte oppdrag for Jernbanedirektoratet
- Eksterne rådgivere som utfører kapasitetsrelaterte oppgaver for Jernbanedirektoratet

1.2 Prosess for kapasitetsplanlegging

Dette avsnittet skisser kort prosessen for infrastrukturplanlegging på jernbane. Hensikten med omtalen her er å gi bakgrunn og sammenheng for de standardene og anbefalingen som er i denne håndboken. En mer omfattende beskrivelse er gitt i rapporten «Prosesser for kapasitetsplanlegging, Infrastrukturdimensjonering på mellomlang og lang sikt» [1].

1.2.1 Innledning

Samferdsel til lands er preget av kapitalintensiv infrastruktur med lang levetid samt at samferdselsinfrastruktur ikke kan flyttes hvis det viser seg at transportbehovet er større et annet sted. Spesielt jernbaneinfrastruktur er et anleggsbasert produksjonsmiddel som er ekstremt lite fleksibelt pga. den tekniske kompleksiteten. Feil i planlegging og dimensjonering er normalt ikke mulig å rette med rimelige midler etter at tiltak er gjennomført.

Sammen med offentlig kjøp av transport på jernbane er Jernbanedirektoratets hovedprodukt å sørge for planlegging og bestilling av infrastrukturkapasitet på den statlige jernbaneinfrastrukturen. Tilstrekkelig jernbaneinfrastrukturkapasitet er en essensiell forutsetning for togselskaper som tilbyr person- og godstransporttjenester. Infrastruktursystemet er sammensatt av flere hovedkomponenter, som f. eks. strekninger, stasjoner, energiforsyning, hensettingsområder etc. Totalkapasiteten styres av det svakeste leddet. For å unngå flaskehalser, må samtlige delsystemer være tilstrekkelig dimensjonert for den planlagte trafikken.

Risiko for feilinvestering i jernbaneinfrastruktur med betydelige konsekvenser for nytte-/kostforholdet kan skyldes forhold innen:

- Mål: Manglende mål for transportsystemet
- Operasjonalisering: Manglende operasjonalisering av mål med tanke på transport- og trafikkbehov
- Prognoser: Manglende underlag om prognoser for etterspørselen
- Kostnader: Investeringen ikke kan gjennomføres innenfor den aksepterte prosjektsikkerheten
- Systemtenkning: Overdimensjonering eller underdimensjonering av delsystemer eller uteglemmelse av delsystemer

Risikoen for feilinvestering kan reduseres betydelig når det tas utgangspunkt i klare strategiske transportmål og en areal- og transportpolitikk som i størst mulig grad bygger opp under det strategiske målet.

Strategiske målsetninger er en forutsetning for å dimensjonere hele transportsystemet på en balansert måte i henhold til det fremtidige transportbehovet. Overdimensjonering medfører unødvendige kostnader og underdimensjonerte komponenter blir flaskehals i systemet som begrenser totalkapasiteten og fører til ulønnsomme overinvestering andre steder, siden en del kapasitet blir ubrukt som konsekvens av flaskehalsene.

1.2.2 Planhorisont og planleggingsprosess for infrastrukturkapasitet

Valg av metode for å gjennomføre en kapasitetsanalyse avhenger av planhorisonten på arbeidet som skal gjennomføres. En planhorisont tilsvarer et tidspunkt i framtiden som en virksomhet setter virksomhetsmål for. Avhengig av produkt og produksjonsmiddel kan planhorisonten variere fra noen måneder til et perspektiv på flere tiår. I jernbanesammenheng er det grovt sett tre planhorisonter:

Planhorisont på lang sikt, 15-30+ år

Jernbaneinfrastruktur har lang levetid og nedbetalingstid på opptil 80 år. Derfor bør det velges den lengste mulige tidsperioden som det kan lages etterspørselsprognoser med akseptert usikkerhet for. En planhorisont på ca. 30 år er rimelig med hensyn til utvikling av jernbaneinfrastruktur.

Planlegging på lang sikt skjer rutemodelluavhengig og rutetilbud omtales på konseptuelt nivå, det vil si i form av tilbudskonsept med antall tog per time som viktigste parameter.

Planhorisont på mellomlang sikt, 4-15 år

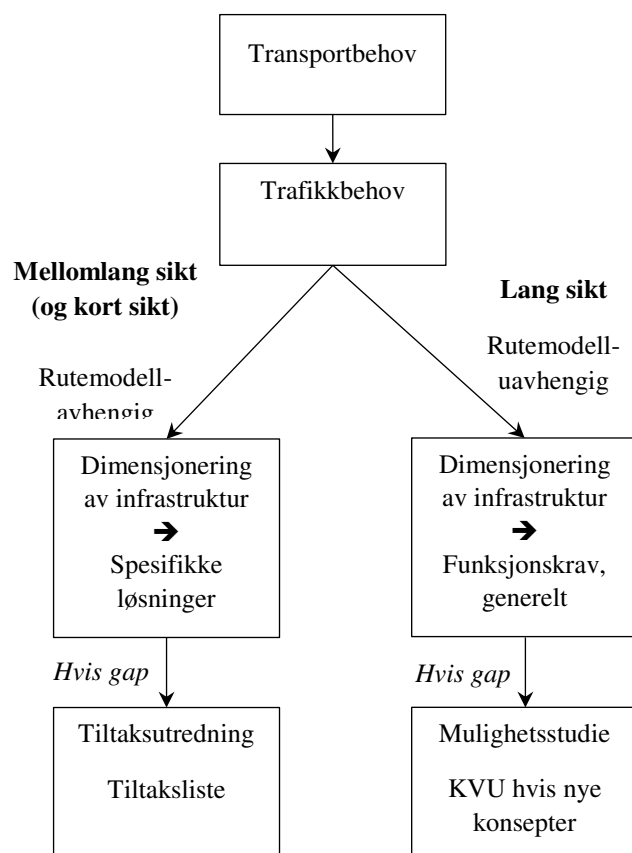
I Jernbanesammenheng er perioden fra 4 år til 10-15 år å regne for mellomlang sikt. Dette er den perioden det kan planlegges investeringer for, gjennom Nasjonal Transportplan. Det er også nært nok fram i tid til at rutemodeller benyttes som grunnlag for planlegging. En del store investeringer i perioden er som oftest kjent og siden hovedtrekkene i jernbaneinfrastrukturen i stor grad er fastsatt, gjøres planleggingen derfor rutemodellavhengig.

Arbeidet med rutemodeller identifiserer investeringstiltak som er nødvendige for å realisere et tilbudskonsept. Dette kalles strategisk rutemodellarbeid.

Planlegging på kort sikt, 0-4 år

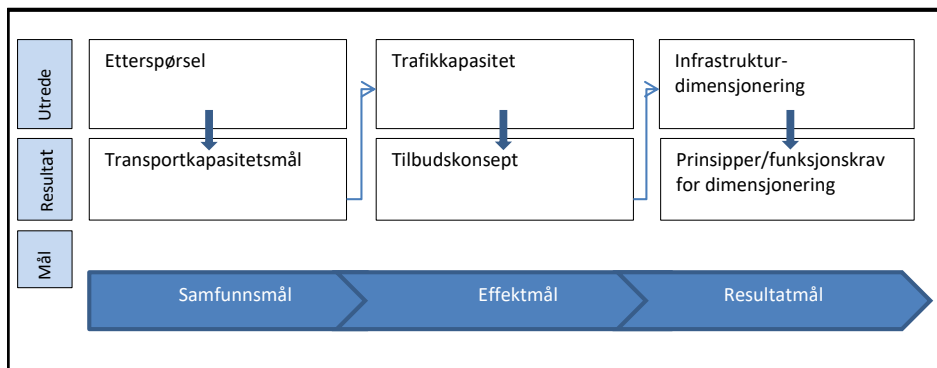
På kort sikt er det svært lite handlingsrom for nye investeringer. Derfor går arbeidet på kort sikt ut på å analysere kapasitetsforhold basert på eksisterende ruteplaner, endringer i rutemodeller eller virkning av ibruktakelse av ny infrastruktur. Dette kalles taktisk ruteplanarbeid. Tilnærmingen er rutemodellavhengig og kan derfor plasseres sammen med prosess for mellomlang sikt.

Kapasitetsprosessens hovedstruktur er skissert i Figur 1. Grunnprinsippet er at det er en inndeling mellomlang sikt (som også omfatter kort sikt) og lang sikt avhengig av planhorisont.



Figur 1. Generell beskrivelse av kapasitetsplanleggingsprosess.

Formålet med kapasitetsplanleggingsprosessen er å operasjonalisere transportbehovene som er definert ved samfunns-, effekt- og resultatmål. Kapasitetsplanleggingsprosessen kan også illustreres som vist i Figur 2 der det generelle prosessforløpet (med en tidshorisont på lenger enn fire år) er vist.



Figur 2. Kapasitetsplanleggingsprosess, generelt forløp.

Planleggingen foregår gjerne i en iterativ prosess der resultater av dimensjoneringsprosessen kan medføre at tilbudskonseptet blir revidert for å få en bedre utnyttelse av infrastrukturen eller justering av kostnadsomfang.

I arbeidet med å dimensjonere tilbud og infrastruktur er det en rekke spørsmål som skal besvares. Det vil være behov for iterasjoner i utarbeidelsen av konsepter og løsninger, men sekvensielt framstillet kan prosessen framstilles som om vist i Tabell 1.

Tabell 1. Spørsmål som utredes i planleggingsfasen.

Spørsmål som skal besvares	Resultat av utredning for spørsmål	Tema
Hvilke typer transport blir etterspurt?	Marked	Transportkapasitet
Hvilke typer transport i markedet er relevant å utføre med tog?	Relevant transportmarked	Transportkapasitet
Mellom hvilke geografiske områder eksisterer det reiserelasjoner som kan grupperes som «et hele» og som skal betjenes med tog?	Geografisk marked	Transportkapasitet
Hvor mange reisende blir det per år i de geografiske markedene?	Dimensjonerende snitt	Transportkapasitet
Hvor mange reisende i dimensjonerende time er det i de geografiske områdene?	Dimensjonerende snitt	Transportkapasitet
Hvor skal tog gå for å betjene markedene?	Korridor	Trafikkapasitet
Hvilke baner kan benyttes?	Linjevei	Trafikkapasitet
Hvordan kan togene kjøres med start- og sluttdestinasjoner, med hvilket stoppmønster kan tilbudet bygges opp for å utføre tilbudet samtidig som materiellet utnyttes best mulig?	Linjekonsept	Trafikkapasitet
Hva gjelder for linjekonseptet mht.: • stoppmønster, • framføringstid (evt. mål for dette), • frekvens (evt. faste intervaller),	Tilbudskonsept	Trafikkapasitet

Spørsmål som skal besvares	Resultat av utredning for spørsmål	Tema
- døgnfordeling (tog per time) i ulike intervaller - spesifikasjon av intervallvarigheter - materiellegenskaper basert på standardtog, inkl. setekapasitet <i>Tilbudskonsept omfatter ikke konkrete rutetider.</i>		
Hvilke egenskaper skal materiellet ha for å kunne tilby f.eks. nok setekapasitet, komfort og kjøredynamikk?	Togmateriellets egenskaper	Transport-kapasitet Trafikk-kapasitet
Hvilke materiell skal velges	Materiell	Transport-kapasitet Trafikk-kapasitet
Hvor mye materiell er nødvendig for å implementere tilbudskonseptet - Frekvens - Antall sett per avgang	Materiellbehovsestimat	Infrastruktur-dimensjo-nering
Hvor skal materiellet henses når det ikke er i drift - Hvor skal hensetting være - Hvor mange og lange hensettingsspor er nødvendige	Hensettingskonsept	Infrastruktur-dimensjo-nering
Hvilken annen trafikk i tillegg til tilbudet definert i tilbudskonseptet blir det mht.: - Tomtogkjøring - Posisjoneringskjøring - Arbeidsmaskiner - Løslok	Driftskonsept	Infrastruktur-dimensjo-nering
Passer infrastrukturen til den foreslåtte bruken slik at det er tilstrekkelig kapasitet? Hvis det er flere baner å velge imellom i en korridor, hvilke baner kan trafikken da fordeles på for å gi best mulig etterspørselseffekt og materiellutnyttelse? Hvilke typer tiltak bør gjennomføres for å kunne avvike trafikken?	Banekonsept	Infrastruktur-dimensjo-nering
Summen av ovenstående utgjør grunnlag for funksjonskrav for infrastrukturen. Funksjonskravene kan operasjonaliseres mht. - Strekningsskapasitet - Stasjonsskapasitet - Vendekapasitet - Hensettingskapasitet	Funksjonskrav	Infrastruktur-dimensjo-nering
Utredning av løsning som oppfyller funksjonskravene	Utredning av løsning	Identifikasjon av anbefalt løsning

For en mer utførlig beskrivelse av prosessene vises det til rapporten «Prosesser for kapasitetsplanlegging» [1].

1.2.3 Leveransen fra kapasitetsprosessene

Leveransen fra kapasitetsprosessen på lang sikt er spesifiserte *funksjonskrav* til infrastrukturen. Det er grunnet den rutemodelluavhengige tilnærmingen en generell beskrivelse av funksjonskrav og ytelse, f.eks.:

- Antall spor (enkeltspor, dobbeltspor eller fire spor)
- Antall kryssingsspor på enkeltporstreknings
- Lengde av kryssingsspor
- Generelle føringer for minste tekniske togfølgetid
- Behov for samtidig innkjør på kryssingsstasjoner
- Behov for planskilthet i avgreninger eller ventespor
- Antall plattformspor per retning
- Lengde av plattformer
- Sporskisser for dobbeltsporsstreknings med forbindelsesspor
- Sporskisser for stasjoner med antall spor, med funksjonelle plassering av spor og sporforbindelser
- Antall vendespor og plassering i forhold til stasjoner og andre spor
- Omtrentlig plassering og antall av forbikjøringsspor

Leveransen fra kapasitetsprosessen på *mellomlang sikt* er basert på rutemodeller og eksisterende samt vedtatt infrastruktur. Leveransen er mer spesifikt en leveranse fra den rutemodelluavhengige prosessen. Resultatet av den rutemodellavhengige dimensjoneringen vil være f.eks.:

- Antall spor (enkeltspor, dobbeltspor eller fire spor)
- Plassering av kryssingsspor på enkeltporstreknings på km-nivå
- Retning av forlengelse av kryssingsspor
- Hastighet i veksler
- Minste tekniske togfølgetid på linjen og på stasjoner
- Behov for samtidig innkjør på kryssingsstasjoner
- Behov for planskilte avgreninger eller ventespor samt hastighet i veksler
- Antall plattformspor per retning samt angivelse av sporbruk og plattformbruk for ulike linjer
- Lengde av plattformer
- Sporskisser med plassering av forbindelsesspor på dobbeltsporsstreknings
- Sporskisser for stasjoner med antall plattformspor og sporforbindelser
- Vendespor med antall og plassering i forhold til stasjoner og andre spor
- Angivelse av plassering og lengde av forbikjøringsspor

På kort sikt er leveransen tilsvarende leveransen på mellomlang sikt. Forskjellen er at det tas utgangspunkt i eksisterende eller vedtatt infrastruktur.

1.2.4 Begreper vedr. ulike konsepter

I arbeidet med infrastrukturendimensjonering arbeides det med *konsepter* på ulike nivåer for å utvikle ulik grad av detaljert plangrunnlag. Tabell 2 viser de sentrale begrepene linjekonsept, tilbudskonsept og driftskonsept. (Det vises også til vedlegg 4 Definisjoner).

Tabell 2. Sentrale begreper vedr. konsepter. NB. Ingen av konseptene som er omtalt i tabellen omfatter konkrete rutetider.

Begrep	Forklaring
Linjekonsept	Ett sett linjer som sammen betjener ett eller flere geografiske markeder. Et linjekonsept beskriver ønsket linjestruktur i et definert område og hvordan trafikken på linjene samvirker.
Tilbudskonsept	= Linjekonsept + • stoppmønster, • framføringstid (evt. mål for dette), • frekvens (evt. faste intervaller), • døgnfordeling (tog per time) i ulike intervaller • spesifikasjon av intervallvarigheter (varighet rush og grunnrute) • materiellegenskaper basert på standardtog, inkl. setekapasitet <i>Tilbudskonsept omfatter ikke konkrete rutetider.</i>
Driftskonsept	= Tilbudskonsept + • Tomtogkjøring • Posisjoneringskjøring • Arbeidsmaskiner • Løsløk • mm
Banekonsept	Et banekonsept er en kombinasjon av infrastruktur og togtrafikk, i et avgrenset område bestående av én eller flere banestrekninger. Banekonsepter beskriver arbeidsdelingen mellom banestrekninger.

1.3 Analysemetoder og tidshorisont

Det er grunnleggende tre metoder for å analysere kapasitet. Dette er:

- Konstruktive metoder
- Analytiske metoder
- Simuleringsmetoder

1.3.1 Konstruktive metoder

Konstruktive metoder er å etablere en ruteplan og se hva som er mulig å få til. Grensen for det antall tog som er mulig å få til defineres da som kapasiteten for den aktuelle infrastrukturen og det valgte tilbudskonseptet. Det kan også via den realiserte ruteplanen identifiseres hvor det er kritisk belegg og hvor det er flaskehalser eller f.eks. hvor stort belegg det er på ulike plattformspor.

1.3.2 Analytiske metoder

Analytiske metoder er beregningsmetoder. Beregningene kan være basert på enkle formler for tidsbelegg og utnyttelse av infrastrukturen eller de kan være basert på sannsynlighetsteoretiske betraktninger, f.eks. på køteori eller sannsynlighet for ulike typer konflikter eller belegg.

1.3.3 Simuleringsmetoder

Simuleringsmetoder benytter seg av computermodeller av infrastruktur og ruteplan. Simuleringen etterligner på detaljert nivå den reelle framføringen og kan være deterministisk eller stokastisk.

Deterministisk simulering

Deterministisk simulering betyr at simuleringsprogrammet med utgangspunktet i ruteplanen beregner framføring for togene og tilpasser framføringen etter det som er mulig med tanke på ledige togveier. Det kan derfor være avvik mellom simulert framføring og ønsket ruteplan. På enkeltspor vil programmet tilpasse framføringen så kryssinger skjer der det er mulig å krysse.

Stokastisk simulering

Stokastisk simulering betyr at det på et antall definerte steder i infrastrukturen introduseres tilfeldige forsinkelser for togene. Samlet framføringsbilde vil derfor være stokastisk og avspeile hvordan forsinkelser betyr for samlet forsinkelse for alle tog, inkludert gjensidig påvirkning av forsinkede tog.

Resulterende forsinkelser kan analyseres ved enkelte punkter eller for en serie av punkter langs infrastrukturen for å studere variasjoner langs en strekning. Anvendelsen er dels å verifisere robustheten til en ny ruteplan, dels å sammenligne robusthet i ulike alternativer for infrastruktur.

Når resultatet skal vise en absolutt forsinkelse (ikke relativ sammenligning mellom konsepter) må simuleringsmodellen kalibreres slik at simuleringsresultatene for en kjent, reell ruteplan og infrastruktur gjenspeiler kjente forsinkelser. Deretter kan resultatene for andre løsninger av infrastruktur og/eller ruteplan analyseres.

Stokastisk simulering er den eneste metoden som kan gi svar om forsinkelser og punktlighet på et absolutt nivå. Andre metoder gir en indikasjon og resultatene av disse kan brukes som grunnlag for relative sammenligninger.

Kapasitet kan bestemmes indirekte ved å øke trafikken inntil forsinkelsesnivå ikke lenger er akseptabelt. Kapasiteten er da lik trafikken når grensen er nådd.

1.3.4 Oppsummering om metoder og tidshorisont

Hver metode har sine styrker og svakheter og egner seg til ulike typer analyser. Tabell 3 viser hvilke typer analyser hver metode egner seg for.

Tabell 3. Analysemetoder og tidshorisont.

	Analysetype	Kort sikt 0 – ca. 4 år <i>Detaljer er kjent om ønsket ruteplan og infrastruktur</i>	Mellomlang sikt ca. 4 - ca. 15 år <i>Noen detaljer er kjent, en del på konseptnivå</i>	Lang sikt ca. 15- år <i>Bare konsept er kjent</i>
Metode	Detaljerings- grad			
Konstruktiv	Høy	X	X	(X)
Simulering	Høy	X	X	(X)
Analytisk	Lav	(X)	X	X

Analytisk metode får ikke med seg spesifikke forhold som konflikter i enkeltspor og detaljert framføringstid i ulike konsepter. Motsatt er konstruktiv metode arbeidsintensiv og krever mye jobb for å analysere et bredt antall scenarier for å dekke usikkerheten i langsiktig planlegging.

For konstruktiv metode og simulering kreves det analyse av flere scenarier for å dekke usikkerhet når ruteplan og/eller infrastruktur ikke er kjent. Dette kan være omfattende og metodene er derfor ikke egnet for langsiktig planlegging. Simulering krever i tillegg en veldig nøyaktig modell av infrastrukturen og hvis denne ikke finnes fra før kan modelletablering ta lang tid.

Det kan for kort sikt kreves mer detaljert svar enn det analytisk metode kan gi. Metoden er derfor ikke egnet for kortsiktig planlegging.

Jo kortere tidshorisont for en analyse desto mer detaljert svar ønskes det og motsatt er det for langsiktige analyser større usikkerhet slik at det ikke kan gis samme detaljerte svar. Metodene kan imidlertid benyttes på tvers av nivå for samme tidshorisont avhengig av hvor detaljert svar som ønskes og hva analysen skal brukes til. Det gjelder da primært å benytte analytiske metoder i kortsiktig planlegging, for å kunne sammenligne konsepter på et grovt nivå.

Usikkerheten i langsiktig planlegging må håndteres gjennom å utforme fleksible løsninger.

1.4 Omfang og oppbygging av håndboken

Håndboken er bygget opp som en gjennomgang av prinsipper for kapasitetsberegninger. Det er videre diskutert ulike infrastrukturutforminger og veiledende grenseverdier for valg av type løsning. Beregninger og bruk av metoder gjennom eksempler.

Kapittel 3 omhandler verktøy og datagrunnlag som Seksjon Trafikk og kapasitet benytter.

Det er en felles gjennomgang av beregning av transport- og trafikketerspørsel i kapittel 4. Avhengig av planleggingshorisont er det beskrevet hvordan infrastrukturen dimensjoneres. Videre er det omtalt hvordan prosessen er videre fram mot valg av løsning. Dette er omtalt i kapittel 5 (lang sikt) og kapittel 6 (mellomlang sikt).

Vedlegg 1 er gjengivelse av prosessflytskjemaer i større format, vedlegg 2 omhandler beregning av togfølgetider, vedlegg 3 omhandler ventetider ved avgrening i plan og vedlegg 4 er en oversikt over definisjoner.

2 Kapasitet

Dette kapittelet omtaler noen sentrale forhold vedrørende kapasitet på jernbanen.

For en ytterligere omtale av kapasitet, se [1], [6], [7], [8], [9] og [10].

2.1 Systemtenking

Kapasitet betyr generelt yteevne og for at jernbanen som *system* skal kunne yte det som er forventet er det mange ulike delelementer som må være på plass og ha tilstrekkelig kapasitet:

- Strekningskapasitet
- Stasjonskapasitet
- Vendekapasitet (for å snu retning på tog)
- Hensettingskapasitet (parkering)
- Banestrømskapasitet
- Kommunikasjonssystemers kapasitet
- Verkstedskapasitet
- Renholds- og servicekapasitet
- Personellkapasitet
- etc.

Det er i denne håndboken sett på følgende elementer i systemet:

- Strekningskapasitet
- Stasjonskapasitet (inkludert godsterminaler)
- Hensettingskapasitet
- Vendekapasitet

2.2 Begreper vedr. spor

Infrastrukturen beskrives enten horisontalt som deler av togframføringsprosessen eller vertikalt som tekniske komponenter innen de jernbanetekniske fagene. Kapasitetsfaget er sterkt knyttet opp imot togframføringen. Dermed beskrives dette først. Da kapasitetsfaget gir noen men da svært førende overordnede parameter for de jernbanetekniske fagene vil dette omtales til slutt.

Det mest overordnede begrepet av jernbaneinfrastruktur er en **bane**. Denne består av en eller flere **banestrekninger**. Banestrekningene kan igjen være sammensatt av **delstrekninger**. Delstrekninger er enten en **linje** eller en **stasjon**. Begrepet delstrekning blir dog lite brukt til fordel for direkte bruk av begrepet linje eller stasjon. Grensen mellom stasjon og linjen er stasjonens innkjørhovedsignal.

Linjen og stasjonen består av forskjellige former for **spor**. På linjen er det **hovedspor** eller **sidespor**. På hovedspor kjøres materiell som tog. På sidespor kjøres materiell som skift. Ett enkelt hovedspor på linjen er et **enkeltspor** og to spor et **dobbeltspor**. I kapasitetsfaget legges dobbeltsporenes høyre/venstre side fast (i motsetning til i TJN der de er definert ut ifra retningen på togets rute). Høyre hovedspor følger økende kilometrering og bruker spornummer 01. Venstre hovedspor følger synkende

kilometrering og bruker spornummer 02.

På stasjonen er det **hovedtogspor**, **avviketogspor** og **øvrige spor**. Hovedtogspor ligger i normal, det vil si signalanleggets grunnstilling, mens avviketogspor ligger i ikke-normal. Dette må ikke forveksles med overbygningsbetegnelsen rett hovedspor og krumt avvikespor på sporvekselen. Da et avvikespor som er definert i normal vil være et hovedtogspor. Dette forekommer dog svært sjeldent.

Togspor (hovedtogspor eller avviketogspor) må være sikret med en togveg igjennom signaler. Øvrige spor kan være sikret med skifteveger, danne et lokalt skifteområde eller være et usikret område. En kan kun kjøre inn eller ut på en stasjon ifra/til et togspor.

Passasjerutveksling kan foregå på tre forskjellige steder: holdeplasser, stasjoner og stoppesteder.

Holdeplasser ligger på linjen. Stasjoner (passasjerutveksling) ligger på en stasjon (TJN) som jernbaneteknisk er et sted en togvei (strekning med tillatelse til å kjøre materiell som tog) kan starte og slutte. I tillegg kan det forekomme et stoppested (eller teoretisk flere) inne på stasjonen.

Godsutveksling kan foregå på en terminal, inne på ett eller flere dedikerte spor på en stasjon (eller hele stasjonen) eller på et eller flere industrispor samt på sidespor.

Jernbaneinfrastruktur beskrives ofte også som kjørevegen og består av fagkomponentene: strømforsyning, tele, signal, overbygning og underbygning. Underbygningen skal sørge for at det er fysisk plass til trassen i terrenget og profilet, samt bære sporet stabilt. Overbygging fører og bærer toget og leder dets krefter inn i underbygningen. Signalanlegget bidrar til sikker fremføring av togene. Kontaktledningsanlegget sørger for en kontinuerlig overføring av elektrisk energi til togene. Særdeles signal og overbygning har stor innflytelse på kapasiteten.

Som kapasitetsdefinisjonsparameter for strømforsyning og tele benyttes det en rutemodell til å beskrive hvilke standardtogtyper som befinner seg i et definert område samtidig. Rutemodellen vil også kunne gi en mer detaljert innputt til overordnede energisimuleringer.

Kapasitetsdefinisjonsparameter for signal vil være grunnleggende skjematisk sporplan (kapasitet), minste togfølgetid, fremføringskategorier og avhengigheter (samtidig innkjør) forutsatt ut ifra tilbudskonseptet.

Overbygning sine kapasitetsdefinisjonsparametere vil være grunnleggende skjematisk sporplan, aksellast og hastigheter. Aksellast vil som oftest være gitt av overordnede regelverk eller strategier. Hastighetene avledes ut fra kjøretider i tilbudskonseptet, som dimensjonerende hastighet, normal hastighet og minste hastighet samt avvikshastighet på stasjonene. Normal hastighet er gjennomsnittshastigheten definert ut fra den korteste kjøretiden mellom to stasjoner i tilbudskonseptet.

Dimensjonerende hastighet er valgt av standard for fremtidige driftskonsept med kortere kjøretider og for å gi en sporplanlegger muligheten til å velge lavere hastigheter enn normal hastighet ved vanskelige trasseringspartier. Minste hastighet definerer hvor lavt en sporplanlegger kan gå i de vanskelige partiene uten å bryte med standarden. Båndet mellom dimensjonerende og minste hastighet er valgt ut fra tilbudsstandard som ønskes på banen samt kapasitetsforbruk.

Underbygning vil være definert gjennom overbygning samt valg av profil. Profil vil som oftest være gitt av overordnede regelverk eller strategier. Et tema i forhold til kapasitet ved linjer med høyere hastighet i tunneler er tunnelmotstandsfaktoren.

Grunnleggende skjematisk sporplan (kapasitet) inneholder spor og sporforbindelser, maksimal toglength, maksimal stoppende passasjertoglength. Maksimal toglength vil definere kryssingssporlength. Maksimal stoppende passasjertoglength med standardtogtype vil definere plattformlength og høyden. For oversiktens skyld bør den også inneholde de andre kapasitetsdefinisjonsparametrene for signal og overbygning.

2.3 Kapasitetsbegrepet

2.3.1 Definisjon og generell beregning

I denne håndboken menes med kapasitet generelt *trafikkapasitet* og er definert slik:

Trafikkapasitet er det antall tog som per tidsenhet og med tilstrekkelig driftskvalitet kan kjøres på infrastrukturen.

Kapasiteten måles i antall tog per tidsenhet (typisk antall tog per time eller antall tog per døgn) og verdien avhenger av *samspillet* mellom infrastruktur (hastighet, tidsforsinkelser), materiell (hastighet, oppholdstider), driftsopplegg (ruteplan, oppholdstider, kjøretidsforskjeller) og kvalitetskrav (krav til reserve for å sikre punktlig drift).

Kapasiteten beregnes for en *strekning*. Strekningen kan være kortere eller lengre alt etter hva som er formålet med analysen, men må nødvendigvis omfatte en viss utstrekning langs en bane etter som tidsintervall mellom tog beregnes ut fra avstand mellom tog (og hastighet).

Gjennom å variere på (krav til) en eller flere parametre kan kapasiteten endres og det gjelder derfor at:

Det finnes ikke ett kapasitetstall for en gitt infrastruktur, men ulike kapasitetstall avhengig av forutsetninger om driftsopplegg og krav til driftskvalitet.

Det finnes også andre kapasitetsbegreper som er relevante, f.eks. antall seter per tog, antall tog-km som per time kan produseres på en delstrekning (sum tilbakelagt strekning per time over et en strekning fra A til B) etc. Disse definisjonene er imidlertid *ikke* det som typisk er målet for en kapasitetsutredning eller -analyse som denne håndboken er ment for.

En grunnleggende forutsetning i kapasitetsberegninger er at de gjelder for normale driftssituasjoner og at alle tog skal kjøre på ikke-restriktive signaler, dvs. signalbilde «Kjør» i hovedsignal og «Forvent kjør» i forsignal (se [1], kap. 9). Det betyr at tog ikke skal oppleve hindringer på grunn av andre tog med mindre det er planlagte kryssinger. Avvikssituasjoner med større forsinkelser inkluderes i betraktninger om generell robusthet og mulighet for alternative ruter på enkeltspor, forbikjøringsmuligheter hvis ett spor på dobbeltspor er sperret, mulighet til å snu tog ved driftsstans etc.

Grunnleggende bestemmes kapasiteten ut fra den minste tiden som det ut fra infrastruktur, togmateriell og ruteplan kan være mellom to tog over det aktuelle snittet. Se vedlegg 2. Den absolutte, maksimale kapasiteten kalles *teoretisk kapasitet* og er lik

$$K_{teoretisk} = \frac{T_p}{T_f}$$

, der T_p er perioden kapasiteten beregnes for, der T_f er gjennomsnittlig, minste, teknisk togfølgetid. Se avsnitt 2.3.2 for mer omtale av teknisk togfølgetid.

For å sikre at mindre forsinkelser ikke forplanter seg mellom togene benyttes det en buffertid, T_b . Kapasiteten som da framkommer kalles *praktisk kapasitet* og kan uttrykkes som

$$K_{praktisk} = \frac{T_p}{T_f + T_b}$$

Kapasitetsutnyttelsen, U , er definert som $U = \frac{T_f}{T_f + T_b}$. $U < 1$.

Kapasitetsutnyttelsen er fra UIC ([11], UIC 406 R, 2013) anbefalt til maks 60 % på døgnnivå og 75 % i en periode med høy belastning.

Ut fra sammenhengen $U = \frac{T_f}{T_f + T_b}$ finnes det at

$$T_b = T_f \frac{1-U}{U}.$$

F.eks. gir en minste togfølgetid på 2 minutter og en buffertid på 1 minutt en utnyttelse på $2/(2+1)=67\%$. Motsatt gir f.eks. en utnyttelse på 75 % med en teknisk togfølgetid på 1,5 minutter gir en buffertid på $1,5 \text{ minutt} \cdot (1-75\%)/75\% = 0,5 \text{ minutt}$.

Hvis kapasitetsutnyttelsen angis som faktisk trafikk i forhold til teoretisk kapasitet vil utnyttelsen ikke kunne være høyere enn 100 %. Hvis trafikk tall angis i forhold til *praktisk kapasitet* kan det imidlertid forekomme at kapasitetsutnyttelsen er større enn 100 %.

På enkeltspor vil togfølgetiden inneholde et element som skyldes tidstap ved kryssing slik at $T_f = T_{kjøretid} + T_{kryssingstap}$. Med en kjøretid på f.eks. 5,5 minutter mellom to kryssingsspor og gjennomsnittlig $\frac{1}{2} \cdot 3 = 1,5$ minutters kryssingstap (tidstap bare for ett tog i kryssingen) er $T_f = 5,5 + 1,5 = 7$ minutter. Se kapittel 2.5 for omtale av kapasitet på enkeltspor.

F.eks. vil en periode på 60 minutter, en togfølgetid på 7 minutter og en buffertid på 3 minutter gi en praktisk kapasitet, $K_{praktisk}$, på

$$K_{praktisk} = \frac{T_p}{T_f + T_b} = \frac{60 \text{ min/time}}{7 \text{ min/tog} + 3 \text{ min/tog}} = 6 \text{ tog/time}$$

Buffertiden kan angis som prosenttillegg eller settes som en absolutt tid. Ved lave minste togfølgetider vil et prosenttillegg til minste togfølgetid kunne gi lave tillegg. På dobbeltspor vil det dessuten ofte være behov for tettere rutemessig togfølgetid enn det som er ideelt ut fra en jevn fordeling av buffertid mellom alle tog. Disse forholdene kan kompenseres gjennom å la noen ruteleier være ubrukte og fungere som reserveruteleier, f.eks. kan det kjøres tog annet hvert minutt fire ganger etter hverandre mens det 5. ruteleiet er reserveruteleie.

Alternativt kan praktisk kapasitet uttrykkes ved hjelp av utnyttelsesgraden, U , der $U < 1$, slik at det er marginer til å håndtere mindre forsinkelser.

$$K_{praktisk} = U \frac{T_p}{T_f}, \text{ der } T_p \text{ er perioden som analyseres og } T_f \text{ er teknisk togfølgetid.}$$

Minste buffertid

Selv om buffertiden oppfyller kravet om prosentvis andel kan den ved tett togfølge bli veldig liten i absolutt tid. Derfor settes det i tillegg som standardkrav til at minste buffertid mellom to tog er 1 minutt, jf. [12]. Med f.eks. 90 s teknisk togfølgetid blir togfølgetiden da 2,5 minutt og den praktiske kapasiteten 24 tog/time.

I situasjoner med tett togfølge kan behov for tett takting av tog medføre at tette sekvenser av tog vurderes som spesielt viktig - som på strekningen Oslo S-Lysaker – og det kan da vurderes å fravike prinsippet med 1 minutts buffertid mellom alle tog, men dette vil gå på bekostning av robusthet for de enkelte togene. Gjennomsnittlig utnyttelsesgrense bør allikevel ikke overskrides og det bør derfor være intervaller der manglende buffertid er tilgjengelig som ledig ruteleie for å fange opp forsinkelser.

2.3.2 Om beregning av togfølgetid

Minste togfølgetid – minste tidsavstand mellom tog - er sammensatt av minste, tekniske togfølgetid som avhenger av materiell og infrastruktur samt eventuelt en tidsavstand som skyldes eventuelle kjøretidsforskjeller (se avsnitt 2.4.2).

Teknisk togfølgetid måles ved et gitt punkt som den minste tiden fra første tog passerer punktet til neste tog passerer punktet, når det andre toget ikke skal oppleve restriktive signaler (med mindre det er kryssing på enkeltspor). Tiden som går mellom to tog er satt sammen av tid for at første tog kjører fra punktet der togfølgetiden måles og til punktet der togveien utløses for neste tog, av tid for toget å passere utløsepunktet og tid for neste tog å kjøre fra nærmeste punkt med ikke-restriktive signaler og fram til punkt der togfølgetiden måles.

Teknisk togfølgetid avhenger av hastighet for tog og av signalering, dvs. plassering av signaler med konvensjonelt sikringsanlegg eller av punkter for kjøretillatelse med ERTMS. Se vedlegg 2. De presise kravene til når en togvei utløses avhenger av anlegget og kan leses ut av forriglingstabellen for sikringsanlegget.

Utløsepunktet for to tog i samme retning på samme spor vil være et hovedsignal, slik at når første tog passerer sporfelt ved hovedsignalet løses togveien ut.

Med overlappende togveier, der f.eks. et tog først kjører en vei på et spor og et annet tog etterfølgende kjører ut på samme spor (kryssende eller i motsatt retning) fra et annet spor, kan ha delvis utløsning av togveien. Det innebærer at togveien for det andre toget løses ut selv om det første toget ikke er helt ute av blokken. Togveien for det andre toget løses ut når det første toget er ute av felles sporavsnitt og har belagt siste sporavsnitt i togveien. Se [33], avsn. 2.1.3. Avhengig av (få) antall signaler og sporfelter kan det ofte være nok at første tog er ute av felles sporfelt og med første aksel har belagt sporfelt etter (i kjøreretningen) signal i motsatt retning. Se vedlegg 2.

Ved kryssende togveier kommer tog ikke etter hverandre på samme spor men prinsippet for beregning av togfølgetid er allikevel det samme. For et gitt spor kan det måles togfølgetider som inkluderer tog som krysser sporet med andre togveier. Togfølgetiden måles da mellom to tog på det ene sporet men mellom tre tog totalt.

2.3.3 Togfølgetid og signalering

Et grunnleggende og viktig forhold ved dimensjonering av infrastruktur er å oppnå tilstrekkelig lav teknisk, togfølgetid slik at kapasiteten blir høy nok. Ved plassering av signaler er det derfor viktig at disse plasseres slik at det er *tiden* mellom tog ikke blir for lang.

Varierende hastighet vil tilsvarende medføre at det er varierende krav til plassering av signaler eller markeringspunkter. Dette er det viktig å være oppmerksom på inn mot stasjoner der det er bremsing til stopp og fra stasjoner der det er akselerasjon fra stopp med tilhørende lavere hastighet.

Lav togfølgetid kan oppnås med tettere signalering. Ved konvensjonelle sikringsanlegg setter bremselengder en grense for hvor tett signaler kan plasseres, mens det med ERTMS ikke er en samme begrensning for hvor tett markeringspunkter kan plasseres. I begge tilfeller er det viktig at signaler eller markeringspunkter plasseres tett nok til at teknisk, minste togfølgetid ikke blir for lang.

Vedlegg 2 omtaler beregning av togfølgetider.

2.4 Kapasitet på dobbeltspor

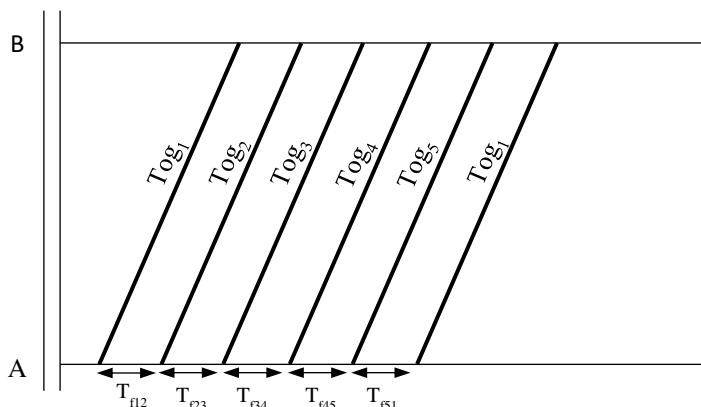
Dette avsnittet omhandler kapasitet på dobbeltspor. På dobbeltspor beregnes kapasiteten for hvert spor for seg og det er da kjøring i samme retning.

Ved konstruksjon av et trafikksystem må det være balanse mellom strekningskapasitet og stasjonskapasitet. Stasjonskapasitet omtales i avsnitt 2.6.10.

2.4.1 Ensartet trafikk

Ved ensartet trafikk har alle tog samme effektive hastighet. Hvis de har ulikt stoppmønster er det allikevel i sum mellom A og B samme effektive kjøretid. Kjøretiden kan være redusert for visse tog for å tvinge fram en lik hastighet (tvangsharmonisering av hastighet).

Figur 3 viser prinsippet for belegg ved ensartet trafikk. Grunnlaget for beregning av samlet togfølgetid er den tekniske togfølgetiden.



Figur 3. Tidsbelegg på dobbeltspor med ensartet trafikk.

Med f.eks. en sekvens av 5 tog blir togfølgetiden jf. Figur 3 lik

$$T_f = 1/5 \cdot (T_{f12} + T_{f23} + T_{f34} + T_{f45} + T_{f51}).$$

Eksempel

Er minste, tekniske togfølgetid lik 2,3 minutter er praktisk kapasitet på døggnivå lik

$$K_{praktisk} = U \frac{T_p}{T_f} = 60\% \frac{60 \text{ min/time}}{2,3 \text{ min/tog}} = 15,7 \text{ tog/time}$$

2.4.2 Blandet trafikk uten forbikjøring

Med forskjellig kjøretid må kjøretidsforskjellen tas med i togfølgetiden hvis den er med til å definere belegget i sporet; et raskt tog etter et sakte tog kan ikke kjøres før det sakte toget er langt nok foran til at det raske toget ikke hindres av det sakte toget, jf. Figur 4.

For mer omtale av dette vises det til vedlegg 2 (avsnitt 8.4).

En blanding av raske og langsomme tog på samme strekning vil da redusere kapasiteten på strekningen. Dette blir mer og mer betydende jo lengre strekningen er og jo større hastighet forskjell det er. F.eks. vil samkjøring av godstog og lokaltog med hyppige stopp og lav gjennomsnittshastighet ofte kunne fungere uten reduksjon av kapasiteten, mens samkjøring av godstog og raske region-/intercitytog eller høyhastighetstog ofte kan skape store kapasitetsreduksjoner.

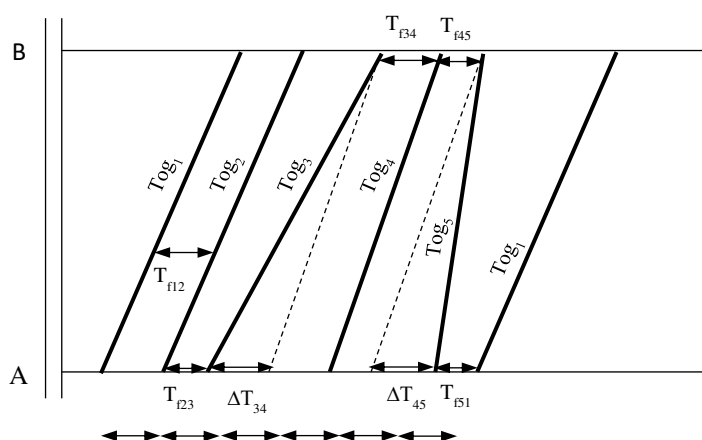
Teknisk minste togfølgetid vil typisk være ved starten av strekningen når et raskt tog blir etterfulgt av et sakte tog og ved slutten av strekningen når et sakte tog blir etterfulgt av et raskt tog. Samlet belegg må

imidlertid beregnes over en syklus av tog (til gjentakelse av første tog) og ved et fast punkt på strekningen, typisk starten eller slutten av strekningen.

Figur 4 viser en sekvens av tog med ulik hastighet. Tog-grafene er vist tettest mulig etter hverandre for å illustrere den tetteste togfølgen. Med 5 tog som i Figur 4 blir togfølgetiden beregnet ved A lik

$$T_f = 1/5 * (T_{f12} + T_{f23} + \Delta T_{34} + T_{f34} + T_{f45} + \Delta T_{45} + T_{f51}).$$

Hvis togfølgen beregnes ved B fås samme gjennomsnittsverdi som for beregning ved A, men tillegget for forskjell i kjøretid får betydning mellom andre togpar enn i beregning ved A.



Figur 4. Tidsbelegg på dobbeltspor med blandet trafikk. Beregning av togfølgetid ved A.

Som eksempel på tallverdier kan det tenkes at $T_{f12}=2,7$ min, $T_{f23}=1,9$ min, $T_{f34}=2,3$ min, $T_{f45}=2,1$ min, $T_{f51}=2,0$ min, $\Delta T_{34}=3$ minutter og $\Delta T_{45}=1,8$ minutter. $U=60\%$ (døggnivå). Det betyr at

$$T_f = 1/5 * (T_{f12} + T_{f23} + \Delta T_{34} + T_{f34} + T_{f45} + \Delta T_{45} + T_{f51}) = 1/5 * (2,7 + 1,9 + 3 + 2,3 + 2,1 + 1,8 + 2,0) = 3,2 \text{ min.}$$

Den praktiske kapasiteten på strekningen mellom A og B blir da, med T_p lik 60 minutter:

$$K_{praktisk} = U \frac{T_p}{T_f} = 60\% \frac{60 \text{ min/time}}{3,2 \text{ min/tog}} = 11,3 \text{ tog/time}$$

Buffertiden mellom hvert togpar er da i gjennomsnitt lik $3,2 \text{ minutt} * (1 - 60\%) / 60\% = 2,1$ minutt.

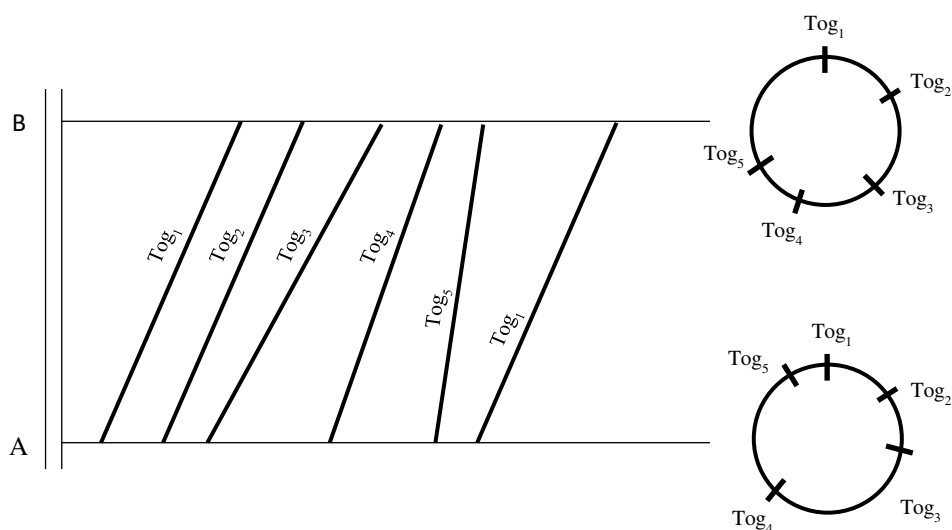
Hvis det i utgangspunktet kjøres f.eks. 10 tog/time er det ikke sikkert at det er mulig å kjøre ett tog til per time selv om kapasiteten er beregnet til 11,3 tog/time. Det vil avhenge av hvilken type tog det er og

hva som er resulterende togfølgetid og utnyttelsesgrad. Kapasitetsutnyttelsen må derfor beregnes etter at det er spesifisert hvilket tog som ønskes kjørt og hvordan det kjøres i forhold til de andre togene.

På dobbeltspor må kapasitetsberegningene gjøres etter en inndeling som følger steder med lik trafikk. Samtidig må trafikken uten for den enkelt delstrekningen tas med når det vurderes hvor mye kapasitet det er totalt sett og hvordan kapasiteten på hver delstrekningen kan utnyttes. Tog som kjøres i et ytterområde vil ha bindinger som skyldes tettere trafikk på innerstrekningen.

Ulik avstand tidsavstand strekningen ved hastighetsforskjeller

Figur 4 viser en sekvens av tog med ulik hastighet. Samtidig er det vist på klokkesirklene til høyre i figuren hvordan ruteleier fordeler seg over timen ved starten og ved slutten av strekningen. Det er for illustrasjonens skyld tenkt at kjøretiden er 1 time fra A til B, slik at uten kjøretidsforskjeller ville mønsteret ved B være likt mønsteret ved A. Siden det er hastighetsforskjeller vil tidsavstand mellom tog variere. Dette sees i figuren ved at mønsteret forskyver seg langs strekningen grunnet kjøretidsforskjellen.



Figur 5. Tidsbelegg på dobbeltspor med blandet trafikk.

Siden tidsavstanden mellom tog varierer langs strekningen, når det er hastighetsforskjeller, må tilstrekkelig kapasitet for ruteleier verifiseres gjennom å vise belegg på *hele* strekningen. Det er dermed ikke nok å vise fordeling av ruteleier og tilhørende margin på ett punkt, f.eks. ved begynnelsen, slutten eller midten av strekningen.

2.4.3 Separasjon av trafikk med ulik hastighet

Som en konsekvens av at hastighetsforskjeller er det med hensyn til kapasitet en fordel å separere tog med ulik hastighet på hver sine baner, f.eks. lokaltog på en bane og region-ekspress-tog på en annen bane.

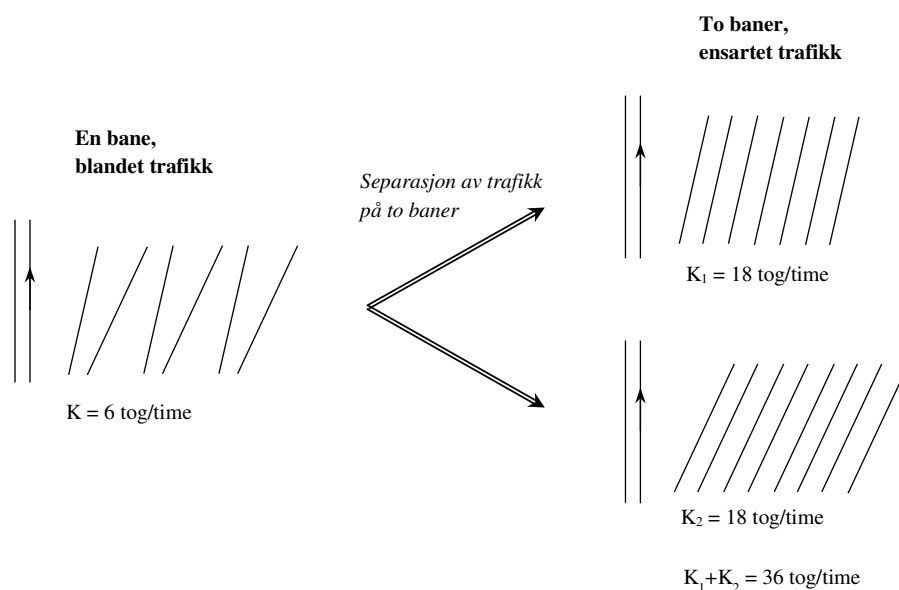
Eksempel:

Halvparten av tog har kjøretid på 27 minutter og halvparten 35 minutter. Teknisk togfølgetid er 2 min. Gjennomsnittlig togfølgetid er $\frac{1}{2} * ((2+0) + (2+(35-27))) = 6$ minutter. Teoretisk kapasitet er da $60/6 = 10$ tog/time. Praktisk kapasitet ved 60 % utnyttelse er dermed 6 tog/time.

Hvis det etableres to baner (og det er 2 minutters teknisk togfølgetid) og trafikken separeres etter kjøretiden for togene er teoretisk kapasiteten på hver bane 30 tog/time eller tilsvarende praktisk kapasitet på 18 tog/time. I alt er det med to baner en praktisk kapasitet på 36 tog/time.

Er kjøretiden 27 henholdsvis 31 minutter blir togfølgetiden 4 minutter og praktisk kapasitet lik 9 tog/time. Med separasjon på to baner er kapasitet igjen 36 tog/time.

Det første eksemplet er illustrert i Figur 6.



Figur 6. Kapasitetsmessig effekt av å separere raske og langsomme tog.

Det sees at relativt små kjøretidsforskjeller kan medføre stor reduksjon for kapasiteten og at separasjon av trafikken tilsvarende er effektiv for å øke kapasiteten. I det første eksemplet medfører trafikkseparasjon en *seksdobling* av kapasiteten og i det andre eksemplet en *firedobling* – selv om antall baner i begge tilfeller «bare» ble doblet.

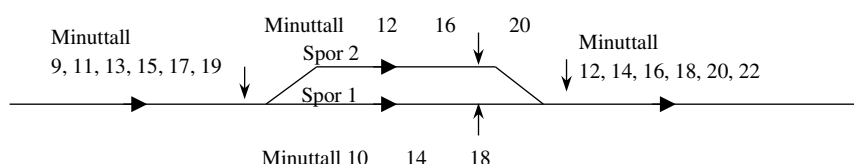
2.4.4 Kapasitetsbegrensninger på dobbeltspor

2.4.4.1 Antall spor til plattform

Hvis tog kjøres tilstrekkelig tett vil det kunne være behov for å ha to spor til plattform i én retning selv om det også bare er ett spor mellom stasjoner.

Det tenkes et scenario der minste tekniske togfølgetid er 1,5 minutter ved linjehastighet og rutemessig togfølgetid er 2 minutter. Oppholdstid på stasjonen er 1 minutt og retardasjonstap og akselerasjonstap er til sammen 0,8 minutter. Med ett spor til plattform vil opphold på stasjonen medføre at den tekniske togfølgetiden øker til minst $1,5 + 1 + 0,8 = 3,3$ minutter, eller rutemessig avrundet til 4 minutter.

Med *to spor til plattform* som benyttes vekselvis vil første tog kunne komme på spor 1 på minuttall 10 og gå igjen på minuttall 12. Neste tog til spor 2 på kommer på minuttall 12 og går på minuttall 14. Neste

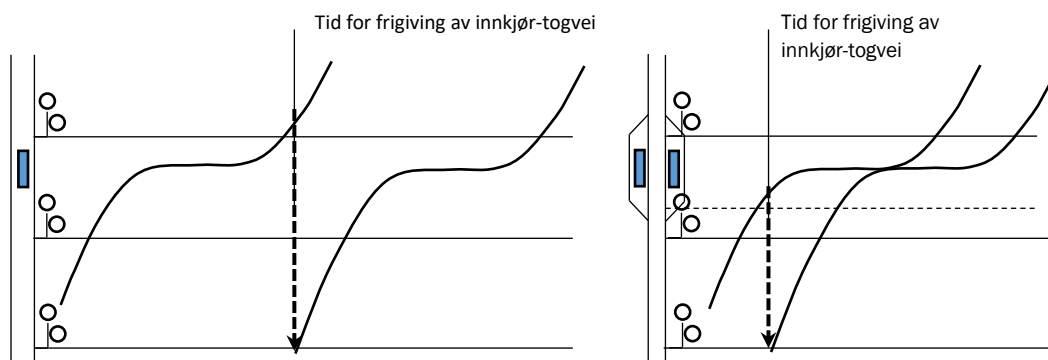


tog til spor 1 igjen kommer på minuttall 14 og går på minuttall 16 osv. Dette er illustrert i Figur 7.

Figur 7. Flip-flap-kjøring mellom plattformspor.

Det sees at det er 2-minuttersintervall på linjen før stasjonen og etter stasjonen. Dvs. at med to spor til plattform er stasjonen ikke en flaskehals for kapasiteten. Med bare ett spor i eksemplet vil kapasiteten på strekningen begrenses av stasjonen og bare være det halve av kapasiteten med to spor.

Effekten av to spor til plattform med kjøring skiftevis til det ene og det andre sporet kan også illustreres med grafer som vist i Figur 8. Det sees her at det er mulig å kjøre tog mye tettere med bruk av to spor ved plattform.



Figur 8. Togfølgeavstand ved stopp og kjøring til samme spor eller til forskjellige spor ved plattform.

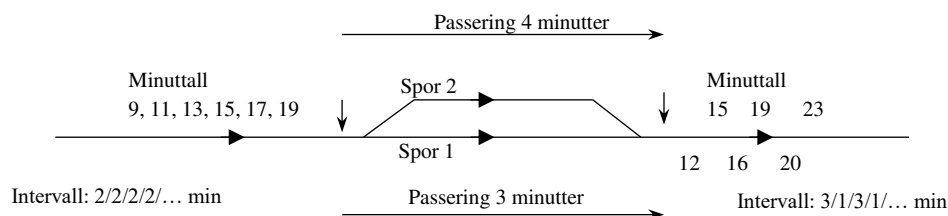
Resultatet er generelt at det er nødvendig med to spor til plattform hvis tidsbelegg i hvert plattformspor er større enn rutemessig togfølgetid.

Se også avsnitt 2.6.10 om antall spor på stasjoner.

2.4.4.2 Hastighet i sporveksel og takting av tog

Hvis det er lav hastighet i avvik i veksler på en stasjon kan det bli et vesentlig tillegg til kjøretiden sammenlignet med kjøring i hovedspor. I kombinasjon med tett rutemessig togfølge kan det ha uheldig konsekvens.

Det tenkes at det er ønsket med 2 minutters togfølge og at det er et påslag på 1 minutt for kjøring i spor 2 i Figur 9. Dette gir minuttallene ved som vist i Figur 9.



Figur 9. Virkning av ulik kjøretid i hvert sitt spor på takting ut fra stasjonen.

Det sees at minuttallene etter stasjonen er 12, 15, 16, 19, 20, 23 etc. Taktingen med 2-minuttersintervaller inn til stasjonen er blitt endret til 3/1/3/1-minuttersintervaller ut fra stasjonen. En avstand på 1 minutt er for kort og kan være kortere enn teknisk togfølgetid. Løsningen er derfor å:

- Øke intervallet mellom togene før stasjonen (2/3/2/3-minuttersintervaller blir til 3/2/3/2-minuttersintervaller; 4-minuttersintervaller blir da til 3/5-minuttersintervaller)
- Øke oppholdstiden for tog i spor 1 med 1 minutt for å jevne ut taktingen

Begge løsninger har ulemper sammenlignet med å øke hastigheten i veksleene i avvik på stasjonen.

Endret takting gir redusert kapasitet og økt oppholdstid gir økt reisetid.

Den beste løsningen er å ha veksler med så høy hastighet at tidstapet blir negliserbart.

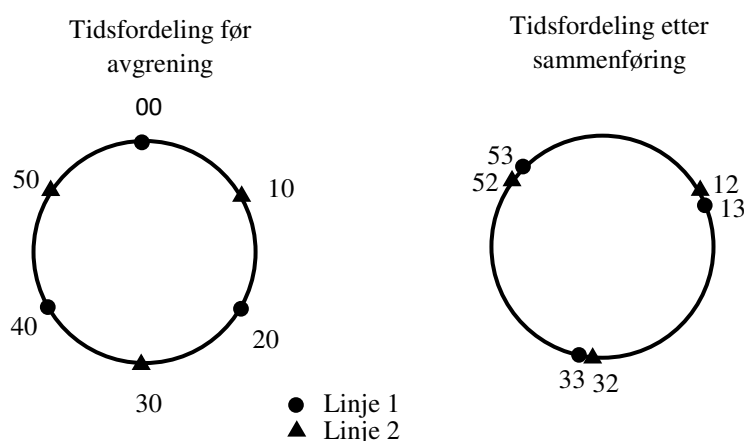
2.4.4.3 Separasjon og sammenføring av trafikk fra ulike baner

Hvis trafikk på en fellesstrekning fordeles på to baner bør trafikken ikke senere føres sammen igjen på samme bane. Dette skyldes at det vil være ulik kjøretid på banene og at en gitt takting før delingen vil endres etter en sammenføring.

Konsekvensen er at takting etter sammenføring kan gi konflikter. Figur 10 illustrerer dette der kjøretiden for linje 1 er 13 minutter og kjøretiden for linje 2 er 22 minutter.

Konsekvensen er at det kan bli behov for egne spor på stasjonen for å unngå for tett togfølge.

For å unngå konflikter kan det legges et tillegg til kjøretiden til tog på den ene banen (eventuelt som oppholdstid på en stasjon), men dette fører da til økt kjøretid for de reisende. Ved overgang til enkeltsporsstrekninger vil et slikt påslag også kunne føre til at en kryssing på enkeltsporstrekningen ikke kan rekkes.



Figur 10. Virkning på takning av splitting og sammenføring av linjer.

Hvis kjøretiden til linje 2 hadde vært $13+20=33$ minutter hadde tidene etter sammenføringen vært som opprinnelig for linje 2 pluss forskjøvet med samme tid som linje 1. Det hadde da vært 10-minutters avstand mellom linjene også etter sammenføringen. Samme resultat ville oppnås med en kjøretid på $13+2*20=53$ minutter.

Linjer som først trafikkerer en felles strekning og siden deles bør ikke føres sammen igjen på felles strekning med mindre kjøretidsforskjellen svarer til et helt antall tidsintervaller for toget som har lengst kjøretid.

Et eksempel på en variant av problemstillingen finnes på Sandvika stasjon der det er sammenføring av to baner (Drammensbanen og Askerbanen) som deles på Lysaker etter å ha gått sammen fra Oslo S. På Sandvika kommer togene ikke i samme spor, men ved en økning i trafikken på Askerbanen kan det være nødvendig å benytte bruk av begge plattformer vekselvis. Innflettingen av tog fra Drammensbanen vil da medføre at det kan komme et «utaktet» tog som krever sitt eget spor, dvs. tre spor i hver retning.

2.4.5 Utnyttelse av ruteleier på dobbeltspor

I et område med ensartet og tett trafikk (på dobbeltspor) kan etableres standardruteleier ved å fordele faste intervaller for kjøring av tog. Hvis f.eks. teknisk minste togfølgetid er 1,5 minutt kan det lages

ruteleier med 2 minutters mellomrom. Dette ville føre til en utnyttelse på $1,5/2=75\%$ som er for høyt på døggnivå.

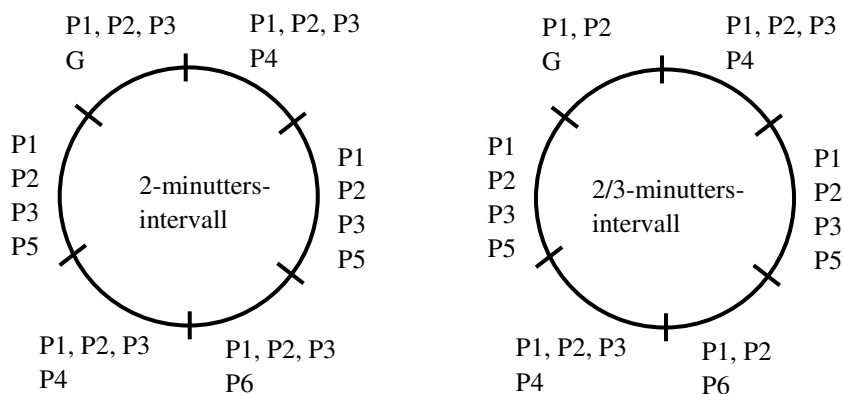
Løsningen vil da være å øke buffertiden ved å la hvert 5. ruteleie være tomt som et reserveruteleie. Fordeling av tog vil da være med følgende minutt-intervaller 2/2/2/4/2/2/2/4 etc. det gir en utnyttelse på $4*1,5/10=60\%$ som er akseptabelt på døggnivå. Dette er ikke en jevn fordeling av buffertid, men hensynet til tett togfølge gjør at dette aksepteres. Gjennomsnittlig buffertid er $40\%*10/4=1$ minutt. Buffertiden er fordelt med skiftevis med 0,5/0,5/0,5/2,5 minutt

Sekvensen av persontog som belegger ett ruteleie ville da være P/P/P/P/-/P/P/P/P/-/P etc. Et godstog som belegger to ruteleier vil da i en 10-minuttersperiode kunne kjøres mellom persontog på følgende måte: P/G/P/-. Hvis persontog-godstog gir 3 minutters togfølgetid er gjennomsnittlig utnyttelsesgrad per 10 minutter lik $(2*1,5+3)/10 = 60\%$.

En alternativ fordeling ville være ruteleier med 2- henholdsvis 3-minuttersintervall, altså med intervaller 2/3/2/3/ etc. Er det utelukkende persontog gir det i en 10-minuttersperiode en sekvens lik P/P/P/P. Buffertiden er da fordelt med 0,5/1,5/0,5/1,5 minutter. Dette gir altså samme gjennomsnittlige utnyttelsesgrad og samme antall persontog som før men en jevnere fordeling av buffertider og mindre risiko for overføring av små forsinkelser. Med et saktere tog (godstog) som beslaglegger to ruteleier (for raske tog) blir sekvensen P/G/P per 10 minutter, også dette som med 2-minuttersintervall.

Imidlertid er det med 2-minuttersintervaller mulig å få til flere tog totalt over timen. Aksepteres det ett godstog/ruteleie en gang i timen sammen med tre persontog (i stedet for to) er utnyttelsesgraden per time litt høyere. I motsatt halvtime av godstoget kan det kjøres et persontog med 60-minuttersintervall, f.eks. fjerntog. I eksemplet blir utnyttelsesgraden lik $(5*(4*1,5)+1*(3*1,5+3))/60 = 62,5\%$. Dette er litt høyere enn de anbefalte 60 %, men hvis dette aksepteres, eller hvis det ikke realiseres hver time, er det mulig å framføre 24 tog/time. Dette er illustrert i Figur 11.

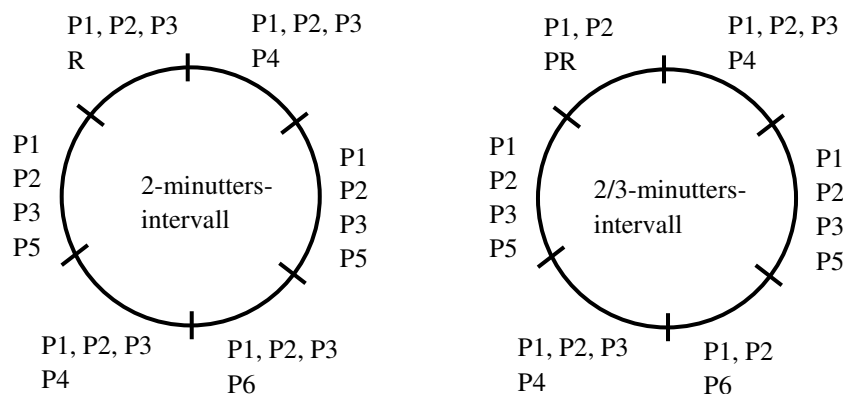
Med et system basert på 2 og 3-minuttersintervaller ville intervallet med godstog være fullt og det blir da bare plass til 2 persontog i dette 10-minuttersintervallet. Det blir altså potensielt ett persontog mindre i de 10 minuttene der det er godstog enn hvis det er inndeling med bare 2-minuttersintervaller. Er det krav til symmetri er det også ett tog mindre i det andre 10-minuttersintervallet. I sum er det plass til to avganger færre (f.eks. en linje med 30-minuttersintervall) og totalt er det plass til 22 tog/time. Se Figur 11.



Figur 11. Fordeling av ruteleier med 2-minuttersintervall eller 2/3-minuttersintervall. 24 tog/time med 2-minuttersintervall og 22 tog/time med 2/3-minuttersintervall. Godstog blant raske persontog.

Inndelingen med 2-minuttersintervaller eller 2/3-minuttersintervaller gir ikke minst 3 minutter margin mellom tog, men bare i gjennomsnitt omtrent 1 minutt. Dette er da i motstrid med rådet tidligere om 3 minutters buffertid mellom tog. Årsaken er at det kan være akseptabelt med en så tett togfølge hvis alternativet er en mye lavere kapasitet, hvis det i nærheten er en stasjon med lang regulerings- og oppholdstiden, hvis det er slakk i ruten inn mot området med tett togfølge.

I gjennomgangen over er det antatt at et godstog beslaglegger to ruteleier på grunn av kjøretidsforskjell. Dette er ikke alltid tilfellet hvis det er saktegående trafikk (eventuelt med mange stopp) og godstoget kan holde samme hastighet. Motsatt kan det også være persontog som beslaglegger mer enn ett ruteleie. Jf. Figur 4 i avsnitt 2.4.2 kan raske tog beslaglegge mer enn ett ruteleie når de kjøres sammen med langsommere tog. Resultatene fra Figur 11 kan da gjelde med et raskt tog sammen med andre tog. Hvis det raske toget benevnes med PR fås da tilsvarende situasjonen som vist i Figur 12.



Figur 12. Fordeling av ruteleier med 2-minuttersintervall eller 2/3-minuttersintervall. 24 tog/time med 2-minuttersintervall og 22 tog/time med 2/3-minuttersintervall. Raskt tog blant langsommere tog.

2.4.6 Generelt behov for ekstra ruteleier

2.4.6.1 Arbeidstog, tomtogkjøring og ad-hoc ruteleier

I tillegg til den planlagte trafikken i henhold til den årlig fordelte infrastrukturkapasiteten, kjøres det trafikk som blir planlagt på kort varsel. Disse ekstratogene kan være av alle mulige kategorier (omdirigerte persontog, ekstra godstog- og tomtogavganger, løsløst, vedlikeholdsmaskiner og så videre). Dette kalles ad hoc-togbevegelser. For at framføringen av disse togene ikke skal føre til at annen trafikk må innstilles, bør det i den årlige ruteplanen settes av kapasitet til at slike tog kan kjøres, jamfør krav om ad hoc-ruteleier i henhold til EU-direktiv 2012/34, sammenslått fordelingsforskrift og jernbaneforskrift.

Ved utarbeidelse av strategiske rutemodeller vil det være en del kommersielle togkategorier som har så lav frekvens at det ikke er hensiktsmessig å forhåndskonstruere ruteleier for dem. Dette kan for eksempel være tømmertog, vognlast eller godstog som kjøres sjelden. Ruteleier for tilbakestillingsevne og ad hoc-kjøring er ikke synlige som konkrete ruteleier i for eksempel grafiske ruter. Disse legges heller til i den årlige ruteplanen etter søknad fra togselskapene, jamfør fordelingsforskriften § 7-11. Det må likevel i rutemodellarbeidet settes av restkapasitet til ad hoc-kjøring på de strekningene hvor det kan forventes at slike tog vil kjøres.

Det er ikke mulig å gi en fast verdi for hvor mange ekstra tog det bør være plass til. Det må ses på hvor verksteder, hensettingsanlegg etc. er plassert for å finne behovet for trafikk ut over selve rutetilbudet. Som en tommelfingerregel det bør på dobbeltspor i lavtrafikkperioder være plass til ett slikt tog per time.

Hvis ekstra tog framføres med lavere hastighet enn ordinær trafikk må det ut fra kjøretidsforskjeller og strekningslengde i den aktuelle analysen, undersøkes om det er behov for forbikjøring. Hvis det er tilfellet må det være forbikjøringsmuligheter eller også må det aksepteres at det er forsinkelser, f.eks. i en randperiode av driftsdøgnet der de langsomme togene kan kjøres.

2.4.6.2 Maksimalkapasitet og ad hoc-kjøring Oslo S – Lysaker

Strekningen Oslo S – Lysaker er en spesielt høyt utnyttet strekning i det norske jernbanenettet om omtales spesielt i dette avsnittet.

På strekningen Oslo S – Lysaker er den teoretiske ruteplanmessige maksimalkapasiteten 30 ruteleier på en time per retning (ved to minutters ruteplanmessige ruteleier).

Den praktiske maksimalkapasiteten for strekningen Oslo S – Lysaker isolert sett er 24 ruteleier per time og retning i rush. Det brukes samme kjøretid for alle ruteleier, selv om trafikken er blandet på strekningen (Flytog, lokaltog, regiontog, fjerntog, godstog). Differansen mellom teoretisk og praktisk maksimalkapasitet er 6 ruteleier, og disse brukes som reserveruteleier for å kompensere for forsinkelser.

Utenom rushtiden anbefales det å ikke utnytte den praktiske kapasiteten fullt ut, men å ha noen ruteleier ledige på grunn av behov for ledig kapasitet til arbeidstog fra Bane NOR og ekstratog (ad hoc). Den planlagte kapasitetsutnyttelsen utenom rush bør ifølge ruteplankontoret i Bane NOR ikke overstige 22 opptatte ruteleier. Dette ville gi en større kapasitetsnyttelse over driftsdøgnet enn det som anbefales

av UIC. En slik høy kapasitetsnyttelse kan bare forsvares så lenge strekningen er så kort og det legges inn tilstrekkelige tidsreserver før og etter strekningen. Høyt fokus på punktlighetsarbeid vil være nødvendig for å kunne opprettholde punktligheten med en slik ruteplan.

Det er krav om ad hoc-ruteleier i henhold til EU-direktiv 2012/34 og sammenslått fordelingsforskrift og jernbaneforskrift, men det er ikke krav om å ha ad hoc-ruteleier hele døgnet. Derfor settes ikke av ad hoc-ruteleier i rushtid¹.

Som en tommelfingerregel for Oslo S – Lysaker legges det ofte til grunn at det skal kunne kjøres ett ad hoc-tog per time og retning i tillegg til trafikken som er planlagt på årsbasis. Det betyr likevel ikke at det vil kjøres ad hoc-tog i *hver eneste time*, slik at kapasitetsutnyttelsen over døgnet vil bli lavere enn om det samme ruteleiet var brukt til å kjøre et fast persontog med timesintervall.

2.4.6.3 Godstog på strekningen Oslo S – Lysaker

Tradisjonelt kjøres godstogene saktere for ikke å beslaglegge mer enn ett ruteleie på strekningen Oslo S – Lysaker siden disse ikke stopper på stasjonene langs strekningen. Ruteplankontoret har til nå klart å konstruere to konfliktfrie godstogruteleier på strekningen totalt per time og retning. Togfølgen persontog-godstog-persontog med to minutters mellomrom brukes i dag på strekningen Oslo S-Skøyen. I fremtiden planlegges det med at Høvik brukes som vendestasjon istedenfor Skøyen, og dermed kjører godstogene sammen med alle persontog helt til Lysaker. I fremtiden kan også godstogenes lengde og vekt bli større. Disse forholdene kan gjøre det mer problematisk å kjøre godstog tett mellom to persontog.

Derfor legger Rutemodell 2027 opp til at godstog Oslo-Drammen kjøres på et tidspunkt hvor det er to ledige ruteleier mellom persontog Oslo-Lysaker, og i tillegg at de to persontogene før og etter ikke *begge* kjører Oslo-Drammen.

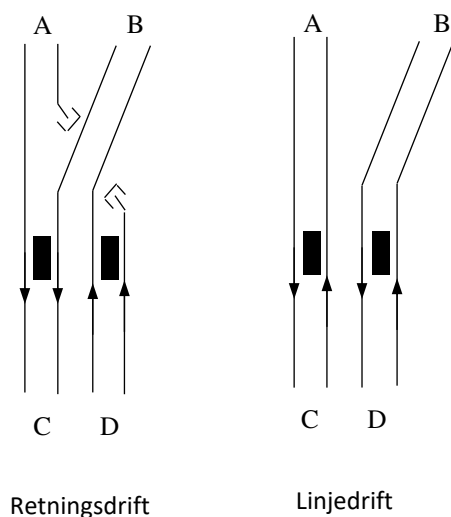
2.4.7 Retningsdrift og linjadrift på stasjoner

Ved retningsdrift på en stasjon benyttes en plattform for tog i samme retning, uavhengig av hvilken linje som stopper ved plattformen. Reisende kan da benytte den ene plattform for reise i en retning og den andre plattformen for reise i den andre retningen.

Prinsippet er illustrert i Figur 13.

Et annet betjeningsprinsipp er linjadrift der det er én plattform per linje og der plattformen betjener begge retninger for linjen. For å reise i en gitt retning er det da mulig å benytte begge plattformer, avhengig av hvilken sluttdestinasjon som er aktuell. Hvis det bare er ønskelig å reise et stykke i en gitt retning må de reisende derfor følge med på hvilken plattform som betjenes av det første toget som kommer. Det kan føre til at reisende vil posisjonere seg midt mellom to plattformer (på overgangsbros f.eks.) og bruker lengre tid på å komme seg til riktig plattform og om bord i toget sammenlignet med retningsdrift.

¹ I ruteplanperiode R14 var det ifølge ruteplankontoret i Jernbaneverket (nå Bane NOR) ikke mulig å framføre ad hoc-tog i rush gjennom Oslostunnelen.



Figur 13. Linedrift og retningsdrift.

2.4.8 Plattformlengder og -høyder

Det må være samsvar mellom linjekonseptets valg av (standard-) togtyper og sammensetning av disse til for eksempel dobbeltsett og valg av plattformer (lengde og høyde) på infrastrukturen. Linjekonseptet vil også kunne gi innputt til valg av korrekt plattformbredde ved at det definerer maksimalt antall avstigende reisende for togtypen. For en sannsynlig utnyttelse av dette potensialet på de enkelte stoppestedene henvises det til fagområdet marked/transportmodellering.

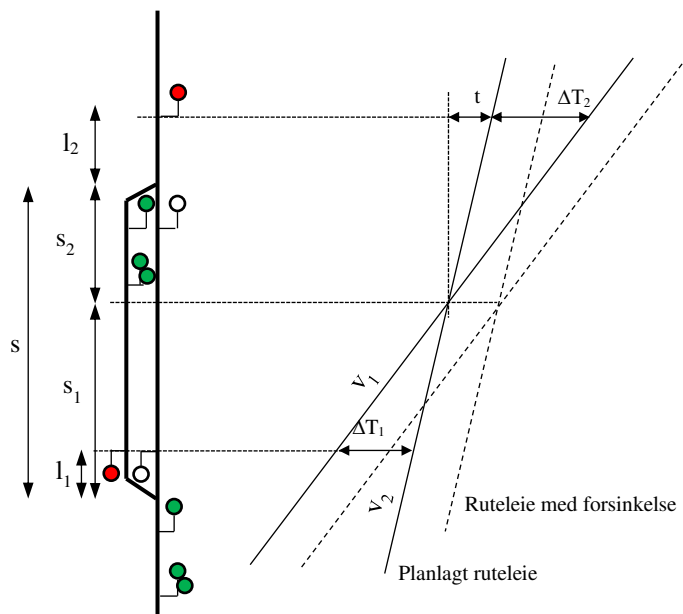
2.4.9 Forbikjøring på dobbeltspor

Det omtales i de neste avsnittene forbikjøring i fart og forbikjøring med stopp. Forbikjøring i fart er minst aktuelt men er tatt med for oversiktens og for sammenligningens med forbikjøring med stopp.

2.4.9.1 Forbikjøring i fart

Figur 14 viser det generelle forløpet for forbikjøring i fart. Prinsippet er at det er en minste tidsavstand

- i begynnelsen av forbikjøringssporet etter at det langsomme toget har kjørt inn på forbikjøringssporet til det raske toget kommer etter
- ved slutten av forbikjøringssporet etter at det raske toget har passert enden av forbikjøringssporet til det langsomme toget kjører ut ni hovedsporet igjen



Figur 14. Forbikjøring i fart.

Avstandene s_1 og s_2 kan finnes ut fra at

$$\Delta T_1 = \frac{s_1 - l_1}{v_1} - \frac{s_1 - l_1}{v_2} \text{ og } \Delta T_2 = \frac{s_2 + l_2}{v_1} - \frac{s_2 + l_2}{v_2}$$

⇔

$$s = \frac{v_1 v_2}{(v_2 - v_1)} (\Delta T_1 + \Delta T_2) + (l_1 - l_2)$$

, der $\Delta T_1 = T_{f1} + T_{b1}$ og $\Delta T_2 = T_{f2} + T_{b2}$.

Jo likere hastighetene blir desto lengre blir forbikjøringssporet og jo større tidsavstand det skal være ved enden av forbikjøringssporet desto lengre må det være.

Avstanden mellom forbikjøringsspunkter, d , ved forbikjøring i fart lik (med $l_1=0$ og $\Delta T_{kj\ddot{o}r}=1/N$), der N er antall raske tog per time (med jevne intervaller):

$$d = \frac{v_1 v_2}{(v_2 - v_1)} \frac{1}{N}$$

I Tabell 4 er det illustrert sammenhengen mellom antall raske tog (forutsatt jevne intervaller), lengde av forbikjøringsspor og avstand mellom forbikjøringspunkter (der det raske toget tar det sakte toget igjen). Det er forutsatt $v_1 = 100$ km/t, $v_2 = 200$ km/t. Med 200 km/t blir blokk lengde ca. 3,0 km. l_2 settes til 2,7 km. l_1 settes til 0,3 km. T_{f1} blir ca. 1,2 minutt. T_{f2} blir ca. 2,5 minutt. $\Delta T_1 + \Delta T_2 = (T_{f1} + T_{b1}) + (T_{f2} + T_{b2}) = (1,2 + 3) + (2,5 + 3) = 9,7$ minutter.

Tabell 4. Samlet antall forbikjøringer, 100 km/t og 200 km/t.

Antall tog med jevne intervaller (tog/time/retning)	Lengde av forbi-kjørings-spor (km)	Avstand mellom forbikjøringspunkter (km)
1	30	200
2	30	100
3	30	67
4	30	50
5	30	40
6	30	33
7	30	29

Det sees at ved 7 tog/time (et intervall på 8,6 minutter) er det nesten kortere mellom forbikjøringspunktene enn lengden av forbikjøringspunktene. Ved 6 tog/time er det nesten sammenhengende forbikjøringsspor som et separat spor.

Hvis det langsomme toget skal kunne komme inn på felles spor før neste forbikjøring begynner må det være en del av strekningen som er fellesspor. Dette begrenser da kapasiteten for de raske togene til maksimalt 6 tog/time (10 minutter mellom tog).

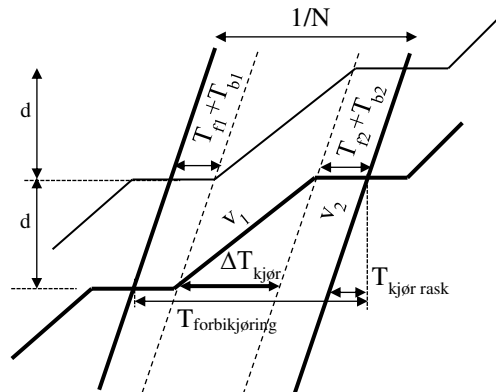
Forbikjøring i fart krever lange forbikjøringsspor og begrenser kapasiteten for raske tog. Er det behov for forbikjøring i fart med vanlige trafikkmengder i ordinær rush- eller grunnrutetrafikk vil det kreves et eget forbikjøringsspor med vanlige trafikkmengder.

Forbikjøring i fart kan derfor i praksis bare være relevant i lavtrafikkperioder. Forbikjøring med stopp er mer relevant og omtales i avsnitt 2.4.9.2.

2.4.9.2 Forbikjøring med stopp

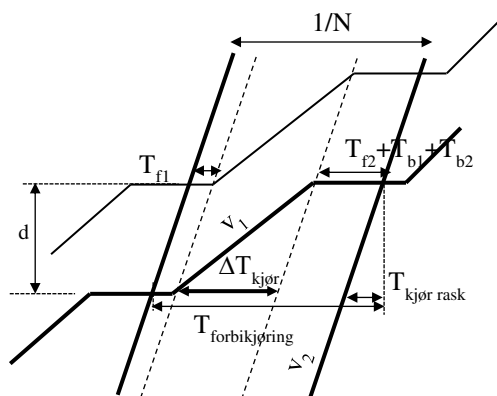
2.4.9.2.1 Avstand mellom forbikjøringsspor

Ved forbikjøring med stopp der det langsomme toget kjører i avvik, stopper og blir forbikjørt, er forløpet prinsipielt som skissert i Figur 15. Det regnes med en buffertid vor forsinkelse av raskt tog, T_{b1} , og for forsinkelse av langsomt tog, T_{b2} .



Figur 15. Tidsbruk ved forbikjøring med stopp.

I praksis kan buffertiden samles inn mot forbikjøringen slik at det langsomme toget kjører så fort som mulig etter forbikjøringen. Dette gjør at samlet buffertid er



Figur 16. Tidsbruk ved forbikjøring med stopp, plassering av buffertid inn mot forbikjøring.

Ut fra Figur 15 og Figur 16 sees det at desto større krav det er til buffertid desto mindre tid er det til kjøretidsforskjellen mellom langsomt og raskt tog og desto kortere avstand blir det mellom forbikjøringssporene.

Mellom to raske tog er det med N tog per time et tidsintervall på $1/N$. Belegget mellom raske tog er $T_{f1} + T_{b1} + T_{f2} + T_{b2}$. Den tilgjengelige tiden for kjøretidsforskjell mellom togene kalles $\Delta T_{kj\ddot{o}r}$. Denne er da lik:

$$\Delta T_{kj\ddot{o}r} = \frac{1}{N} - (T_{f1} + T_{b1} + T_{f2} + T_{b2} + T_{aks} + T_{ret})$$

, der T_{f1} er tekniske togfølgetid mellom raskt og langsomt tog ut fra forbikjøring, T_{b1} er buffertid hvis raskt tog er forsinket til forbikjøring, T_{f2} er teknisk togfølgetid mellom langsomt og raskt tog inn til forbikjøring og T_{b2} er buffertid hvis langsomt tog er forsinket inn til forbikjøring.

Ved forbikjøring med stopp vil det bli et akselerasjonstap, T_{aks} , og et retardasjonstap, T_{ret} , for det langsomme toget som stopper og blir forbikjørt. Akselerasjons- og retardasjonstap er i utgangspunktet inkludert i togfølgetidene, men hvis togfølgetider er kjent for gjennomkjørende tog må akselerasjons- og retardasjonstap legges til.

Sammenhengen mellom antall raske tog som forbikjøres og avstand mellom forbikjøringsspor og hastigheter finnes som:

$$\begin{aligned} \frac{1}{N} &\geq \Delta T_{kj\ddot{o}r} + (T_{f1} + T_{b1} + T_{f2} + T_{b2} + T_{aks} + T_{ret}) \\ \Leftrightarrow \frac{1}{N} &\geq \left(\frac{d}{v_1} - \frac{d}{v_2} \right) + (T_{f1} + T_{b1} + T_{f2} + T_{b2} + T_{aks} + T_{ret}) \end{aligned}$$

Hvis antall raske tog er kjent kan krav til største avstand mellom forbikjøringsspor finnes som:

$$d \leq \frac{\frac{1}{N} - (T_{f1} + T_{b1} + T_{f2} + T_{b2} + T_{aks} + T_{ret})}{\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2}}$$

Eksempel

$N=4$ tog/time, $v_1=100$ km/t, $v_2=200$ km/t, $T_{f1}+T_{b1}+T_{f2}+T_{b2}+T_{aks}+T_{ret}=1,2+3+2,5+3+1,5+0,5 = 11,7$ minutter.

$$d \leq \frac{\frac{1}{4} - \left(\frac{11,7}{60} \right)}{\frac{1}{100} - \frac{1}{200}} = 11 \text{ km}$$

2.4.9.2.2 Gjennomsnittshastighet for forbikjørt tog

Ut fra avstanden mellom forbikjøringspunkter kan det finnes gjennomsnittshastighet for toget som blir forbikjørt. Total tidsbruk, $T_{\text{forbikjøring}}$, for en forbikjøring er lik intervallet mellom de raske togene pluss tiden det tar for det raske toget å kjøre mellom forbikjøringsporene, med avstand d .

Gjennomsnittshastigheten for toget som stopper og blir forbikjørt er dermed lik $d/(T_{\text{forbikjøring}}) = d/(1/N + d/v_2)$, dvs.:

$$v_{1,gjennomsnitt} = \frac{d}{\frac{1}{N} + d/v_2} = \frac{1}{\frac{1}{d * N} + \frac{1}{v_2}}$$

Ved veldig korte avstander mellom forbikjøringsspor vil det langsomme toget ikke kunne utnytte nominell hastighet og hastigheten v_1 blir da redusert. Dvs. at avstanden mellom forbikjøringsspor vil minke (som i sin tur ytterligere en reduksjon i avstand). Samtidig blir også akselerasjons- og retardasjonstap redusert, noe som kompenserer litt for reduksjon i hastighet.

Eksempel:

$v_1=100$ km/t, $v_2=200$ km/t $T_{f1}=3$ min (start godstog fra stopp), $T_{b1}=3$ min, $T_{f2}=2$ min, $T_{b2}=3$ min, $N=4$ tog/time. d beregnes ut fra formelen i avsnitt 2.4.9.2.1 til 11 km.

Da fås:

$$v_{1,gjennomsnitt} = \frac{1}{\frac{1}{d * N} + \frac{1}{v_2}} = \frac{1}{\frac{1}{11 * 4} + \frac{1}{200}} = 36 \text{ km/t}$$

Reduseres frekvensen til 2 tog/time fås $d = 61$ km og $v_{1,gjennomsnitt} = 76$ km/t.

2.4.9.2.3 Kapasitet ved forbikjøring med stopp

Kapasiteten er i utgangspunktet bestemt ut fra at det skjer en forbikjøring på et forbikjøringsspor hver gang det er et raskt tog. Kapasiteten for langsomme tog blir da lik antall raske tog.

Kapasiteten kan økes hvis det etableres flere forbikjøringsspor enn det minste antallet gitt ved maksimal avstand mellom forbikjøringsporene (avsnitt 2.4.9.2.1) pluss eventuelle reserveforbikjøringspor. Dette er ikke betraktet nærmere i håndboken.

Det gjelder avstanden mellom forbikjøringsspor ikke kan være negativ, dvs. $d \geq 0$. Grensen for hvor mange raske tog, N , det er plass til kan da finnes ut fra ligningene i avsnitt 2.4.9.2.1 ved at telleren er større enn eller lik 0:

$$\frac{1}{N} - (T_{f1} + T_{b1} + T_{f2} + T_{b2} + T_{aks} + T_{ret}) \geq 0$$

$$N \leq \frac{1}{T_{f1} + T_{b1} + T_{f2} + T_{b2} + T_{aks} + T_{ret}}$$

Kapasiteten er lik øvre grense (der $d=0$) for N , dvs. at $N \leq K_{\max}$:

$$K_{\max} = \frac{1}{T_{f1} + T_{b1} + T_{f2} + T_{b2} + T_{aks} + T_{ret}}$$

I eksemplet over betyr det at $K_{\max} = 1/(11,7/60) = 5,1$ tog/time. Reduseres kravet til margin til 1 minutt fås at $K_{\max} = 1/(7,7/60) = 7,8$ tog/time.

Selv om det er forbikjøringsspor er det altså ikke ubegrenset mulighet for framføring av tog. 5-6 tog/time synes å være en rimelig grense med de viste hastighetene.

Hvis avstand mellom forbikjøringsspor er definert som en faktisk verdi i eksisterende eller planlagt infrastruktur (ikke som en øvre grense) kan maksimalt antall raske tog, N , og dermed antall langsomme tog, finnes ut fra ligningene i avsnitt 2.4.9.2.1 som:

$$K = \frac{1}{d \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) + (T_{f1} + T_{b1} + T_{f2} + T_{b2} + T_{aks} + T_{ret})}$$

Eksempel

$d=30$ km, $v_1=100$ km/t, $v_2=200$ km/t, $T_{f1}+T_{b1}+T_{f2}+T_{b2}+T_{aks}+T_{ret}=11,7$ minutter= $11,7/60$ timer.

$$K = \frac{1}{30 \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{200} \right) + \left(\frac{11,7}{60} \right)} = 2,9 \text{ tog/time}$$

Med $d = 20$ km fås tilsvarende $K = 3,4$ tog/time.

Alternativt kan kapasiteten (fra ligningene i avsnitt 2.4.9.2.1) uttrykkes ved hjelp av nødvendig kjøretidsforskjell, $\Delta T_{kjør}$, mellom forbikjøringsspor. Avsnittet med størst kjøretid mellom forbikjøringsspor dimensjonerer kapasiteten for en strekning (analogt med enkeltsporstekninger (se avsnitt 2.6.1) og dimensjonerende kjøretid mellom kryssingsspor). Kapasiteten uttrykkes da som:

$$K = \frac{1}{\Delta T_{kjør} + (T_{f1} + T_{b1} + T_{f2} + T_{b2} + T_{aks} + T_{ret})} \Leftrightarrow$$

$$K = \frac{1}{\Delta T_{kjør} + (T_{f1} + T_{f2} + T_{aks} + T_{ret}) + (T_{b1} + T_{b2})}$$

Eksempel

$\Delta T_{kj\ddot{o}r} = 7$ minutter, $v_1 = 100$ km/t, $v_2 = 200$ km/t, $T_{f1} + T_{f2} + T_{aks} + T_{ret} = 1,2 + 2,5 + 1,5 + 0,5 = 5,7$ minutter.

$T_{b1} + T_{b2t} = 3 + 3 = 6$ minutter.

$$K = \frac{1}{(7 + 5,7 + 6)/60} = 3,2 \text{ tog/time}$$

Kapasitetsberegningen forutsetter at forbikjøringer kan legges til steder der de trengs ut fra ønsket buffertid. Med varierende avstand mellom forbikjøringsspor vil det som oftest ikke være mulig med forbikjøring på ideelt sted og konsekvensen vil være at det blir et ventetidstap. For å begrense tidstap (i absolutt tid) regnes det med et tillegg til beleggstiden som er proporsjonalt med 0,25 minutt per avsnitt mellom forbikjøringsspor [13]. Ved å redusere antall tog blir det færre forbikjøringer og dermed raskere framføringstid.

Tillegget skal også kompensere for at omfang av forsinkelser (antall hendelser og akkumulert verdi) kan øke med økt strekningslengde. Ved å redusere antall tog blir det lavere totalutnyttelse av forbikjøringsspor og flere av disse kan da benyttes som reserveforbikjøringsspor for å fange opp forsinkelser.

Kapasiteten beregnes da, med z lik antallet av avsnitt mellom forbikjøringsspor og T_p lik den betraktede perioden (alle tider i minutter) som:

$$K = \frac{T_p}{\Delta T_{kj\ddot{o}r} + (T_{f1} + T_{f2} + T_{aks} + T_{ret}) + (T_{b1} + T_{b2}) + 0,25 * z}$$

(Situasjonen er analog til kryssing på enkeltsporssteking (se avsnitt 2.6.1).)

2.4.9.2.4 Robusthet ved forbikjøring med stopp

Ved forbikjøring med stopp er det tre grunnleggende muligheter for å skape marginer for å håndtere forsinkelser:

- a) Etablering av marginer mellom alle tog ved forbikjøringer
- b) Etablering av reserve-forbikjøringsspor
- c) Etablering av reserveruteleier

Marginer mellom tog kan benyttes til å fange opp mindre forsinkelser som kan forventes å opptre hyppig. Reserve-forbikjøringsspor eller reserveruteleier benyttes til å begrense store forsinkelser som opptre sjelden. Optimalt sett bør det benyttes kombinasjoner av a) og b) eller a) og c).

Marginer

Hvis all reservertid i ruteplansystemet skal etableres med marginer mellom tog vil det medføre en lav gjennomsnittshastighet for tog som skal forbikjøres. I tillegg blir det kort mellom forbikjøringsspor.

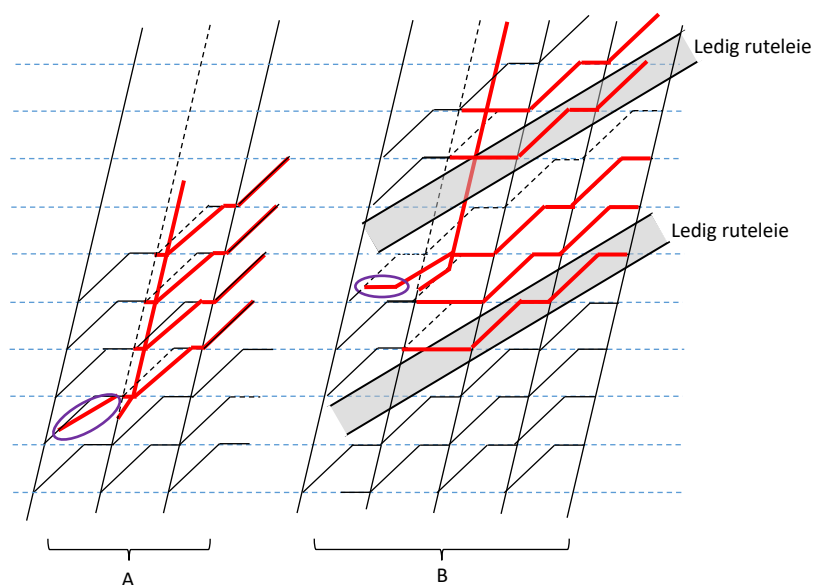
Etablering av marginer mellom alle tog ved forbikjøringer fører til at det blir kortere avstand mellom forbikjøringsspor enn i c) og at gjennomsnittshastigheten for de langsomme togene blir lavere enn i b) og c).

Buffertiden før forbikjøring vil fungere som buffer både for de langsomme og raske togene. En (liten) forsinkelse for et langsomt tog vil fanges opp i buffertiden mens en (liten) forsinkelse for et raskt tog vil overføres til det langsomme toget men fanges opp i neste forbikjøring. Det er derfor ikke samme behov for buffertid i begge «ender» av en forbikjøring ved forbikjøring med stopp som ved forbikjøring i fart.

Reserveruteleier

Med et forsinket langsomt tog uten reserveruteleier overføres denne forsinkelsen til det langsomme toget etter forbikjøringen, men etter et antall forbikjøringer er forsinkelsen for det langsomme toget eliminert. Dette er illustrert i Figur 17, del A (med overføring av forsinkelse bare en gang). Underveis vil raskt tog bli forsinket av det langsomme toget som siden forsinkes raske tog, siden forbikjøringer bare kan skje på reserveforbikjøringssporene.

Med et reserveruteleie for de langsomme togene kan et tog kan holdes igjen på forbikjøringssporet og fases inn i neste ruteleie for langsomme tog. Forsinkelsen sprer seg da mellom langsomme tog inntil neste ledige ruteleie. Dette er illustrert i Figur 17, del B. Etter det ledige ruteleiet vil forsinkelsen være eliminert for de langsomme togene.



Figur 17. Forbikjøring med stopp og spredning av forsinkelser. Lilla sirkler illustrerer hvor initialforsinkelse oppstår.

Forsinkelse av et langsomt gjør at toget overtar ruteleiet til toget etter slik at forsinkelse sprer seg bakover. Via raske tog spres forsinkelse også framover til et forankjørende langsomt tog. Etter en viss kjøretid for det raske toget vil bruk av kjøretidstillegget redusere forsinkelsen og dermed overføring av forsinkelse til langsomme tog.

Hvis det benyttes reserveruteleier bør det være et reserveruteleie for hvert tredje langsomme tog. Hvis det på denne måten utnyttes tre av fire ruteleier for langsomme tog sprer forsinkelse seg maksimalt til to andre langsomme tog bakover.

Reserveforbikjøringsspor

Etablering av reserveforbikjøringsspor fører til at det kan framføres færre langsomme tog og det fører til færre forbikjøringsspor enn i b), men det går ikke ut over gjennomsnittshastigheten for de langsomme togene slik økte marginer i a) gjør.

Benyttes det reserve-forbikjøringsspor bør det være minst like mange reserve-forbikjøringsspor som det er faste forbikjøringsspor.

2.4.9.2.5 Sammenstilling av virkninger av forbikjøring med stopp

Virkingen av forbikjøring med stopp er vist i Tabell 5 med et eksempel for tog med 90 km/t henholdsvis 130 km/t (130 km/t er gjennomsnittshastighet) og $T_{f1}+T_{b1}+T_{f2}+T_{b2}+T_{aks}+T_{ret}=1,2+3+2,5+3+1,5+0,5=11,7$ minutter.

Tabell 5. Virkning av forbikjøring med stopp. Hastighet 90 km/t og 130 km/t. 3 minutters margin.

Antall raske tog per time (tog/time/retning)	Periode mellom raske tog (min)	Avstand mellom forbikjørings-spor minimum (km)	Kjøretid mellom forbikjøring (min)	v gjennomsnitt langsomt tog (km/t)
1	60	235	157	84
2	30	89	59	75
3	20	40	27	63
4	15	16	11	43
5	12	1	1	7
6	10	0	∞	0

Med andre hastigheter er virkingen av forbikjøring med stopp en annen. Det er vist i Tabell 6 et eksempel for tog med 100 km/t henholdsvis 200 km/t. Hastighet på 200 km/t er gjennomsnittshastighet for det raske toget og krever da enda høyere toppfart.

$T_{f1}+T_{b1}+T_{f2}+T_{b2}+T_{aks}+T_{ret}=1,2+3+2,5+3+1,5+0,5=11,7$ minutter.

Tabell 6. Virkning av forbikjøring med stopp. Hastighet 100 km/t og 200 km/t. 3 minutters margin.

Antall raske tog per time (tog/time/retning)	Periode mellom raske tog (min)	Avstand mellom forbikjøringsspor minimum (km)	Kjøretid mellom forbikjøring (min)	v gjennomsnitt langsomt tog (km/t)
1	60	161	97	89
2	30	61	37	76
3	20	28	17	59
4	15	11	7	36
5	12	1	1	5
6	10	0	∞	0

Det sees at er forskjellige verdier i de to tilfellene i Tabell 5 og Tabell 6, men at resultatet i prinsippet er det samme.

Tabell 5 og Tabell 6 viser at det ved 6 tog per time ikke er tid nok mellom tog til forbikjøring, slik at grensen for antall raske tog går ved 5 tog/time. Dette også resultatet fra avsnitt 2.4.9.2.3 der maksimal kapasitet ble funnet til 5,1 tog/time svarende til resultatet i Tabell 6.

Tabell 6 kan også benyttes til raskt å estimere hvilken kapasitet som er mulig ved en gitt avstand mellom forbikjøringsspor. For eksempel er det ved $d=30$ km mulig (ut fra interpolasjon) å konkludere at antall tog må være litt mindre enn 3 tog/time. Dette stemmer med resultatet på 2,9 tog/time som ble funnet i avsnitt 2.4.9.2.3.

Det sees videre at gjennomsnittshastigheten reduseres for de togene som stopper og blir forbikjørt med økende togtetthet. Ved f.eks. 4 tog/time er gjennomsnittshastigheten bare 36 % av nominell hastighet. Ut fra dette aspektet kan det ikke anbefales mer enn inntil 3 tog/time når det er forbikjøring og 3 minutters margin mellom togene.

Med 90 % punktlighet og eksponentialfordeling svarer 3 minutters margin til at en andel på $1 - e^{(-0,58 \cdot 3)} = 82$ % av togene er mindre forsinket enn marginen. Dvs. at det er 18 % sannsynlig at et tog er mer forsinket enn 3 minutt. Dette er en ikke ubetydelig andel og det bør i tillegg være reserveruteleier for å kompensere for spredning av forsinkelser. Se avsnitt 2.4.9.2.4.

Hvis det utnyttes tre av fire ruteleier for langsomme tog sprer forsinkelse seg maksimalt til to andre langsomme tog. Kapasiteten for langsomme tog er da $3 \text{ tog/time} \cdot 3/4 = 2,3 \text{ tog/time}$ som avrundet er to ruteleier per time. Utnyttelsen av de langsomme ruteleiene er da $2/3 = 67$ %. Overføring av forsinkelse til raske tog kan imidlertid ikke unngås med reserveruteleier.

Velges det isteden en høyere margin som f.eks. 5 minutter er det 94 % av togene som er mindre enn 5 minutter forsinket og 6 % som er mer enn 5 minutter forsinket. Det betyr at det er en vesentlig mindre andel av togene som er mer forsinket enn marginen, sammenlignet med 3 minutters margin, og det kan aksepteres færre reserveruteleier.

Tabell 7 viser virkningen av 5 minutters margin.

Tabell 7. Virkning av forbikjøring med stopp. Hastighet 100 km/t og 200 km/t. 5 minutters margin.

Antall raske tog per time (tog/time/retning)	Periode mellom raske tog (min)	Avstand mellom forbikjørings-spør minimum (km)	Kjøretid mellom forbikjøring (min)	v gjennomsnitt langsomt tog (km/t)
1	60	148	89	85
2	30	48	29	65
3	20	14	9	35
4	15	0	∞	0

Det framgår av Tabell 7 at kapasiteten er maksimalt 3 raske tog/time og da tilsvarende 3 langsomme tog/time.

Ut fra gjennomsnittshastigheten er det ikke rimelig å anbefale mer enn 2 raske tog/time. Dette er samme kapasitet for langsomme tog som ved 3 minutters margin med reserveruteleier. Imidlertid er kapasiteten for raske tog også bare 2 tog/time, mens den med 3 minutters margin og reserveruteleir var 3 tog/time.

Det sees at lavere margin kombinert med lavere utnyttelse av ruteleier for langsomme tog gir samme kapasitet for langsomme tog (2 tog/time) og omtrent samme gjennomsnittshastighet for langsomme tog som ved større margin (59 km/t henholdsvis 65 km/t). Til gjengjeld er det samtidig mulig med forbikjøring ved et høyere antall raske tog (3 tog/time mot 2 tog/time). Prisen for flere raske tog er en større sannsynlighet for overføring av forsinkelse til raske tog.

2.4.10 Avgreninger på dobbeltspor

2.4.10.1 Typer avgreninger

I det følgende omtales generelle prinsipper for avgrening fra et dobbeltspor. Det sees på tre prinsipielle utforminger:

- Kryssing i plan uten ventespor
- Kryssing i plan med ventespor
- Planskilt avgrening

Det forutsettes at persontog i utgangspunktet bare benytter planskilt avgrening. Med avgrening i plan vil det kunne opptre ventetider for persontog (økning i planlagt kjøretid eller følgeforsinkelse ved avvik) og dette er framføringsmessig ikke akseptabelt som dimensjoneringsforutsetning. Ved veldig lave frekvenser av tog i dobbeltsporet vil det kunne være mulig å krysse uten planskilt avgrening men dette vil ikke være en vanlig situasjon på dobbeltspor bortsett fra ytterperiodene i lavtrafikkperioder.

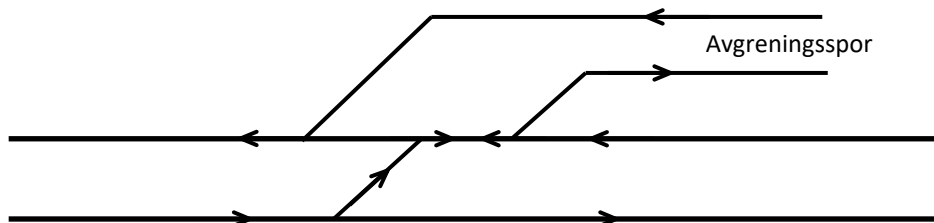
Sammenlignet med planskilt avgrening vil en avgrening i plan (med eller uten ventespor) medføre økning i framføringstid og reduksjon punktlighetsreduksjon og etterspørsel. Hvis samfunnsøkonomiske beregninger viser at besparelse er større enn samlet nyttetap ved å velge en avgrening i plan, kan dette være et argument for å fravike anbefalingen om at persontog bare skal grene av planskilt. Dette må i så fall undersøkes i en konkret situasjon, men legges ikke til grunn som dimensjoneringskriterium.

Beskrivelsene i det følgende for kryssing i plan, med eller uten ventespor, vil derfor i utgangspunktet gjelde for avgrening med godstog.

Det er i gjennomgangen tatt utgangspunkt i at det er avgrening i hvert «vindu» mellom tog som kjøres rett fram. Hvis dette ikke er tilfellet og det i stedet bare er noen få tilfeller med avgrening (noen få per dag eller med f.eks. to timers mellomrom) er situasjonen en annen og det kan da eventuelt aksepteres lavere marginer mellom tog og tilsvarende større risiko for overføring av forsinkelse, siden omfanget er begrenset. Det kan da eventuelt aksepteres avgrening i plan også ved høyere antall tog rett fram. Det vil også spille inn på vurderingen hva som skjer med det toget som grener av etter avgreningen, om det kjører rett inn på en terminal eller om det skal fortsette på en annen bane og om det er ventespør etter avgreningen som kan benyttes til å fange opp forsinkelser. Alle disse forholdne må vurderes med tanke på konsekvens for punktlighet når det skal vurderes mulighet for avgrening i plan.

Med få persontog (f.eks. fire fjerntog per døgn) som grener av fra et dobbeltspor vil situasjonen være tilsvarende og det kan gjøres vurderinger av risikoen for spredning av forsinkelser og mulighet til å krysse i plan.

Figur 18 viser løsning med avgrening i plan uten ventespør. Dette er den enkleste løsningen og tog som skal til avgreningssporet må krysse motstrøms trafikk. Kommer toget ikke på riktig tidspunkt i forhold til motstrøms trafikk, slik at det umiddelbart kan komme ut på avgreningssporet, vil det oppta tid (kapasitet) for tog bakfra i samme retning. Dette gir derfor bindinger mellom trafikken i begge retninger og få muligheter til kryssing. Nødvendig tidsluke for kryssing mellom tog på dobbeltsporet (i motsatt retning av avgreningen) er størst for dette alternativet, hvilket også gjør det til det minst fleksible alternativet.



Figur 18. Avgrening med kryssing i plan, uten ventespør.

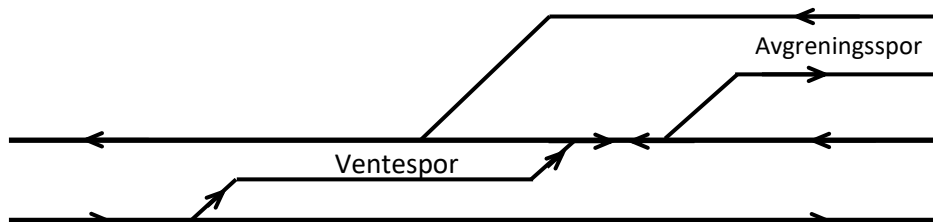
Figur 19 viser løsning med avgrening i plan med ventespør. Denne løsningen er mer fleksibel enn løsningen uten ventespør. Tog som skal til avgreningssporet kjører bort fra det ene sporet på dobbeltsporet og inn på ventesporet for å vente på ledig tid til motstrøms kryssing. På denne måten brytes i høy grad bindinger mellom trafikken i de to retningene på dobbeltsporet, og dette alternativet er derfor vesentlig mer fleksibelt enn alternativet uten ventespør.

Hvis det er konflikt mellom det toget som skal krysse og togene som kjører rett fram må det enten

- finnes et annet ruteleie
- kjøres saktere i påvente av at tog rett fram har kjørt forbi, eller
- etableres et ventespør

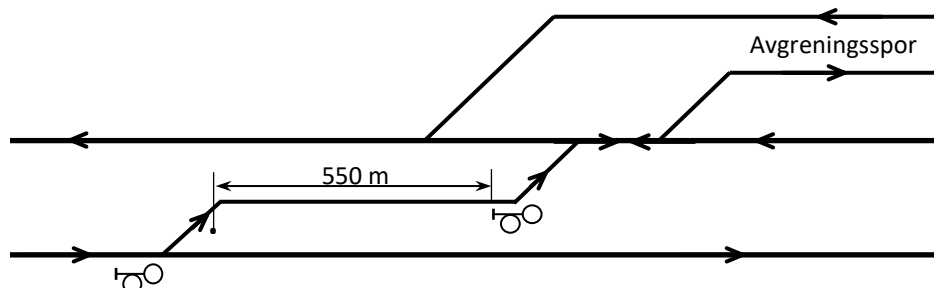
Det er ikke sikkert at det er mulig å finne et annet ruteleie hvis det er bindinger i ruteplanen om når tog kan plasseres. Det er heller ikke sikkert at det er mulig å la det kryssende toget kjøre saktere fram til

kryssingen hvis det er et annet tog rett bak som ikke skal sinkes. Sannsynligheten for disse konfliktene øker med togtettheten.



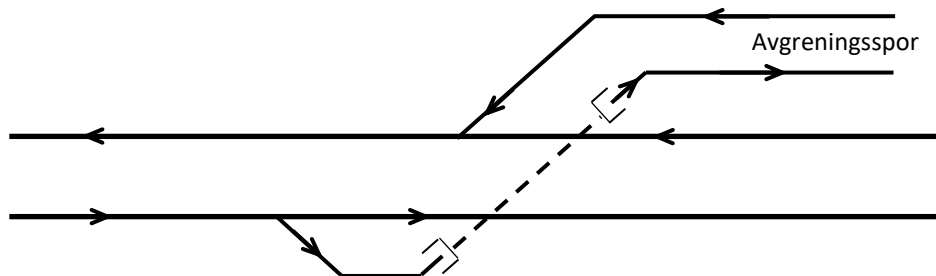
Figur 19. Avgrening med kryssing i plan, med ventespor.

Ventesporet må ha tilstrekkelig lengde til å stoppe et tog mellom signal og middel i vekselen. Dette er illustrert i Figur 20 for et eksempel med 500 m lange tog.



Figur 20. Avgrening med kryssing i plan, med ventespor. Nødvendig lengde til et 500 m langt tog

Ved tilstrekkelig høy trafikk på dobbeltsporet vil det ikke være mulig å foreta en motstrøms kryssing i tilgjengelig tidsluke mellom togene, heller ikke selv om det er ventespor. Selv om trafikken er litt lavere enn maksgrensen vil det, også med ventespor, være sårbart å ha motstrøms kryssing til avgreningssporet siden det fremdeles er avhengighet mellom retningene slik at forsinkelser kan forplante seg mellom retningene. Høy trafikk i dobbeltsporet vil det derfor framførmessig gjøre det nødvendig med planskilt avgrening som vist i Figur 21. Ventespor må benyttes når det ikke er så høy trafikk, evt. i ytterperioder av driftsdøgnet.



Figur 21. Planskilt avgrenning.

Med planskilt avgrenning er det ingen motstrøms trafikk til avgrenningssporet og det er da full uavhengighet mellom de to retningene.

Hvis lange godstog medfører lange ventespor kan det i visse tilfeller være nesten like dyrt som planskilt avgrenning, samtidig som den planskilte avgrenningen gir større kapasitet og ikke gir begrensninger av lengde av tog (framtidig lengde kan være ukjent).

2.4.10.2 Tidsbelegg og mulighet for avgrenning

Det tas utgangspunkt i at avgrenning skjer på dobbeltspor og at tog som skal grene av kjøres i et system av stive og jevnt fordelte ruterleier.

Et tog som skal grene av fra en bane må da passes inn mellom tog som skal i samme retning (retning 1) og det må kunne krysse over spor i motsatt kjøreretning (retning 2) mellom samme type ruteleier som i det første sporet (retning 1).

Det sees på tidsbruk og sannsynlighet for konfliktfri kryssing som følge av avgrenningen. Dvs. det tas utgangspunkt i at et tog som skal grene av passes inn et sted der det passer mellom tog som skal rett fra i samme retning, men at det ikke er kjent når ruteleiene i motsatt retning er plassert. Dvs. at hvis toget ikke skulle ha grenet av ville sannsynligheten for konflikt være 0, mens den beregnede sannsynligheten for konflikt skyldes *avgrenningen*.

Sannsynligheten for konflikt i en avgrenning kan ikke være for høy hvis det skal kunne planlegges med at en avgrenning i plan kan fungere også for et stort antall framtidige ruteplaner.

Gjennomgangen i etterfølgende avsnitt illustrerer effekten av *avgrenning isolert sett*. Hvis det er store kjøretidsforskjeller mellom tog som skal rett fram og tog som skal grene av vil dette påvirke hvor mye tid et tog som skal grene av belegger. I verste fall blir tidsbelegget per tog så stort at det ikke er mulig å grene av i fart og det må da etableres et forbikjøringsspor.

Slike ruteplanmessige forhold er *ikke* betraktet i det følgende om avgrenninger.

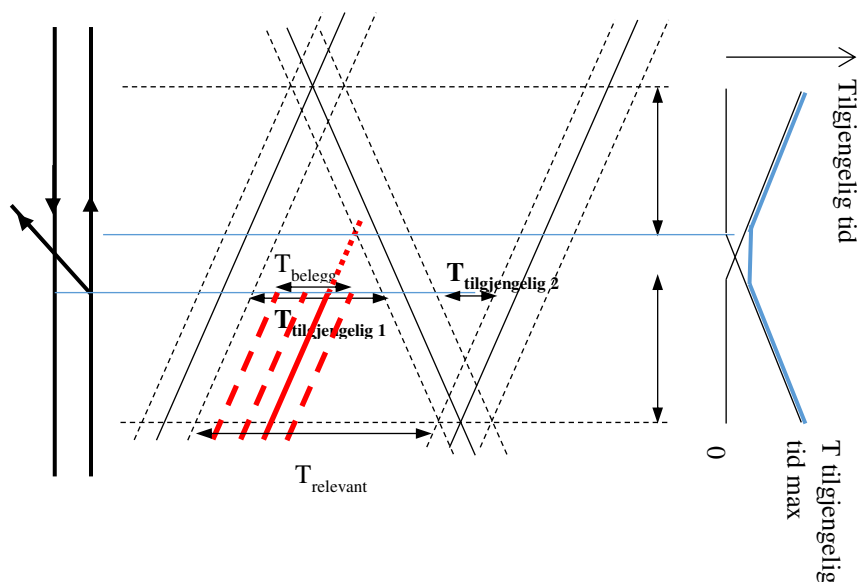
Det er heller ikke sett på problematikk med reserveruteleier for (gods-) tog for å øke robustheten.

2.4.10.3 Avgrening i plan

Prinsippet for beregning av kapasitet ved avgrening og motstrøms kryssing er slik:

Intervallet mellom to tog i samme retning som toget som grener av, deles ved avgreningspunktet i to mindre intervaller av tog i motstrøms retning. For å kunne krysse motstrøms må det i minst ett av de to delintervallene, T_1 og T_2 , være tid nok til motstrøms kryssing. Plassering av ruteleiene for de faste togene i forhold til hverandre er tilfeldig mens avgreningspunktet kan være eller er fast. Dette svarer rent beleggsmessig til at ruteleiene er plassert fast i forhold til hverandre og at avgreningspunktet plasseres tilfeldig.

Gjennomganger i det følgende baserer seg på at alle tog har like hastigheter. Er det en blanding av raske og langsomme tog vil mulighetene til å grene av i plan være enda mer begrensede enn det som resultatene viser.



Figur 22. Tidsbehov for avgrening i plan uten ventespør.

For at det skal være mulig å grene av i fart, uten å bremse eller vente, må det være tid nok til rådighet mellom tog i hver retning på verdien $T_{belegg} = T_f + T_x + T_m$, der T_f er togfølgetiden for toget som skal grene av, T_x er tid for motstrøms kryssing og T_m er en margin hvis toget som skal grene av er forsinket (så det ikke påvirker neste tog).

På hver side av avgreningen vil tilgjengelig tid variere fra 0 og opp til en maksimalverdi. Se Figur 22. Tidene er symmetriske på hver side av toget som kjører i motsatt retning. Når tidene summeres kan det finnes samlet tilgjengelig tid for avgreningskryssing og dermed sannsynligheten for at det er konflikt. Denne finnes som forholdet mellom gjennomsnittlig, tilgjengelig tid for plassering av ruteleie for tog til avgrening og tid som er relevant for plassering av et slikt ruteleie.

Det relevante tidsintervallet der det kan plasseres et ruteleie for avgrening er lik tiden mellom to tog i samme retning, men fratrasket marginen for det første toget og togfølgetiden for det andre toget.

Tilgjengelig tid finnes mellom tog i hver sin retning, men fratrasket margin, togfølgetider og tiden det tar å grene av og krysse motstrøms.

Tabell 8 viser sannsynligheten for konflikt for ulike kombinasjoner av togfølgetid og margin. Det er regnet med $T_x = 1$ min.

Forutsetninger for tabellen er at det sees isolert sett på avgreningen og ikke tas hensyn til bindinger i trafikken fra andre steder langs strekningen.

Ved rutemodelluavhengig dimensjonering kan det aldri helt utelukkes konflikt i avgrening, men hvis det skal *planlegges* med avgrening uten planskilt kryssing virker det ikke rimelig å tillate dette hvis sannsynlighetene er mer enn ca. 50 %.

Tabell 8. Sannsynlighet for konflikt ved kryssing i plan.

Antall tog rett fram (tog/time/retning)	p_konflikt Tf=1,5 Tm=0	p_konflikt Tf=1,5 Tm=1	p_konflikt Tf=2 Tm=2	p_konflikt Tf=2 Tm=3	p_konflikt Tf=2,5 Tm=4
1	11 %	15 %	23 %	27 %	32 %
2	21 %	30 %	43 %	52 %	60 %
3	31 %	44 %	62 %	73 %	83 %
4	40 %	57 %	78 %	89 %	97 %
5	49 %	68 %	91 %	99 %	100 %

Ut fra Tabell 8 virker det derfor ikke rimelig å la planlegge bruk av avgrening i plan for mer enn 1-3 tog per time og retning i sporene rett fram (som det grenes av fra og som det krysses over) avhengig av tidsbelegg.

Avgrening i plan vil typisk bare kunne brukes i lavtrafikkperioder, hvis den kan brukes.

Alternativet er å tillate mindre marginer på bekostning av punktligheten. Allikevel sees det ut fra Tabell 8 at det er en betydelig sannsynlighet for konflikt for mer enn 2 tog/time selv om det både er lav togfølgetid og lav margin. Med lavere krav til margin kan det kanskje aksepteres opp til 4 tog/time i sporet rett fram. Som en tommelfingerregel bør det ikke planlegges med mer enn to tog fram i hovedspor.

Med en konkret ruteplan kan det vise seg at det er tilstrekkelig tid til avgrening uten konflikt. Avgrening i plan og uten ventespor er ad uproblematisk, men ved en framtidig, ønsket endring av ruteplanen kan det oppstå konflikter. Alternativene er da å ikke gjennomføre endringen i ruteplanen, akseptere forsinkelser/lavere punktlighet eller å bygge om infrastrukturen.

Det maksimale **antall tog** i avgrening kan beregnes ut fra tilgjengelig tid mellom tog i de to intervallene som dannes av tog i hver sin retning. Det er da forutsatt at ruteleier for tog i avgrening er lagt slik at det

er kjent at det ikke er konflikt. Ved tilstrekkelig høyt antall tog i sporet rett fram vil det ikke være tid nok til avgrening, uansett hvor mange tog det er tenkt kjørt i avgreningsspor.

Tabell 9 viser (på et gjennomsnittlig nivå) hvor mange tog det maksimalt er plass til i avgreningen per time hvis ruteleiene er plassert slik at avgreningen kommer midt på strekningen. Det videre forutsatt at togene i avgrening kjøres i pulje. Belegg av første tog er satt til 9 minutter (margin etter første tog rett fram + togfølgetid for første avgrenende tog + kryssingstid + margin for avgrenende tog = $3+2+1+3=9$) og belegg av etterfølgende tog er satt til 5 minutter (togfølgetid andre tog + margin andre tog = $2+3=5$). Tallene er en teoretisk beregning som vises forskjellen som funksjon av antall tog rett fram i hovedsporet. I praksis vil antall tog ikke være så høyt siden det kan være begrensinger på linjen fram til avgreningen, bl.a. krav til reserveruteleier og forskjeller i kjøretider.

Tabell 9. Maksimalt antall tog i avgrening ved puljekjøring av tog i avgrening.

Antall tog rett fram (tog/time/retning)	Avgrening midt i intervall mellom tog		Avgrening i enden av intervall mellom tog	
	Antall tog i avgrening, Tf=2, Tx=1, Tm=3 (tog/time)	Antall tog i avgrening, Tf=2, Tx=1, Tm=1 (tog/time)	Antall tog i avgrening, Tf=2, Tx=1, Tm=3 (tog/time)	Antall tog i avgrening, Tf=2, Tx=1, Tm=1 (tog/time)
1	8	16	10	18
2	4	12	9	17
3	0	12	8	16
4	0	8	7	14
5	0	0	6	13
6	0	0	0	12
7	0	0	0	10
8	0	0	0	9
9	0	0	0	0

Som det framgår av Tabell 9 vil mulig antall tog i avgrening variere med antall tog rett fram og krav til marginer.

Det framgår også av Tabell 9 at det med 3 minutters margin ikke kan forventes å krysse motstrøms i plan og uten ventespør, hvis det er mer enn to tog/time/retning rett fram. Aksepteres det 1 minutt margin sannsynligvis avvikles fire tog/time rett fram. Ved ideell plassering av ruteleier i forhold til avgreningspunkt kan det avvikles flere tog, da 5-8 tog rett fram med 3 eller 1 minutt margin. Resultatene ved plassering midt i intervallet svarer til resultatet fra Tabell 8 med sannsynlighet for konflikt.

Med en ideell plassering av ruteleier i forhold til avgreningspunkt kan det kjøres flere tog rett fram i hovedspor og i avgrening, men en slik ideell plassering kan ikke forutsettes i planleggingen.

Ved veldig høye antall kryssende tog per time er det hensiktsmessig å innføre reserveruteleier blant de kryssende togene grunnet robustetshåndtering på linjen selv.

2.4.10.4 Avgrening med ventespor

Med ventespor er det ingen avhengighet til tog i samme retning som det kryssende toget. Med ventespor vil en kryssing kunne flyttes til et tidspunkt der det ikke er konflikt. Det betyr at etter som kryssing kan flyttes kan det kryssende toget ha et ventetidstap. Spørsmålet er hvor stort ventetidstapet blir som funksjon av togtettheten - og hva som er akseptabel ventetid.

Hvis kryssing treffer i en stor nok åpen tidsluke er det ikke behov for å vente. Hvis ideell kryssing derimot er i en periode i der sporet er opptatt eller reservert av tog rett fram vil det bli en ventetid som varierer med tidspunktet for ønsket kryssing.

For å beskrive ventetiden tas det utgangspunkt i passeringen av selve toget i avgreningen. Maks ventetid oppstår når det kryssende toget akkurat *ikke* rekker å krysse over. Det må da vente i tiden $T_f + T_m$ pluss et tillegg fordi kryssingstiden blir lengre når det startes fra stopp eller lavere hastighet enn ved grønt forsignal. Ventetiden er da $T_f + T_m + \Delta T_x$.

Det vises til vedlegg 3 for en nærmere beskrivelse av dette.

Eksempler med avgrening med ventespor

$$T_{f3}=2, T_{m3}=3, T_{x2}=2, \Delta T_{x2}=0,5, T_{m2}=3$$

I Tabell 10 er det vist ventetid ved ulikt antall tog rett fram i sporet.

Tabell 10. Ventetid i avgrening med ventespor.

N rett fram (tog/time/retning)	E(T_vente) (minutt)
1	0,9
2	1,8
3	2,8
4	3,7
5	4,6
6	Kan ikke krysse

Tabell 11 viser ventetiden ved varierende forutsetninger om margin og togfølgetider.

Tabell 11. Ventetid ved varierende forutsetninger.

	$T_{f3}=2, T_{m3}=3,$ $T_{x2}=2, \Delta T_{x2}=0,5, T_{m2}=3$		$T_{f3}=1, T_{m3}=3, T_{x2}=1$ $\Delta T_{x2}=0,5, T_{m2}=3$		$T_{f3}=1, T_{m3}=2, T_{x2}=1$ $\Delta T_{x2}=0,5, T_{m2}=2$	
N rett fram (tog/time/retn ing)	E(T_vente) (minutt)	Maksimalt antall tog per time i avgrening	E(T_vente) (minutt)	Maksimalt antall tog per time i avgrening	E(T_vente) (minutt)	Maksimal t antall tog per time i avgrening
1	0,9	10	0,6	11	0,4	11
2	1,8	8	1,2	8	0,7	10
3	2,8	6	1,8	9	1,1	9
4	3,7	4	2,4	8	1,4	8
5	4,6	5	3,0	5	1,8	5
6	Kan ikke krysse	0	3,6	6	2,1	6
7	Kan ikke krysse	0	4,2	7	2,5	7
8	Kan ikke krysse	0	Kan ikke krysse	0	2,8	8
9	Kan ikke krysse	0	Kan ikke krysse	0	3,2	9
10	Kan ikke krysse	0	Kan ikke krysse	0	Kan ikke krysse	0

Hvis marginen mellom tog over avgreningen reduseres kan antallet øke, som det framgår av tabellen, men siden det da stilles større krav til rettidig ankomst i forbindelse med togene som skal gjennom avgreningen er det en grense for hva som er rimelig å redusere marginen til. Det synes ikke rimelig å anta at det er nok med 1 minutters margin mellom tog som kommer fra linjen og skal kjøre i avgrening. En togfølgetid på ca. 2 minutter og en margin på ca. 3 minutter virker mest rimelig å anta hvis ikke det er kjent hva disse tidene er.

I ingen av tilfellene virker forventet ventetid avskrekkende lang når det er tale om et bevisst design som tillater venting. Derimot er muligheten for kryssing begrenset ved høye togantall rett fram gjennom hovedsporet.

Oppsummering, avgrening med ventespor

Ut fra tabellen sees det da at det ikke er mulig å ha mer avgrening i plan med ventespor hvis det er mer enn 5-6 tog rett fram per time forbi avgreningen.

Dette tallet er imidlertid vesentlig høyere enn tallet uten ventespor (1-2 tog per time rett fram forbi avgrening).

For togantall større enn 5-6 per time rett fram anbefales det da planskilt avgrening.

2.4.10.5 Kriterier for valg av løsning for avgrening

I Tabell 12 er det vist kriterier for valg løsning for avgrening. For et gitt antall tog per time på dobbeltsporet *forbi* avgreningspunktet (tog som ikke grener av og som tog til avgrening kjøres mellom) viser tabellen tilhørende maksimalt antall tog per time som kan kjøres i avgreningssporet med en gitt løsning.

Det er forutsatt at det er like stor trafikk i begge retninger i dobbeltsporet forbi avgreningspunktet. Det er sett bort fra kapasitetsforhold på avgreningssporet (og om det er enkeltspor eller dobbeltspor.) Kriteriene gjelder bare en avgrening isolert sett. Et nett med flere avgreninger kan stille høyere krav til kapasitet for å begrense samlet ventetid/tidstop.

I Tabell 12 er det (jf. gjennomgang over nevnt i avsnitt 2.4.10.1) tatt utgangspunkt i at det er avgrening i hvert «vindu» mellom tog som kjøres rett fram. Hvis det bare er noen få tilfeller med avgrening med lang tid imellom (noen timer) er omfanget av en forsinkelse begrenset og det kan da eventuelt aksepteres lavere marginer mellom tog og dermed kryssing i plan, også ved høyere antall tog rett fram. Med få persontog (f.eks. fire fjerntog per døgn) som grener av fra et dobbeltspor vil situasjonen være tilsvarende og det kan gjøres vurderinger av risikoen for spredning av forsinkelser og mulighet til å krysse i plan.

Det vil også spille inn på vurderingen hva som skjer med det toget som grener av etter avgreningen, om det kjører rett inn på en terminal eller om det skal fortsette på en annen bane og om det er ventespør etter avgreningen som kan benyttes til å fange opp forsinkelser. Alle disse forholdene må vurderes med tanke på konsekvens for punktlighet når det skal vurderes mulighet for avgrening i plan.

Tabell 12. Kriterier for valg av ulike avgreningsløsninger, avgrening mellom alle tog rett fram.

Intervall, T, mellom tog forbi avgreningspunkt (minutter)	N, Antall tog forbi avgrening per time og retning	Løsning og maksimal trafikk i avgrening
$T \geq 30$	$N \leq 2$	Avgrening i plan uten ventespør maks 3 tog/time i avgrening (avh. av antall tog rett fram)
$12 \leq T < 30$	$3 \leq N \leq 5$	Avgrening i plan med ventespør maks 5 tog/time i avgrening (avh. av antall tog rett fram)
$T < 12$	$N \geq 6$	Planskilt avgrening, uavhengig av antall tog i avgrening

Bruk av tabell, eksempel 1

Det ønskes 4 tog/time på dobbeltsporet forbi avgreningen og det ønskes i tillegg kjørt 3 tog/time i avgreningssporet. Tabell 12 viser da at det som minimum bør velges løsning med ventespør (planskilt løsning kan selvsagt også velges og vil være mer fleksibel).

Bruk av tabell, eksempel 2

Det er 6 tog/time forbi avgreningspunktet og det ønskes kjørt 2 tog/time i avgreningsspor. Tabell 12 viser da at det er nødvendig med planskilt avgrenning.

2.4.11 Overkjøringsforbindelser på dobbeltspor

Ved vedlikehold på dobbeltspor stenges ofte det ene sporet mens det andre sporet kan trafikkeres som enkeltspor.

Overkjøringsforbindelser på dobbeltsporet må plasseres tett nok til at det mellom overkjøringsforbindelsene er nok kapasitet i enkeltsporet til å avvike et tilbud svarende til lavtrafikk. Hvis det ikke er definert et eget lavtrafikktilbud benyttes halvparten av frekvens i grunnrute som dimensjoneringsgrunnlag.

Det aksepteres i en slik situasjon lavere punktlighet enn i ordinær drift.

Kapasiteten bestemmes som $K = 80\% \cdot 60 / T_f \Leftrightarrow T_f = 80\% \cdot 60 / K$. Togfølgetiden på enkeltspor er samtidig lik $T_f = (s + L_{\text{tog}}) / v + T_{\text{omlegging}} + T_{\text{sikt}}$, der s er avstanden mellom forbikjøringssporene, L_{tog} er lengden av toget, v er hastigheten av toget. Dvs.:

$$s = (T_f - T_{\text{omlegging}} - T_{\text{sikt}}) \cdot v - L_{\text{tog}}, \text{ eller}$$

$$s = (80\% \cdot 60 / K - T_{\text{omlegging}} - T_{\text{sikt}}) \cdot v - L_{\text{tog}}$$

Eksempel

Lavtrafikkfrekvens er 2 tog/time/retning, dvs. ønsket kapasitet er $K = 2 \cdot 2 = 4$ tog/t, $T_{\text{omlegging}} = 6$ sek, $T_{\text{sikt}} = 8$ sek, $v = 80$ km/t, $L_{\text{tog}} = 220$ m

$$s = (80\% \cdot 60 \text{ min} / 4 - 6 \text{ sek} / 60 \text{ sek/min} - 8 \text{ sek} / 60 \text{ sek/min}) \cdot (80 \text{ km} / 60 \text{ min}) - 0,22 \text{ km} = 15 \text{ km}.$$

Tabell 13 viser avstand mellom overkjøringsforbindelser avhengig av trafikk og hastighet i sporet. Verdien i eksemplet over finnes i cellen (2 tog/time, 80 km/t).

Tabell 13. Avstand mellom overkjøringspunkter ved ett spor stengt..

v (km/t)	40	80	100	160
Antall tog per time og retning	Avstand mellom overkjøringsforbindelser (km)	Avstand mellom overkjøringsforbindelser (km)	Avstand mellom overkjøringsforbindelser (km)	Avstand mellom overkjøringsforbindelser (km)
1	16	31	39	63
2	8	15	19	31
3	5	10	13	20
4	4	7	9	15

Det er viktig å bemerke at hvis det arbeides i veksler blir nærmeste overkjøringsmulighet i neste veksler. Det vil øke avstanden og redusere kapasiteten. For å kompensere for dette må den beregnede avstanden i Tabell 13 deles på to når det skal finnes *fysisk plassering av veksler*.

2.4.12 Tiltak for å øke kapasitet på dobbeltspor

Kapasitet kan økes gjennom ulike tiltak. Prisen for å øke antall tog er ulik, noen krever investering i ny infrastruktur og koster penger, andre krever endring i ruteplaner og koster tid (økt kjøretid) eller kvalitet av rutetilbud (færre stopp eller dårligere tidsfordeling av avganger). Tiltak for å øke kapasiteten kan være:

- Harmonere hastigheter (la raskeste tog kjøre saktere)
- Samle tog i puljer etter hastighet
- Separere trafikk (fire-spors-strekninger)
- Bedre signalplassering

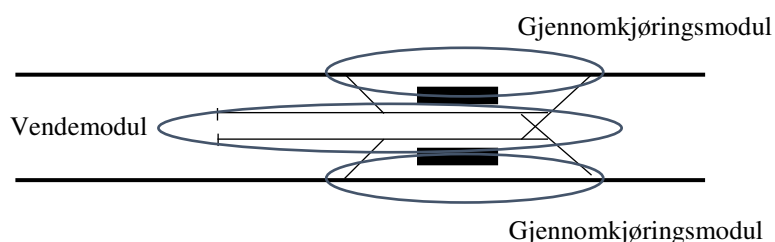
2.4.13 Stasjonsutforming på dobbeltspor

I det følgende skisseres noen typeløsninger for utforming av stasjoner. Det illustreres også følgende:

- konseptene gjennomkjøringsmodul og vendemodul
- prinsipper for plassering av plattformer i gjennomkjøringsmodul og
- plassering av vendemodul på stasjon
- kombinasjoner av gjennomkjørings- og vendemoduler

2.4.13.1 Gjennomkjøringsmodul og vendemodul

Stasjoner kan deles inn i gjennomkjøringsmoduler og vendemoduler, etter hvilken funksjon de har. Prinsippet er vist med et eksempel i Figur 23.



Figur 23. Eksempel på gjennomkjøringsmodul og vendemodul.

Det er ulike utforminger av både gjennomkjøringsmodul og vendemodul og ulike måter å kombinere disse på. Dette beskrives i det følgende.

2.4.13.1.1 Gjennomkjøringsmodul

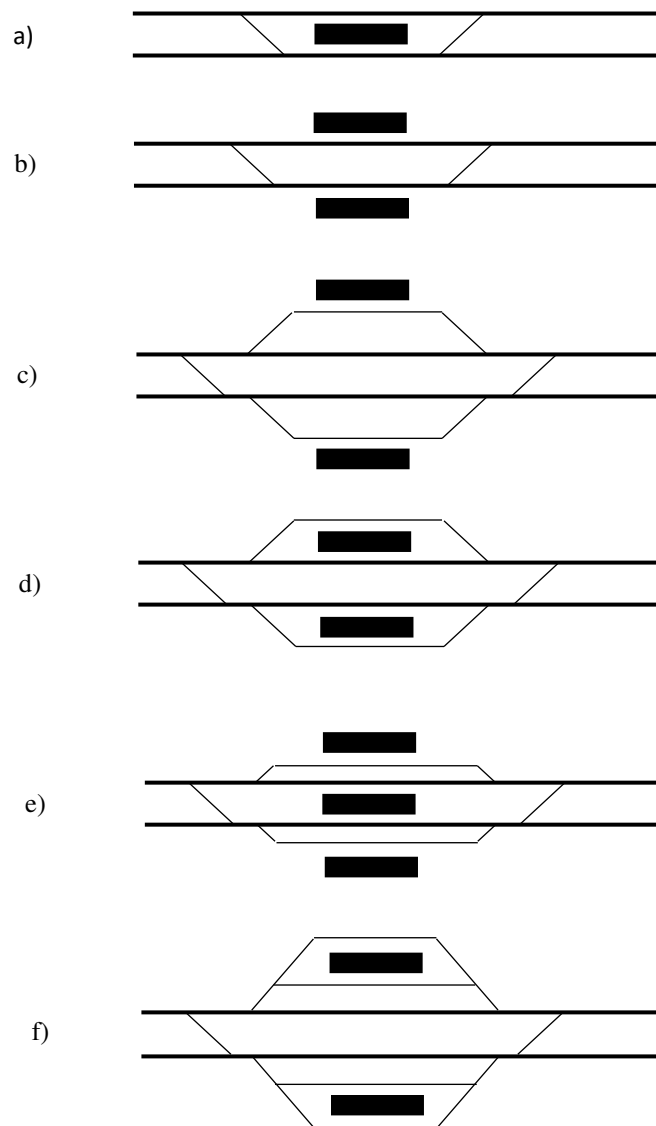
Sikkerhetsaspekter og lokale forhold vil være med på å velge avgjøre hvilken løsning som konkret bør velges. Dette må vurderes fra situasjon til situasjon. Generelt er det slik at jo høyere hastighet og jo flere reisende det er på plattformen desto mer bør plattformen trekkes bort fra hovedsporet og jo bredere bør plattformene være. Tiltak som merking og fysiske barrierer på plattform kan være med til å bestemme hva som er akseptable grenser for trafikktyper, antall reisende og hastigheter.

Framføringsmessig er det kravet til minste rutemessig togfølgetid (i kombinasjon med oppholdstid og belegg av plattformsporet) som avgjør om hvor mange spor til plattform det er behov for. Som en tommelfingerregel vil det være behov for to plattformspor per retning hvis togfølgetiden er mindre enn 4 minutter.

I tillegg vil muligheten til å parkere og snu tog i en avvikssituasjon være med til å definere sporbehovet. I en situasjon der det stopp i trafikken et sted er det hensiktsmessig at det er mulig for (de øvrige) togene å kjøre til plattform for å la passasjerer gå av toget. Dessuten vil det lette igangsettingen av trafikken igjen senere at togsettene er ved stasjoner som på forhånd er definert som «baser». Dette medfører at det bedre kan følges forhåndsdefinerte planer for hvordan materiellet skal fases inn i trafikk igjen.

Også behov for forbikjøringer vil inngå som et kriterium når stasjonsutforming skal velges.

Det vises til kapittel 2.5 for omtale av stasjonskapasitet og sporbehov på stasjoner.



Figur 24. Prinsipputføring av stasjoner, uten vendespor, på dobbeltspor.

Tabell 14 omtaler generelt positive og negative forhold ved stasjonsutføringene i Figur 24. Omtalen er generell for å gi en oversikt over løsninger og må derfor suppleres med mer utførlige analyser i en konkret problemstilling.

Tabell 14. Stasjonsutforminger og positive og negative forhold.

Stasjonsutforming	Positive forhold	Negative forhold
a) Ett spor til plattform, midtliggende plattform mellom hovedspor	Tar liten plass	Lav framføringskapasitet (bare negativt hvis behovet er større enn kapasiteten) Kan bli fullt på plattform hvis det er stopp av to tog samtidig (fra hver sin retning)
b) Ett spor til plattform, sideliggende til hovedspor	Tar relativt liten plass	Lav framføringskapasitet (bare negativt hvis behovet er større enn kapasiteten)
c) Ett spor til plattform, sideliggende plattform til avvikespor	Tillater forbikjøring med tog i høy hastighet	Begrenset hvor tett togfølge kan være for stoppende tog
d) To spor til plattform, midtliggende plattform mellom hoved- og avvikespor	Høy framføringskapasitet	Kan bli fullt på plattform når det er tett togfølge (av tog i samme retning)
e) To spor til plattform, kombinasjon av sideliggende plattform til avgreningsspor og midtliggende plattform mellom hovedspor	Høy framføringskapasitet Tar moderat plass	Dårlig overgang mellom plattformer hvis det er bytte av togrekkefølge. Kan bli fullt på plattform hvis det er stopp av to tog samtidig (fra hver sin retning) ved midtplattform
f) To spor til plattform, midtliggende plattform mellom to avgreningsspor (tre spor på stasjon per retning)	Høy framføringskapasitet Muliggjør forbikjøring av tog i høy hastighet uten fysiske tiltak på plattform Muliggjør stopp ved plattform og stopp av godstog samtidig som tog i høy hastighet kjører forbi begge tog	Tar mye plass

En generell avveining ved valg av utforming er muligheten for tett togfølge og forbikjøring i høy hastighet. Med en sideliggende plattform ved avvikespor i design c) er hovedsporet ledig til forbikjøring, men det er begrenset hvor tett togfølgen kan bli for tog som skal stoppe ved plattform. Med design d) er det mulig med tettere togfølge men ikke forbikjøring med høy hastighet uten fysisk sikring på plattform.

Denne konflikten er ofte ikke aktuell i praksis siden forbikjøring med høy hastighet innebærer store hastighetsforskjeller og da lav kapasitet i sporet og få stoppende tog rett etter hverandre. Med tett togfølge er det typisk prioritert høy frekvens (og harmonisert hastighet og stoppmønster) i stedet for høy hastighet.

I Tabell 15 er det vist generelle retningslinjer for valg av stasjonsdesign. Som nevnt over er det andre forhold som spiller inn på design og oppstillingen er bare veiledende.

Tabell 15. Generelle kriterier for valg av stasjonsutforming (veiledende).

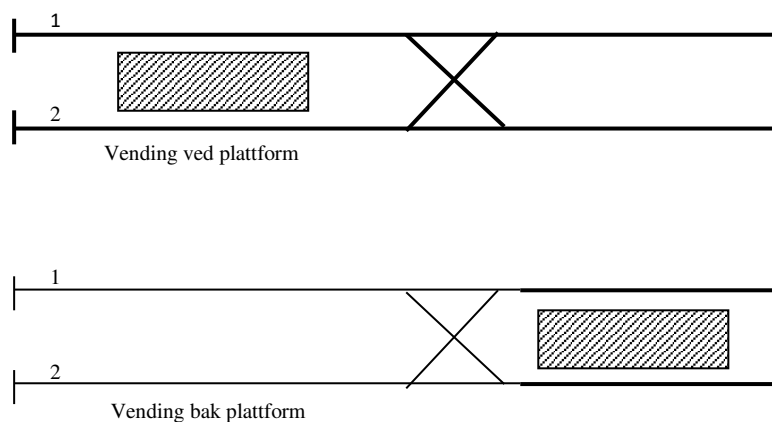
Trafikkmengde	Stasjonsutforming
Lave trafikkvolumer, ikke behov for forbikjøring	Type a)
Lave trafikkvolumer, behov for forbikjøring med høy hastighet	Type c)
Store trafikkvolumer, ikke behov for forbikjøring med høy hastighet	Type d)
Store trafikkvolumer, behov for forbikjøring med høy hastighet	Type f)

Teknisk regelverk har krav til varsling og plattformbredde, se [26] (kap. 2.4 og 2.6). I Strategisk rammeverk er det også omtalt ulike stasjonsutforminger [36].

2.4.13.1.2 Vendemoduler

Vendemoduler kan utformes som vending ved eller bak plattform. Avsnitt 2.7 Vendeanelegg omtaler utforming av vendeanelegg mer utførlig.

Tog kan vendes ved eller bak (etter) plattform som illustrert i Figur 25 der de to prinsipielle løsninger er skissert.



Figur 25. Vending ved og bak plattform.

Vending ved plattform med to spor som i Figur 25 har som tommelfingerregel kapasitet til vending av inntil 6 tog/time. Se avsnitt 2.7.2. Ved vending bak plattform er det i utgangspunktet kapasitet til vending av inntil 8 tog/time. Se avsnitt 2.7.3.

Avhengig av takting i ruteplan kan det være nødvendig med to spor til vending også ved bare en linje og ett tog per time. Se avsnitt 2.7.6 Antall vendespor per linje. Kapasiteten på 6 eller 8 tog per time gjelder bare hvis togene kan gå ut igjen så raskt som mulig etter teknisk snutid og en viss margin, men uten rutemessig tilpasning til faste minuttall på returen.

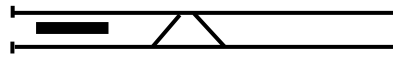
Hvis det er flere linjer som vendes på samme stasjon må det i utgangspunktet etableres en modul per linje. Tilsvarende må det analyseres hvor mange tog som kan være inne på stasjonen samtidig hvis det ikke er jevne intervaller, og sporbehovet må fastsettes ut fra dette.

2.4.13.1.3 Gjennomkjørings- og vendemoduler og kombinasjoner

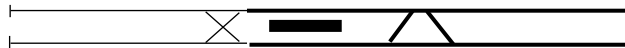
I Figur 26 er det vist noen kombinasjoner av gjennomkjøringsmoduler og vendemoduler. Et er også vist noen eksempler på utforming av endestasjoner som i seg selv blir en type vendemodul. Det er vist følgende eksempler:

- A. Endestasjon med lav trafikkvolum, en linje, vending ved plattform
- B. Endestasjon med lav trafikkvolum, en linje, vending bak plattform
- C. Endestasjon med høy trafikkvolum eller flere linjer, vending ved og bak plattform
- D. Endestasjon med middels/høyt trafikkvolum eller flere linjer, vending ved plattform
- E. Gjennomkjøringsstasjon med tett togfølge, ikke vendende tog
- F. Gjennomkjøringsstasjon uten tett togfølge, vendende tog, vending ved plattform
- G. Gjennomkjøringsstasjon med tett togfølge, vendende tog, vending bak plattform

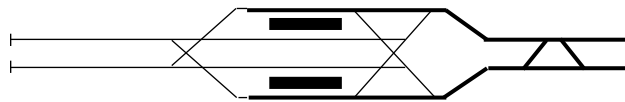
A. Endestasjon med lav trafikkvolum, en linje, vending ved plattform



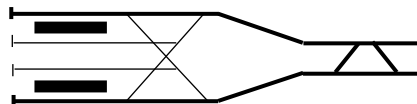
B. Endestasjon med lav trafikkvolum, en linje, vending bak plattform



C. Endestasjon med høy trafikkvolum eller flere linjer, vending ved og bak plattform



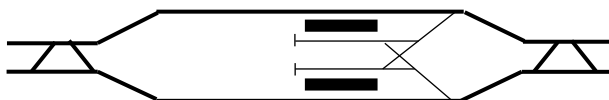
D. Endestasjon med middels/høyt trafikkvolum eller flere linjer, vending ved plattform



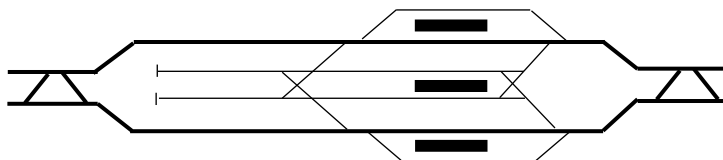
E. Gjennomkjøringsstasjon med tett togfølge, ikke vendende tog



F. Gjennomkjøringsstasjon uten tett togfølge, vendende tog, vending ved plattform



G. Gjennomkjøringsstasjon med tett togfølge, vendende tog, vending bak plattform



Figur 26. Gjennomkjørings- og vendemoduler samt kombinasjoner.

Kapasiteten i B i Figur 26 er høyere enn i A grunnet vending bak plattform. Tog med tett, rutemessig togfølgetid kan kjøres skiftevis til hver sin side av stasjonen. Dette vil fungere hvis intervallet til neste tog. Det bør ikke planlegges med mer enn en linje som vender når det er to vendespor.

Ved mer enn én linje – og vendetiden og takting i ruteplanen er ukjent – bør det velges en utforming med flere spor, som f.eks. C eller D.

I C er det mulig å vende tog både ved plattform og bal plattform. Uttrekkssporene bak plattform kan teoretisk være et hensettingsanlegg som kan brukes til å vende tog i rush når det uansett ikke er hensatt tog i hensettingsanlegget.

I D er det mulig å vende tog i alle spor, men kapasiteten er lavere enn i C siden det både er færre spor og det ikke er uttrekkspor bal plattform.

I E er det utelukkende gjennomkjøring og ikke vending. Med to plattformspor per retning kan det tillates tett, rutemessig togfølgetid.

I F er det gjennomkjørende tog og vendende tog. Det er mulig å vende en linje (med inntil 6 tog per time). Det kan være tett, rutemessig togfølgetid mellom gjennomkjørende og vendende tog.

I G er det både vendende tog og gjennomkjørende tog. Det kan være tett, rutemessig togfølgetid mellom gjennomkjørende tog og mellom gjennomkjørende og vendende tog.

I Strategisk rammeverk er det også omtalt ulike vendeanlegg [36].

Ved valg av utforming må det vurderes

- hvor tett rutemessig togfølgetid det er kan være
- hvor mange tog det er per time (hvor stor muligheten er for konflikter i kryss)
- hvor mange linjer det er (dvs. hvor koordinerte ankomster og avganger er og hvor langt belegg det kan forventes per tog som vender).

2.5 Stasjonskapasitet på dobbeltspor

Dette avsnittet omhandler kapasitet på stasjoner. Ved konstruksjon av et trafikksystem må det være balanse mellom strekningskapasitet og stasjonskapasitet. Strekningskapasitet er omtalt for dobbeltspor i avsnitt 2.4 og for enkeltspor i avsnitt 2.5.

Sporbehov på en stasjon finnes bl.a. ut fra tetthet av ankomster og belegg av sporet. Ut fra en gitt trafikk kan det derfor finnes hvilket sporbehov det er på en stasjon.

I de etterfølgende avsnittene beskrives det metoder som kan benyttes for å bestemme antall spor.

Motsatt kan metodene også benyttes «motsatt» til å bestemme trafikkapasiteten ved et gitt antall spor (og andre gitte forutsetninger). Metoden benyttes da til å teste om ulike forslag til driftsopplegg lar seg realisere med det forutsatte antall spor. Er det mulig å realisere et foreslått driftsopplegg kan det testes om det også er mulig å realisere et mer omfattende driftsopplegg.

Som et ledd i å utarbeide forslag til driftsopplegg kan metodene benyttes til å låse visse parametere og regne baklengs for å finne grense for andre parametere (f.eks. vil en gitt oppholdstid gi en grense for tetthet mellom tog ved en gitt frekvens og antall spor).

I tillegg til betraktningene i dette avsnittet er det viktig å være oppmerksom på at krav til parkering og vending av tog ved avvik og spor til arbeidsmaskiner kan øke sporbehovet og påvirke sporutformingen og behov for uavhengige togveier.

2.5.1 Kapasitetsberegning på stasjoner

På stasjoner på dobbeltspor kan det være lavere kapasitet på stasjonen enn på linjen mellom stasjonene. Dette avsnittet belyser noen forhold som er med på å dimensjonere stasjonskapasitet og gir noen dimensjoneringsprinsipper.

Det er grunnleggende to typer konflikter som gir begrensninger i stasjonskapasitet:

- Konflikter mellom tog i samme retning i samme spor
- Konflikter mellom tog i kryssende togveier

I avgreninger på linjen er det ikke ønskelig at det er økning av framføringstiden som følge av at rutetider tilpasses for å krysse i ledige tidsluker. Det er derfor ikke anbefalt å ha avgrening og kryssing i plan for persontog. På stasjoner gjelder det i utgangspunktet samme forhold, men marginer ved opphold og behov for å inngå kompromiss på grunn av plasshensyn kan gjøre det aktuelt med høyere tetthet av tog i konfliktpunkter enn på linjen.

2.5.2 Antall gjennomkjøringsspor på stasjoner

Sporbehov på en stasjon finnes som summen av gjennomkjøringsspor og vendespor, dvs.:

Antall spor = Antall gjennomkjøringsspor + Antall vendespor

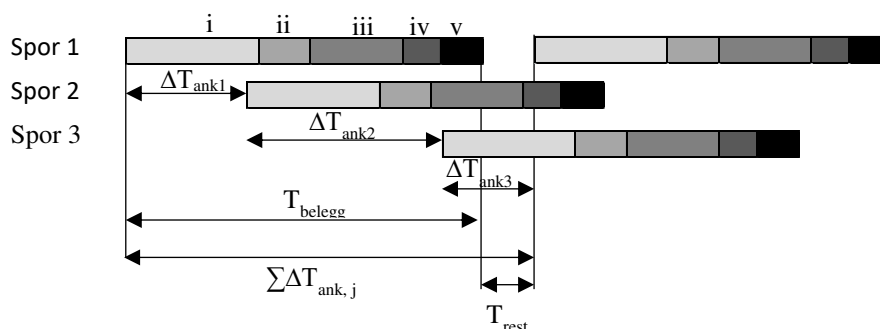
Disse sportypene er omtalt hver for seg i det følgende.

Hvert tog belegger et spor på stasjonen i tiden fra det er ved innkjørsignal til det er ute og har frigjort sporet på stasjonen. Oppholdstid kan inkludere marginer for å sikre omstigninger og knutepunktstillegg for å ha margin mot forsinkelse i stasjoner med tett togtrafikk.

Den samlede beleggstiden kan da skrives som

$$T_{\text{belegg}} = T_{\text{innkjør}} + T_{\text{kjøring på stasjon}} + T_{\text{opphold}} + T_{\text{oppholdsmargin}} + T_{\text{stasjonsmargin}} + T_{\text{utløsning av togvei}}$$

I Figur 27 er det illustrert hvordan sporbelegget er i et tenkt eksempel. Beleggstiden i hvert spor er vist med blokker som viser (i) tiden det tar å kjøre inn fra (siktpunkt til) forsignal og fram til innkjørsignal, (ii) tiden fra forsignal fram til stopp, (iii) minste oppholdstid (inkl. eventuelt margin i oppholdstid som f.eks. knutepunktstillegg), (iv) tiden det tar å løse ut togvei etter avgang (for grønt innkjørsignal) og (v) en margin mellom utløsning av togvei og belegg av ny togvei inn i sporet. $\Delta T_{\text{ank}, j}$ er forskjell i ankomst mellom av tog j og tog j+1 (intervallnummeret).



Figur 27. Tidsbelegg i spor på en stasjon.

Minste antall spor finnes som den minste verdien av antall ankomster, j , som må til før det først benyttede sporet kan brukes igjen og det ikke er overlapp mellom belegg i samme spor. Dette må undersøkes for alle sekvenser i en syklus av tog for å finne den største verdien av j som opptrer.

Sporantallet som finnes på denne måten er et minimumsantall som sikrer at det er nok spor, men det sikrer ikke at sporet er for høyt utnyttet tidsmessig. Det må derfor i tillegg gjøres en vurdering av marginer mellom tog. Motsatt sikrer en tilstrekkelig gjennomsnittlig margin ikke at det ikke er overlapp i et spor.

I tillegg kan det være slik at det er ønskelig at tog fra en linje alltid benytter samme spor på stasjonen. Dette kan øke sporbehovet hvis det ikke er mulig å fordele tog på et antall spor så de tar minst plass tidsmessig.

Det må derfor gjøres tre vurderinger for å finne antall spor:

- Beregning av minste antall spor for å sikre at det ikke er overlapp
- Beregning av minste antall spor for å sikre at det ikke er for høy utnyttelse i hvert spor
- Beregning av antall spor ut fra fordeling av linjer til dedikerte spor

Dimensjonerende de antall spor er da den største verdien av disse.

Beregning av margin mellom tog kan gjøres som en prosentandel av tid mellom ankomster eller som en minste, absolutt tid.

Ved høye togantall vil buffertiden beregnet som $T_{ruteintervall} \cdot (1 - U_{max})$ kunne bli lav og det kan da benyttes en minimumsverdi for buffertiden mellom tog. Se avsnitt 2.8.4. Tas denne buffertiden med i belegget T_{belegg} vil antall spor bli beregnet slik at buffertiden blir tilstrekkelig.

Hvis en del av oppholdstiden er en buffertid vil en forsinket ankomst delvis kunne kompenseres før avgang. Neste tog vil da kunne få overført en del av forsinkelsen, men avgangsforsinkelsen kan for dette toget tilsvarende reduseres. Hendelser nær avgangstid eller rett før avgang vil ikke kunne fanges opp. Det er derfor bare i begrenset omfang tilrådelig å benytte marginer i oppholdstid som fullverdig buffer.

Sikres buffertid gjennom en maksimal en utnyttelsesgrad (i prosent) finnes det at utnyttelsen av hvert spor er lik

$$U = \frac{f * T_{belegg}}{n_{spor} * 60} \leq U_{max}$$

, der tiden er i minutter og N er tog/time totalt. Antall spor finnes som:

$$n_{spor} \geq \frac{f * T_{belegg}}{U_{max} * 60}$$

Utnyttelsen, U_{max} , bør ikke være høyere enn 60 % på døggnivå eller 75 % i rushperioder [11].

Det må gjøres en vurdering av sporbehov både på døggnivå og i en rushperiode. Siden togantallet typisk vil variere mellom døggnivå eller en lavtrafikkperiode og rush samtidig som U_{max} varierer kan det ikke alltid sies at det er rush-perioden som dimensjonerer sporantallet.

Siden sporantallet er basert på en beregningen av gjennomsnittlig utnyttelsesgrad må det som nevnt samtidig sikres at det ikke er overlapp og at det er mulig å avvikle trafikken med det identifiserte antall sporene.

Rekkefølgen av tog og tiden mellom ankomster er avgjørende for antall spor. Minste antall spor oppnås når det er jevnt ankomst av tog. Største antall spor oppnås når alle tog ankommer samtidig. Det må derfor gjøres en forutsetning om fordeling av ankomsttider og diskuteres variasjon av dette når antall gjennomkjøringsspor skal fastsettes.

Eksempel 1

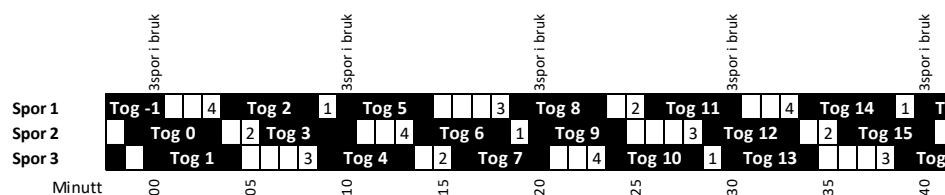
Det tenkes at alle spor belegges 5 minutter per tog og at det er fire linjer (fra ulike baner inn på samme stasjon) med stive 10-minuttersintervaller og ankomstintervaller på 4, 2, 3 og 1 minutter, i alt $60/((4+2+3+1)/4)=24$ tog/time. Hvis det bare sees på tiden mellom første og tredje tog er tiden $4+2=6$ minutter (første intervall på 4 minutter er mellom 1. og 2. tog, andre intervall på 2 minutter er mellom 2. og 3. tog), hvilket er større enn belegget på 5 minutter. Det skulle tilsi at det er nok med 2 spor (to intervaller). Gjennomsnittsverdien på 2,5 minutter per tog tilsier også 2 spor ($2 \text{ ankomster} * 2,5 \text{ min/ankomst} \geq 5 \text{ minutter}$).

Når det derimot sees på intervallet mellom fra 2. til 3., 3. til 4. og 5. til tog er belegget lik $2+3+1=6$ minutter. Dette er større enn belegget og det er da minst nødvendig med tre spor (tre intervaller).

Med 24 tog/time og tre spor er det 8 tog/time/spor.

Eksemplet illustrer at det er den tetteste togfølgen som dimensjonerer antall spor.

Figur 28 illustrerer belegget og sporbruk. Tall i hvite celler i figuren viser intervall mellom ankomst aktuelt tog og foregående tog i et annet spor)



Figur 28. Belegg i spor jf. eksempel 1. Tall i hvite celler viser intervall mellom ankomst aktuelt tog og foregående tog i et annet spor.

I eksemplet er utnyttelsesgraden $(24 \cdot 5) / (3 \cdot 60) = 67\%$. Det kan også sees ved at det på en halv time er 20 opptatte minutter (svarte felter) per spor, slik at belegg er 20 minutter av 30, hvilket svarer til $20/30=67\%$.

Dette er akseptabelt i en rushperiode men er litt for høyt til å være anbefalt på døgnnivå. Uten om rush må det da benyttes et ekstra spor for å fordele togene mer i tid.

Med fire spor er gjennomsnittlig i stedet $(24 \cdot 5) / (4 \cdot 60) = 50\%$ hvilket er akseptabelt.

Hvis det skisserte tilbudet gjelder for rush er det nok med 3 spor, men hvis det skal gjelde på døgnnivå er det nødvendig med 4 spor.

Sporbehov kan også finnes ut fra utnyttelsesgraden. Da fås at

$N_{\text{spor, døgnnivå}} \geq (24 \cdot 5) / (60\% \cdot 60) = 3,3 \approx 4$ og $N_{\text{spor, rush}} \geq (24 \cdot 5) / (75\% \cdot 60) = 2,7 \approx 3$, hvilket er det samme som er funnet før.

Sjekk av sportilgjengelighet gjøres som vist i Figur 28 og viser at driften er mulig med ned til 3 spor.

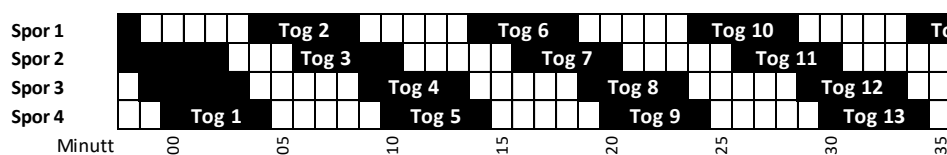
Dvs. at hvis driftsopplegget gjelder for en grunnrutesituasjon er det nødvendig med 4 spor, mens hvis det gjelder for en rush-situasjon er det nok med tre spor.

Eksempel 2, dedikerte spor og sporbehov

Med fire linjer kan det tenkes at tog 0, 4, 8, 12 etc. er fra en linje. Tilsvarende er tog 3, 7, 11, 15 etc. fra en annen linje. Det sees i Figur 28 i forrige eksempel at linjene ikke alltid benytter samme spor.

Hvis det er ønskelig med samme spor per linje ved hver ankomst må det sees på hvor lang tid én linje belegger hvert spor per ankomst og hvor mange spor som er nødvendig for én linje og om det er plass til ankomster av flere linjer i samme spor.

Siden intervallet mellom ankomster per linje er 10 minutter og belegget er 5 minutter er det bare plass til en linje per spor (to linjer per spor ville belegge sporet i $2 \cdot 5 = 10$ minutter av 10, dvs. med 100 % utnyttelse og altså uten margin). Sporbehovet er da fire med dedikerte spor per linje. Dette er illustrert i Figur 29. I eksempel 1 uten dedikerte spor per linje er behovet tre spor. Dedikerte spor medfører i eksemplet at sporbehovet øker fra tre til fire.



Figur 29. Belegg i spor jf. eksempel 2.

Eksempel 3

Med ankomst med 2, 2, 2 og 4 minutters mellomrom (24 tog/time) og 3,5 minutters belegg er det nødvendig med 2 spor (2 spor*2 min. mellom tog per spor > 3,5 minutters belegg). Gjennomsnittlig utnyttelsesgrad er $(24 * 3,5) / (2 * 60) = 70 \%$. Dette kan aksepteres i en rushperiode.

Løsningen kan ha dedikerte spor med ankomst skiftevis i spor 1, 2, 1, 2 etc. Linje 1 og 3 kan bruke spor 1, mens linje 3 og 4 kan bruke spor 2.

Eksempel 4

Hadde intervallene mellom ankomst vært 1, 1, 2 og 6 minutter (til forskjellige spor) ville det vært nødvendig med 4 spor (tre ankomstintervaller: $1+1+2=4 < 5$ hvilket betyr at tre spor ikke er tilstrekkelig; fire ankomstintervaller: $1+1+2+6=10 \geq 5$ hvilket betyr at fire spor er tilstrekkelig) uavhengig av krav til utnyttelsesgrad. Beregning basert på den maksimale utnyttelsesgraden gir imidlertid bare behov for 3 spor i rush (som beregnet før). Dette viser at det er nødvendig å foreta begge typer beregning av sporbehov. Dimensjonerende antall spor blir i dette eksemplet 4 spor.

Eksempel 5

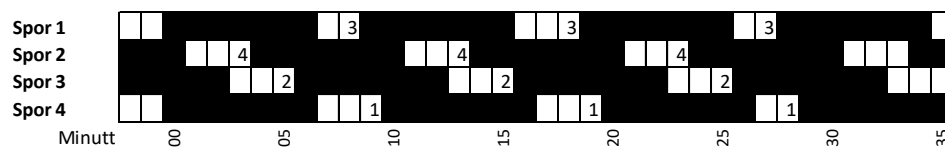
Med 4 tog jevnt fordelt med 2,5 minutters ankomst er det behov for $5/2,5=2$ spor. Dette gir en utnyttelse på $(24 * 5) / (2 * 60) = 100 \%$. Det er da nødvendig med 3 spor.

Maksimalt antall tog oppnås hvis alle tog kommer samtidig. Med 10-minutterssystemer og 4 linjer er det da mulig at det er behov for 4 spor for ankomst samtidig. Dette gir da en utnyttelse på $(24 * 5) / (4 * 60) = 50 \%$.

Eksempel 6

Hvis det tas utgangspunkt i eksempel 1, men marginen mellom tog settes til 2 minutter (mot en prosentandel), fås at belegget er $5+2=7$ minutter. Det betyr at hver linje (med 10 minutters intervall mellom ankomster) får plass på ett spor og at det da er behov for fire spor.

Dette er illustrert i Figur 30.



Figur 30. Belegg i spor jf. eksempel 6.

Definert intervall mellom tog i ett spor er satt til 7 minutter mens 2 av disse minuttene er margin. Gjennomsnittlig belegg er da $((7-2)*24)/(4*60)=50\%$.

2.5.3 Spor for innfasing av godstog

På stasjoner som er vendestasjoner eller knutepunktstasjoner for flere baner og det er et skift i trafikken kan det være nødvendig med ventespor eller innfasingsspor for godstog.

Hvis godstog kommer forsinket fram til en strekning med tett trafikk kan ventesporet benyttes slik at godstoget venter i en planlagt periode før det fases inn i riktig ruteleie mellom den øvrige trafikken. Dette gir da en ekstra buffertid for godstoget for å fange opp mindre forsinkelser. Med tett trafikk ville konsekvensen av forsinkelse ellers være at godstoget må vente til neste ledige ruteleie som kan være f.eks. en time senere, hvis ikke det skal forstyrre den øvrige trafikken.

Ved større forsinkelser vil ventesporet brukes til å vente på neste ledige ruteleie.

2.5.4 Belegg og flaskehalser på stasjoner

2.5.4.1 Generelt

På stasjoner med mange kryssende togveier må det vurderes om konfliktpotensialet er for stort til å sikre en smidig trafikkavvikling. På store stasjoner kan det være flere kryssende togveier som står i avhengighet til hverandre. Dette gjør at det i utgangspunktet kan bli tett togfølge og høyt belegg og relativt små marginer.

Samtidig som det da er økt behov for planskilte kryssinger kan dette være vanskelig å gjennomføre i praksis på grunn av arealbegrensninger (og kostander). Som en kompensasjon for manglende planskilthet kan det innføres ekstra buffertider i kjøretiden for tog før ankomst og i vendetider.

Spørsmål som det må undersøkes i en analyse av ytelsen og kapasiteten på en stasjon er hvor mange kryssinger kan det tillates i et kryss, og hva som kan sies om punktlighetseffekt av utnyttelse.

Det kan benyttes ulike metoder med ulikt detaljeringsnivå, f.eks.

- køteori og identifikasjon av flaskehalser (se f.eks. [40], [42], [43])
- simulering og identifikasjon av spredning av forsinkelser
- konstruksjon av rutemodeller og identifikasjon konkrete konflikter
- beregning av tidsbelegg mellom tog og identifikasjon av flaskehalser

Det vises i de følgende avsnittene enkle metoder som bygger på beregning av tidsbelegg for en serie av togveier og antall konflikter i sporkryss. Omfanget av en flaskehals beregnes gjennom utnyttelsesgraden av infrastrukturen og identifikasjon av hvilke elementer som er flaskehalsen identifiseres gjennom antall konflikter.

Beregning av tidsbelegg i sporkryss svarer til metoden i [11], mens identifikasjon av flaskehalser og vurdering av kapasitetsutnyttelsens betydning for punktlighet er supplerende betraktninger.

2.5.4.2 Tidsbelegg og kapasitet ved kryssende togveier

Tidsbelegg på en stasjon finnes ved å legge ruteleier så tett etter hverandre (komprimere ruteleiene) som det er mulig med hensyn til infrastrukturen.

Samlet tidsbelegg finnes ved å summere tidsbelegg fra start av første tog til start av gjentakelse av første tog (full syklus).

Utnyttelsesgraden finnes som $U = \sum T_{f,ij} / T_{periode}$, der $T_{f,ij}$ er togfølgetid mellom tog i og j og $T_{periode}$ er den samlede perioden som syklusen fra tog 1 til gjentakelsen av tog 1 dekker.

Ut fra utnyttelsesgraden kan kapasiteten estimeres. Kapasitetstallene er estimater og om det faktisk er plass til flere tog må etterprøves med en rutemodell. Kapasiteten kan estimeres som:

$$K_{time} = N_{syklus} * (U_{max}/U) * (60/T_{syklus}).$$

Er f.eks. $N_{syklus}=10$ tog, $T_{syklus}=40$ minutter og $U=68\%$ fås at

$$K_{time, rush} = 8 * (75\% / 68\%) * (60/40) = 13,2 \text{ tog/time}.$$

2.5.4.3 Flaskehalser

Et infrastrukturelement (sporveksel, spor mellom veksler) kan være en flaskehals hvis det er inngår begge steder i to togveier som er i konflikt. Hvilke infrastrukturelementer som er med til å definere en flaskehals vil avhenge av rekkefølgen av tog og hyppighetene av dem. En *flaskehals* er det, eller de, infrastrukturelementene som gir størst reduksjon i gjennomsnittlig togfølgetid *hvis konflikten gjennom elementet hadde blitt eliminert* (uten å spesifisere hvordan dette skulle skje).

Betydningen av potensielle flaskehalser finnes ved å analysere hvor mye de betyr for gjennomsnittlig togfølgetid i en sekvens/serie av tog (fra først tog til gjentakelse av første tog).

Flaskehalser kan flytte seg med endret rekkefølge av tog i en sekvens. En generell betraktning av flaskehalser bør derfor basere seg på en sannsynlighetsbetraktning for hvilke rekkefølger som opptrer hyppigst. For hver av disse rekkefølgene må det i prinsippet konstrueres en ruteplan der tog kjøres tettest mulig (ruteplanen komprimeres) og den resulterende, gjennomsnittlige togfølgetiden beregnes.

Deretter må det for hver av disse sekvensene for alle potensielle flaskehalser undersøkes hvor mye den gjennomsnittlig togfølgetiden ville endre seg hvis flaskehalsen ikke hadde vært der. Denne endringen, per flaskehals, må da vektas med sannsynligheten for sekvensen og summeres over alle kombinasjoner av sekvenser.

Den potensielle flaskehalsen som da har størst vektet endring i togfølgetid er den dimensjonerende flaskehalsen.

Hvis det på en enklere måte skal indikeres noe om flaskehalser kan det sees generelt på forventet *antall* konflikter uten å se direkte på betydningen av togfølgetid. En generell, forenklet betraktning av flaskehalser kan derfor baseres på en sannsynlighetsbetraktning for at togveier benytter et gitt infrastrukturelement. Infrastrukturelementer med størst forventet antall konflikter vil da utgjøre de største flaskehalsene.

Forventet antall passeringer i sporelement m finnes som summen av produktet av (1) sannsynligheter for at en gitt togfølge (i,j) opptrer og (2) et element, w , som er 1 hvis sporelementet er i bruk i både den aktuelle togveien og den etterfølgende, og 0 hvis det ikke er i bruk i togfølgen. Det er n togfølger i sekvensen. Dvs.

$$E(\text{Antall konflikter}_m) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} w_{ij}$$

Sannsynligheten for en gitt togfølge (i,j) kan finnes som $p_{ij} = N_i * N_j / (N_{\text{total}} * N_{\text{total}})$, der N_i er antall tog av type i og N_j er antall tog av type j i sekvensen som undersøkes.

Med n forskjellige tog på stasjonen er det n^2 forskjellige togfølger. Antall togfølger som skal undersøkes kan bli ganske stort. Med sykliske ruteplaner er det imidlertid begrenset hvor mange togveier som inngår i en sekvens før mønsteret gjentar seg. Hvis det f.eks. er 24 tog/time men ruteplanen er syklisk etter 20 minutter for en linje vil det i gjennomsnitt være $24/60 * 20 = 8$ tog i en sekvens før syklusen gjentar seg (gitt at ruteplan ikke er kjent og det antas at tog kjøres jevnt fordelt over timen). Dette gir da $8^2 = 64$ mulige sekvenser som skal undersøkes. En syklus i ruteplanen oppnås ut fra kombinasjonen av faste intervaller i hver linje. Syklustiden er et multiplum av minste periode slik at forholdstallet mellom periodelengdene ganget med multiplumet blir et heltall.

En annen mulighet er å identifisere noen få, men forskjellige sekvenser av tog som da undersøkes med hensyn til flaskehalser og sammenlignes for å se om resultatet er robust og det er de samme elementene som er flaskehalser i alle tilfellene. Hvis det er like mange tog av hver type vil dette svare til å benytte sannsynlighets-vektingen som beskrevet over.

Et enda enklere mål på om et infrastrukturelement kan være en flaskehals er å telle samtlige passeringer gjennom infrastrukturelementene for alle kombinasjoner av tog i en sekvens. Elementet med flest togpasseringer er da en potensiell flaskehals.

2.5.4.4 Belegg ved kryssende togveier

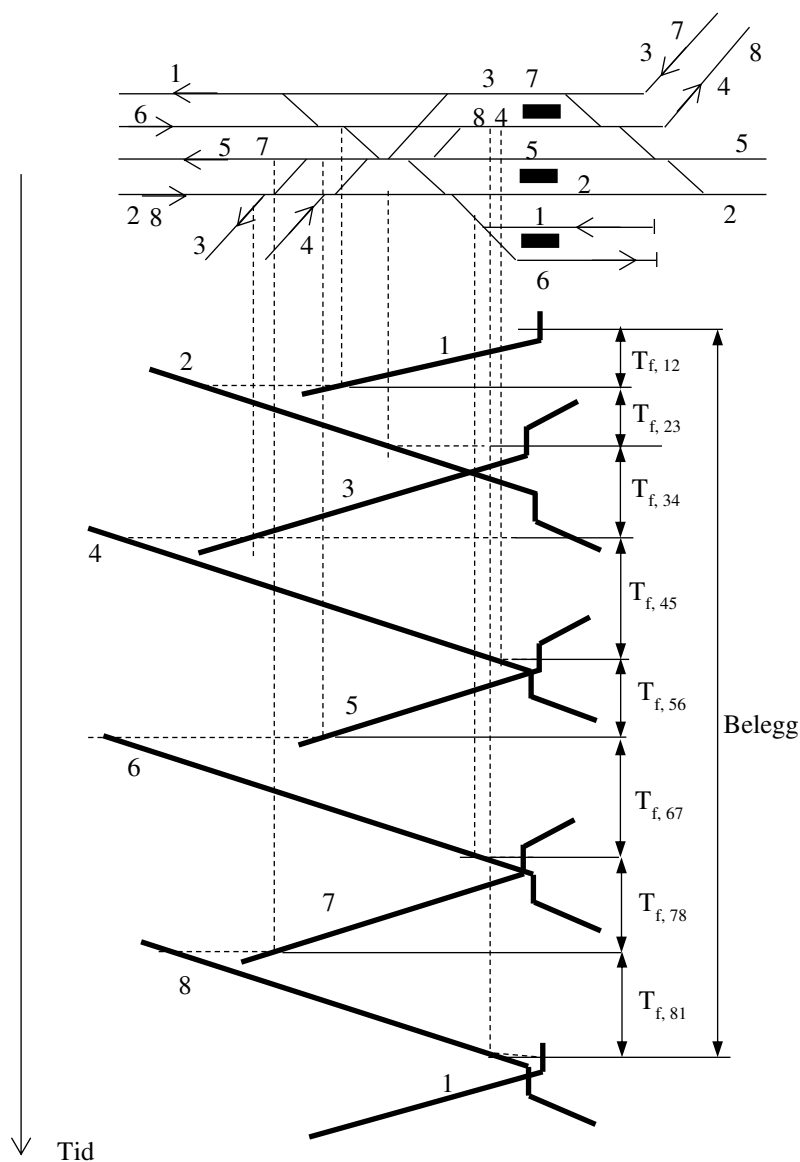
I det følgende er det vist noen eksempler på skissemessig beregning av belegg og identifikasjon av flaskehalser.

Det er ikke beregnet togfølgetider eller vist konkret hvor og hvordan et tog vil utløse belegget av togveien, men vist prinsippet for når togveien frigis for et tog og når den belegges av neste tog. Se vedlegg 2 om beregning av togfølgetider ved kryssende togveier.

Eksempel 1, belegg og flaskehalser

Togfølgetid og kapasitet

I Figur 31 er det vist et eksempel på tog som kjører gjennom en stasjon. Togene kjøres skiftevis fra den ene til den andre siden av stasjonen i den rekkefølgen som er angitt med tall. $T_{f,ij}$ er minste togfølgetid fra tog i begynner å belegge en togvei til tog j det er frigitt for tog j og tog j begynner å belegge en togvei. De stiplede linjene indikerer (som skisse) hvor togveier kan løses ut for neste tog.



Figur 31. Belegg på stasjon med kryssende togveier.

Total utnyttelsesgrad på stasjonen finnes som $\sum T_{f,ij}/T_{periode}$, der $T_{f,ij}$ er togfølgetid mellom tog i og j og $T_{periode}$ er den samlede perioden som syklusen fra tog 1 til gjentakelsen av tog 1 dekker.

Det kan f.eks. tenkes at $T_{f,12} = 1,8$, $T_{f,23} = 4,1$, $T_{f,34} = 2,5$, $T_{f,45} = 4,5$, $T_{f,56} = 2,3$, $T_{f,67} = 2,2$, $T_{f,78} = 3,9$, $T_{f,81} = 0,5$ og $T_{periode} = 30$ minutter.

Utnyttelsesgrad = $(1,8+4,1+2,5+4,5+2,3+2,2+3,9+0,5)/30 = 73 \%$. Dette er OK i en rushperiode men for høyt på døgnnivå.

Med tillat 60 % utnyttelse per driftsdøgn er timekapasiteten basert på syklusen med 8 tog per 30 minutter i gjennomsnitt lik $(8/73\%)*60\%/30*60 = 13,2$ tog/time, dvs. lavere enn det nominelle tallet på $2*8=16$ tog/time.

I rush er største anbefalte kapasitetsutnyttelse 75 % og kapasiteten er da lik $(8/73\%)*75\%/30*60 = 16,4$ tog/time.

Kapasitetstallene er estimater og om det faktisk er plass til flere tog må etterprøves med en rutemodell.

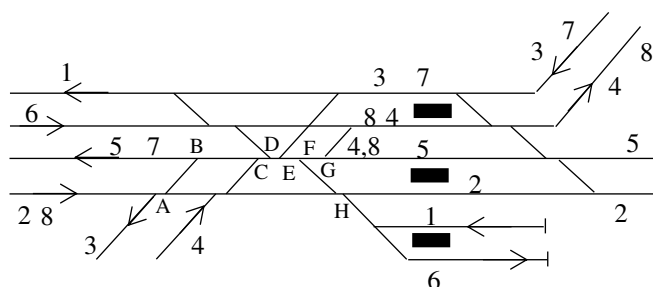
Belegget viser at med den aktuelle rekkefølgen av tog er utnyttelsesgraden for høy til å gjelde på døgnnivå. For å få til dette må togfølgetiden reduseres gjennom enten å etablere uavhengige togveier, flere signaler («marker boards» med ERTMS) for togveiene inn til stasjonen og på stasjonen eller å redusere antall tog.

Hvis ingen av disse alternativene er mulige/ønskelige kan det legges til en buffertid i oppholdstiden, men det øker framføringstid for de reisende som skal gjennom stasjonen.

Uavhengige togveier bør etableres først der det er størst belastning, dvs. der det er størst flaskehalser.

Flaskehalser i eksempel 1

Figur 32 viser tog på stasjonen og hvilke tog som passerer et antall potensielle flaskehalser.



Figur 32. Stasjon med tog og infrastrukturelementer som bidrar til potensielle flaskehalser.

En opptelling av antall konflikter i hvert infrastrukturelement med den viste rekkefølgen av tog gir resultatet som er vist i Tabell 16.

Det sees at det, med den spesifikke sekvensen av tog, er flest konflikter (for 6 av 8 togfølger) i sporelement D og E. Det betyr at disse elementene er en flaskehals for tog som går etter hverandre og gjennom disse elementene.

Eksemplet i Tabell 16 gjelder bare en spesifikk rekkefølge av tog, men det kan være en grei tilnærming å velge en typisk sekvens av tog for så å identifisere antall konflikter i hvert infrastrukturelement.

Tabell 16. Antall konflikter per infrastrukturelement.

Togfølge	A	B	C	D	E	F	G	H
Tog 1-tog 2								x
Tog 2-tog 3	x							
Tog 3-tog 4			x	x	x			
Tog 4-tog 5			x	x	x	x	X	
Tog 5-tog 6				x	x	x		
Tog 6-tog 7				x	x			
Tog 7-tog 8			x	x	x			
Tog 8-tog 1			x	x	x	x		
Sum konflikter	1	0	4	6	6	3	1	1

Gitt at det er noen elementer som peker seg ut med mange flere konflikter enn andre elementer, er det sannsynlig at det også er disse elementene som er flaskehalser når tidsbelegg og gjennomsnittlig togfølgetid tas i betraktning. En opptelling av antall elementer vil typisk være en god indikasjon på hvor flaskehalser er.

For å foreta en grovvurdering av situasjonen, og med omtrent like forhold for togfølgetider på ulike deler av en stasjon, vil det kunne være tilstrekkelig i første omgang å se på antall konflikter for å identifisere flaskehalser. En mer nøyaktig analyse av antall konflikter basert på sannsynlighetsbetraktninger for hver kombinasjon av tog og tidsbelegg for hver togfølge vil gi mer detaljerte svar.

En enda enklere metode kan være å telle antall passeringer i hvert sporelement slik at rekkefølgen av tog ikke er avgjørende. Metoden tar ikke hensyn til om tog kjøres etter hverandre og i det hele tatt kan ha konflikt, men det kan være en indikator på hvor flaskehalsene er og hvor potensialet er størst for konflikt.

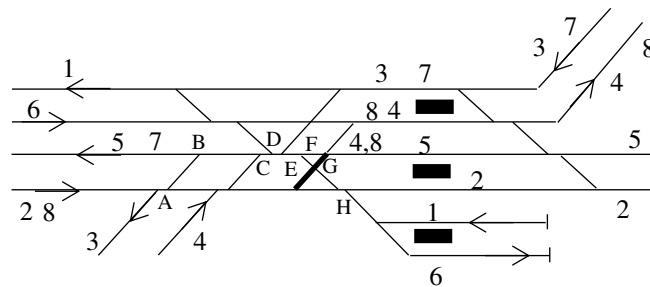
Dette gir følgende bilde som vist i Tabell 17. Elementene D og E har flest passeringer hvilket stemmer med at de også har flest konflikter i Tabell 16.

Tabell 17. Antall passeringer av tog i mulige flaskehalser.

Tog	A	B	C	D	E	F	G	H
Tog 1				x	x	x		x
Tog 2	x							x
Tog 3	x	x	x	x	x			
Tog 4			x	x	x	x	x	
Tog 5		x	x	x	x	x	x	
Tog 6				x	x	x		x
Tog 7		x	x	x	x			
Tog 8	x		x	x	x	x	x	
Sum passeringer	3	3	5	7	7	5	3	3

Eksempel 2, ny sporforbindelse

Det tenkes etablert en sporforbindelse mellom punkt G og sporet under, i kjøreretning for tog 4 og 8. Dette medfører at togfølgene for tog 3 og 4 samt 7 og 8 ikke har konflikt i sporelement D eller E. Dette er illustrert i Figur 33.



Figur 33. Potensielle flaskehalser etter nytt sporelement.

Den nye situasjonen med konflikter er illustrert i Tabell 18.

Tabell 18. Antall konflikter i mulige flaskehalser, med nytt sporelement.

Togfølge	A	B	C	D	E	F	G	H
Tog 1-tog 2								x
Tog 2-tog 3	x							
Tog 3-tog 4								
Tog 4-tog 5							x	
Tog 5-tog 6				x	x	x		
Tog 6-tog 7				x	x			
Tog 7-tog 8								
Tog 8-tog 1			x	x	x	x		
Sum konflikter	1	0	1	3	3	2	1	1

Ut fra tabellen sees det at antall konflikter er redusert betydelig sammenlignet med situasjonen uten den ekstra sporforbindelsen, men det er fremdeles D og E som er flaskehalsen.

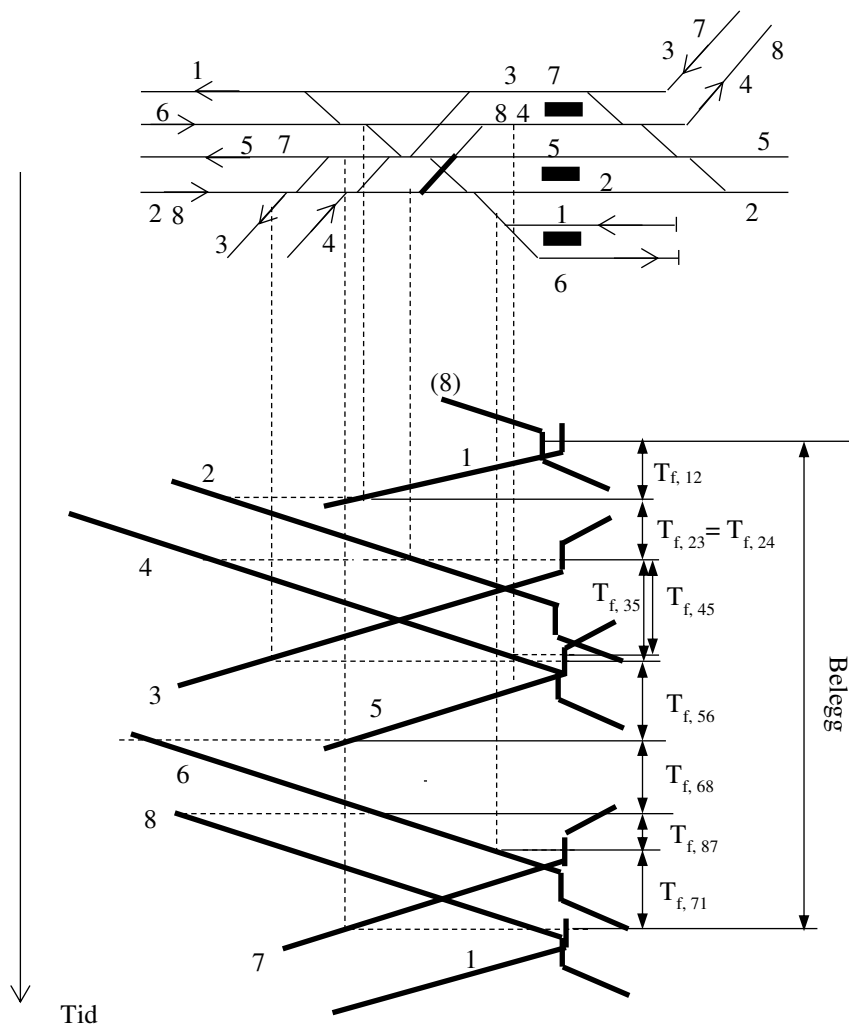
En optelling av antall passeringer gir følgende resultat som vist i Tabell 19.

Tabell 19. Antall passeringer i mulige flaskehalser, med nytt sporelement.

Tog	A	B	C	D	E	F	G	H
Tog 1				x	x	x		x
Tog 2	x							x
Tog 3	x	X	x	x	x			
Tog 4							x	
Tog 5		X	x	x	x	x	x	
Tog 6				x	x	x		x
Tog 7		x	x	x	x			
Tog 8	x						x	
Sum	3	3	3	5	5	3	3	3

Det sees at konfliktpotensialet i D og E er redusert med den nye sporforbindelsen, men at det fortsatt er størst for disse elementene.

Når ruteplanen skisseres for stasjonen med samme rekkefølge av tog som før får situasjonen som vist i Figur 34 (skissemessig).



Figur 34. Tidsbelegg i eksempel etter etablering av nytt sporforbindelse.

Passering av 2 utløser togvei for både 3 og 4. Passering av 4 utløser togvei for 5 litt før passering av 3 utløser togvei for 5, dvs. at $T_{f,35}$ blir dimensjonerende i eksemplet.

Det kan med den nye sporforbindelsen f.eks. tenkes at $T_{f,12} = 1,8$, $T_{f,23} = T_{f,24} = 3,0$, $T_{f,35} = 4,5$, $T_{f,56} = 2,3$, $T_{f,68} = 2,0$, $T_{f,87} = 3,9$, $T_{f,71} = 0,5$ og $T_{periode} = 30$ minutter.

Utnyttelsesgrad = $(1,8+3,0+4,5+2,3+2,0+3,9+0,5)/30 = 60\%$. (Før etableringen av sporforbindelsen var det i eksempel 1 en utnyttelsesgrad på 73 %.) Dette er OK både i en rushperiode og på døggnivå.

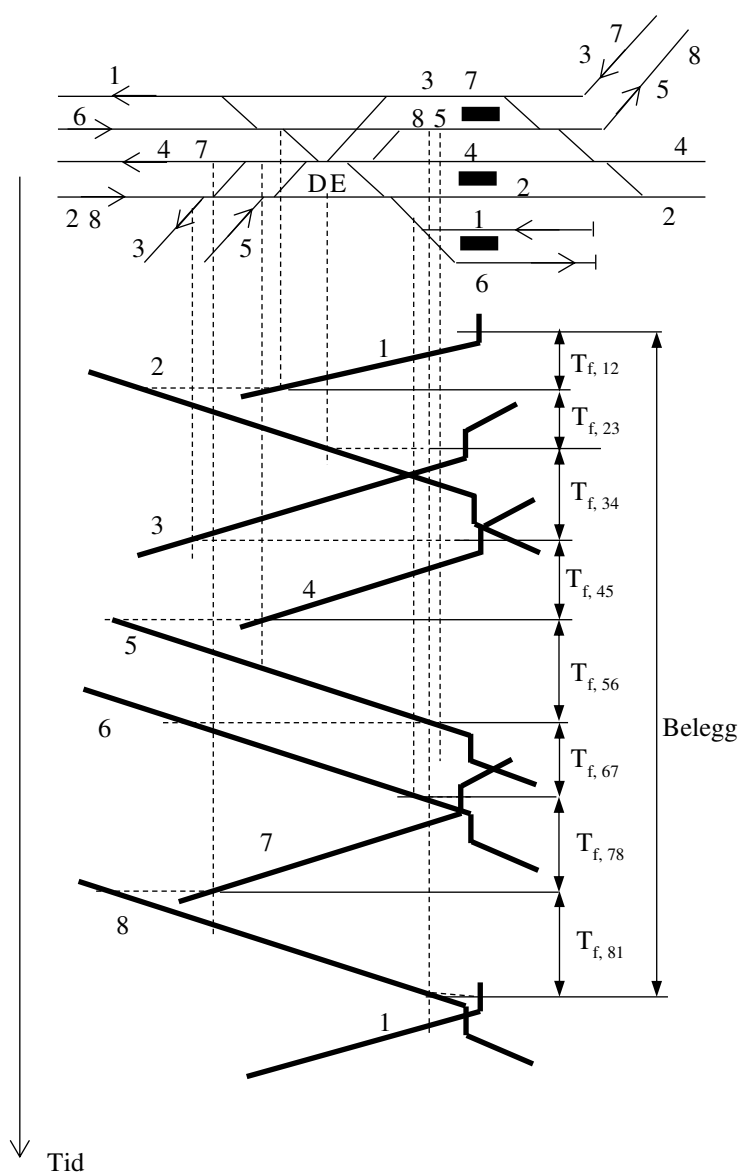
Timekapasiteten på døggnivå blir da med den nye sporforbindelsen lik $(8/60\%)*60\%/30*60 = 16,0$ tog/time (mot 13,2 tog/time uten ny sporforbindelse).

I rush er største anbefalte kapasitetsutnyttelse 75 % og kapasiteten er da lik $(8/60\%)*75\%/30*60 = 20,0$ tog/time (mot 16,4 tog/time uten ny sporforbindelse).

Kapasitetstallene er estimater og om det faktisk er plass til flere tog må etterprøves med en rutemodell.

Eksempel 3, endret togrekkefølge i eksempel 1

Hvis det i eksempel 1 byttes på rekkefølgen av tog 4 og 5 blir togfølgetiden mellom tog 4 og 5 ikke bestemt av konflikten i veksel G men i C. Situasjonen er vist i Figur 35.



Figur 35. Tidsbelegg ved endret rekkefølge av tog, eksempel 3.

Total utnyttelsesgrad på stasjonen finnes som $\sum T_{f,ij}/T_{periode}$, der $T_{f,ij}$ er togfølgetid mellom tog i og j og $T_{periode}$ er den samlede perioden som syklusen fra tog 1 til gjentakelsen av tog 1 dekker.

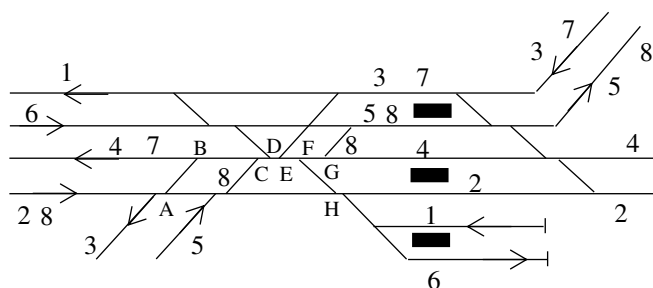
Det kan f.eks. tenkes at $T_{f,12} = 2,3$, $T_{f,23} = 4,1$, $T_{f,34} = 2,5$, $T_{f,45} = 4,5$, $T_{f,56} = 2,7$, $T_{f,67} = 2,2$, $T_{f,78} = 3,5$, $T_{f,81} = 0,5$ og $T_{periode} = 30$ minutter.

Utnyttelsesgrad $= (2,3+4,1+2,5+4,5+2,7+2,2+3,5+0,5)/30 = 74\%$. Dette er OK i en rushperiode men for høyt på døgnnivå.

Hvis driftsopplegget skulle gjelde på døgnnivå måtte togfølgetidene reduseres gjennom å etablere uavhengige togveier eller flere signaler («marker boards» med ERTMS) for togveiene inn til stasjonen og på stasjonen.

Hvis det ikke går å endre infrastrukturen kan det legges til en buffertid i oppholdstiden men det øker framføringstid for de reisende som skal gjennom stasjonen.

I Figur 36 er det vist potensielle flaskehalser, markert med bokstaver.



Figur 36. Infrastruktur, tog og potensielle flaskehalser.

En opptelling av antall konflikter er vist i Tabell 20. Flaskehalsen ser fortsatt ut til å være sporveksler D og E.

Tabell 20. Antall konflikter med endret rekkefølge.

	A	B	C	D	E	F	G	H
Tog 1-tog 2								x
Tog 2-tog 3	x							
Tog 3-tog 4		x	x	x	x			
Tog 4-tog 5			x	x	x	x	x	
Tog 5-tog 6			x	x	x	x		
Tog 6-tog 7				x	x			
Tog 7-tog 8			x	x	x			
Tog 8-tog 1			x	x	x	x		
Sum	1	1	5	6	6	3	1	1

2.5.5 Generell betraktning av tidsbelegg på stasjoner

Dette avsnittet er beregnet for en enkel vurdering av kapasitet på en større stasjon, ut fra en rutemodell *uavhengig* betraktning og på et grovt nivå. Metoden er mest egnet for å si noe generelt om endring av infrastruktur og for å sammenligne ulike alternativer. For å si noe mer presis om kapasiteten må det lages en ruteplan som beregner faktisk tidsbelegg i alle konfliktpunkter.

Hvis det på en stasjon kompenseres for konflikter med økt buffertid og/eller margin mellom tog kan det kjøres flere tog i kryssende togveier enn det som er vanlig på linjen. Hvis alle tog starter på stasjonen er det ikke nødvendig med så mye margin mellom tog hvis det er tilsvarende margin i oppholdstid og vendetid.

Et forsinket tog inn til en stasjon kan ankomme forsinket men kunne gå rettidig med buffertid på oppholdstiden. En forsinkelse i ankommende tog vil også kunne fanges opp med en buffer i kjøretiden inn mot stasjonen.

For avgående tog vil en buffer i oppholdstiden ikke kunne hjelpe hvis forsinkelsesårsaken oppstår i slutten av oppholdstiden, men sannsynligheten for at det skjer er mindre når oppholdstiden er lengre og påstigende reisende blir fordelt mer i tid, spesielt hvis det er overgang mellom linjer. Med buffer i ankommende tog vil en forsinket avgang ikke spre seg (så mye) til ankomst og videre avgang.

Hvis buffertiden i opphold og kjøretid er stor vil alle reisende alltid få økt framføringstid, men til gjengjeld er kapasiteten på stasjonen større enn hvis marginer leges mellom tog. I sistnevnte tilfelle kan det da kjøres færre tog men kjøretiden blir lavere.

En enkel metode skisseres for å vurdere ytelse i en stasjon med kryssende togveier. Den sanne punktligheten kan ikke kjennes før faktisk drift, men en forenklet metode kan gi en indikasjon på driftskvaliteten.

Det regnes med at halvparten av alle tog starter fra stasjonen og halvparten kommer fra linjen utenfor stasjonen. For tog som kommer ute fra linjen er det lengre togfølgetid siden kjøring fra forsignal til innkjør må regnes med. Ved oppstart på stasjon må det regnes med tid til avgangsprosedyre.

Avhengig av størrelsen av stasjonen og hvor mange kryssende togveier det er vil gjennomsnittlig togfølgetid variere. Er det kunnskap om lange togveier med avhengigheter og bestemte rekkefølger av tog kan dette tas med i beregningen av gjennomsnittlig togfølgetid. Det samme gjelder hvis det er spesifikk kunnskap om de tekniske togfølgetidene.

Som illustrasjon og et utgangspunkt for vurderinger regnes det her forenklet med at alle tog på stasjonen har dobbelt så lang togfølgetid som ved bare én motstrøms kryssing. Dette kan tenkes som at alle togveier er avhengige av to andre togbevegelser som må avvikes før neste tog i samme retning kan kjøres.

Togfølgetidene vil variere med rekkefølge av tog og av den faktiske utformingen av stasjonen. Som en grovvurdering av belegget kan det antas noen gjennomsnittlige togfølgetider.

Gjennomsnittlig togfølgetid settes da til $\frac{1}{2} * (2 * 1,5 + 0,5 + 2 * 1,5 + 1,5) = 4$ minutter. Margin settes i utgangspunktet til 1 minutt.

Dette gir i utgangspunktet mulighet til å avvike $60/(4+1)=12$ tog/time i sum i kryssende togveier, eller 6 tog/retning/time.

I tillegg bør det da være ca. 2-3 minutters samlet margin i oppholdstid og kjøretid.

Hvis det er mindre margin i kjøretid og oppholdstid kan det settes at utnyttelse i en kryssende togvei er 60 % og kapasiteten er da ca. $60 \% * 60 / 4 = 8$ tog/time i sum i begge retninger eller 4 tog/time/retning.

Sammenfattende kan det sies at det på en stasjon med kryssende togveier i utgangspunktet ikke anbefales mer enn 4-6 tog per time og retning, avhengig av buffertider.

2.5.5.1 Gjennomsnittlig belegg og forsinkelser

En tilnærming som kan være brukbar for å vurdere ytelsen av en stasjon, dvs. effekten av kryssende togveier, er å vekte togfølgetider ut fra deres relative antall og beregne vektet, gjennomsnittlig togfølgetid. Dette kan da benyttes til å beregne gjennomsnittlig buffertid som kan sammenlignes med andre situasjoner som er kjent med hensyn til driftskvalitet.

Hvis det ikke er referansesituasjoner som kan brukes til sammenligning kan det beregnes en kompleksitetsindeks (se [24] og [9], kap. 4.4) som sier noe om sannsynligheten for konflikt i togveier og kompleksiteten av stasjonen i forhold til andre stasjoner og driftsopplegg.

Dette indekset er imidlertid ikke koblet direkte til punktlighet eller forsinkelse. For å kunne indikere noe om omtrentlig virkningen på punktlighet foreslås det her i håndboken at det gjøres en betraktning av virkningen ut fra en antakelse om eksponentialfordelte forsinkelser. Eksponentialfordelt forsinkelse betyr at:

$P(T < t) = 1 - e^{-\lambda t}$, der $\lambda = 1/\text{Gjennomsnittlig forsinkelse}$ og t er forsinkelsen.

Hvis punktligheten er 90 % ved grense 4 minutter finnes at $\lambda = -1/4 * \ln(100\% - 90\%) = 0,58$.

Hvis buffertiden endrer seg kan ny punktlighet estimeres ved å benytte ny tidsgrense på $t_{ny} = t + dT_b$. En reduksjon i buffertid gir da en tilsvarende lavere grense for akseptabel forsinkelse og dermed lavere punktlighet.

Eksempel

Dette eksemplet benytter en forenklet tilnærming der det regnes med gjennomsnittlig og standardiserte togfølgetider (selv om disse vil avhenge av den konkrete togfølgen).

Referansesituasjon har 12 tog/time rett fram i ett spor med $T_f=2$, $T_b=3$. Punktlighet = 90 % ved grense 4 minutter.

Med 90 % punktlighet er λ lik 0,58 og gjennomsnittlig forsinkelse er 1,7 min.

I en aktuell situasjon er det motstrøms kryssing med 6 tog/time og ekstra tidsbruk på 1,5 min/tog, dvs. $6 * 1,5 = 9$ min. Samtidig er det innfletting av 6 tog/time som gir 3 kryssinger med ekstra tidsbelegg på 3 min/tog, i alt $3 * 3 = 9$ min.

Gjennomsnittlig buffertid er da $(60 - 12 * 2 - 9) / (12 + 6 + 3) = 28 / 21 = 1,33$ min, dvs. en endring på 1,67 min.

Ny punktlighet er da omtrent $P = 1 - e^{-\lambda \cdot t} = 1 - e^{-0,58 \cdot (4 - 1,67)} = 74\%$. Gjennomsnittlig forsinkelse ved 4 minutters grense er da $1/\lambda = -\ln(100\% - 74\%)/4 = 3,0$ minutter.

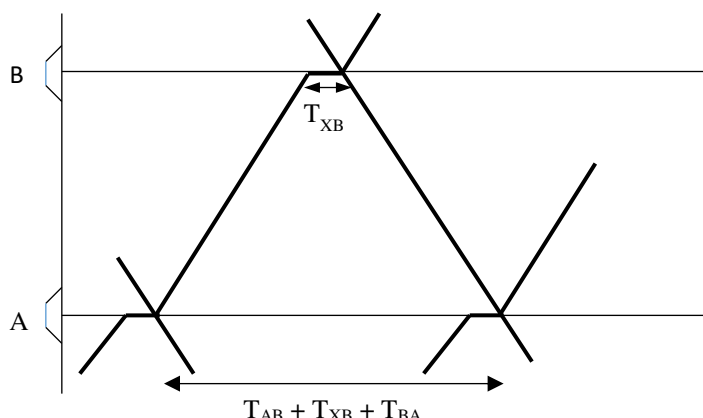
Hvis det bygges inn 1 minuts buffertid i ruteplanen er effektiv endring i buffertiden 0,67 minutter og punktligheten er i stedet $P = 1 - e^{-\lambda \cdot t} = 1 - e^{-0,58 \cdot (4 - 0,67)} = 85\%$. Gjennomsnittlig forsinkelse ved 4 minutters grense er da $1/\lambda = -\ln(100\% - 85\%)/4 = 2,1$ minutter.

2.6 Kapasitet på enkeltspor

Dette avsnittet omhandler kapasitet på enkeltspor. Ved konstruksjon av et trafikksystem må det være balanse mellom strekningskapasitet og stasjonskapasitet. Stasjonskapasitet omtales i avsnitt 2.6.10.

2.6.1 Generelt beregningsprinsipp på enkeltspor

Togfølgetiden beregnes på enkeltspor ut fra en syklus av tog over et avsnitt mellom to kryssingsspor. I Figur 37 er dette illustrert for tog ut på avsnittet ved stasjon A. Teknisk togfølgetid beregnes med 2 tog i syklusen som $T_f = 1/2 \cdot (T_{AB} + T_{XB} + T_{BA})$.



Figur 37. Togfølgetid på enkeltspor.

Eksempel: $T_{AB} = 7$ min, $T_{BA} = 6,5$ min, $T_{XB} = 3$ min, $T_P = 60$ min. $U = 60\%$.

$T_f = 1/2 \cdot (T_{AB} + T_{XB} + T_{BA}) = 1/2 \cdot (7 + 3 + 6,5) = 8,25$ min.

Den praktiske kapasiteten mellom stasjon A og stasjon B blir da for det betraktete avsnittet isolert sett:

$$K_{\text{praktisk}} = U \frac{T_p}{T_f} = 60\% \frac{60 \text{ min/time}}{8,25 \text{ min/tog}} = 4,4 \text{ tog/time}$$

Alternativt kan kapasiteten uttrykkes ved hjelp av buffertiden der

$$T_b = T_f \frac{1 - U}{U}$$
$$K_{praktisk} = \frac{T_p}{T_f + T_b}$$

Med $U=60\%$ (maks kapasitetsutnyttelse over lange tidsrom eller døgnet) er $T_b=0,67 \cdot T_f$. Med $U=75\%$ (maks kapasitetsutnyttelse over lange tidsrom eller døgnet) er $T_b=0,33 \cdot T_f$.

Dimensjonerende kapasitet på en enkeltsporsstrekning finnes ved å undersøke alle avsnitt mellom to kryssingsspor langs hele strekningen. Avsnittet med lavest kapasitet vil dimensjonere hele strekningen.

Nødvendig buffertid skaffes ved at noen kryssinger flyttes ut på andre kryssingsspor uten for det undersøkte avsnittet.

Kapasitetsberegningen forutsetter at kryssinger kan legges til steder der de trengs for å få tilstrekkelig buffertid. I praksis vil det som oftest ikke være mulig å krysse på ideelt sted og konsekvensen vil være at det blir et ventetidstap, (se avsnitt 2.6.3). For å begrense tidstap (i absolutt tid) regnes det med et tillegg til beleggstiden som er avhengig av antall avsnitt, z , mellom kryssingsspor [13]. Ved å redusere antall tog blir det færre kryssinger samt muligvis gjennomsnittlig bedre kryssinger og dermed raskere framføringstid.

Tillegget skal også kompensere for at omfang av forsinkelser (antall hendelser og akkumulert verdi) kan øke med økt strekningslengde. Ved å redusere antall tog blir det lavere totalutnyttelse av kryssingsspor og flere av disse kan da benyttes som reservekryssingsspor for å fange opp forsinkelser.

Kapasiteten beregnes da, med z lik antall avsnitt mellom kryssingsspor og T_p lik den betraktete perioden (alle tider i minutter) som:

$$K_{praktisk} = \frac{T_p}{T_f + T_b + 0,25 \cdot z}$$

Kapasitetsformelen gir ikke et fullstendig bilde av framføringsmessige forhold og en kapasitetsanalyse av en enkeltsporsstrekning bør derfor suppleres med en analyse av resulterende kjøretid (forholdet mellom faktisk og minste kjøretid) og konsekvensen av endre på togantallet.

2.6.2 Kryssingstap på enkeltspor

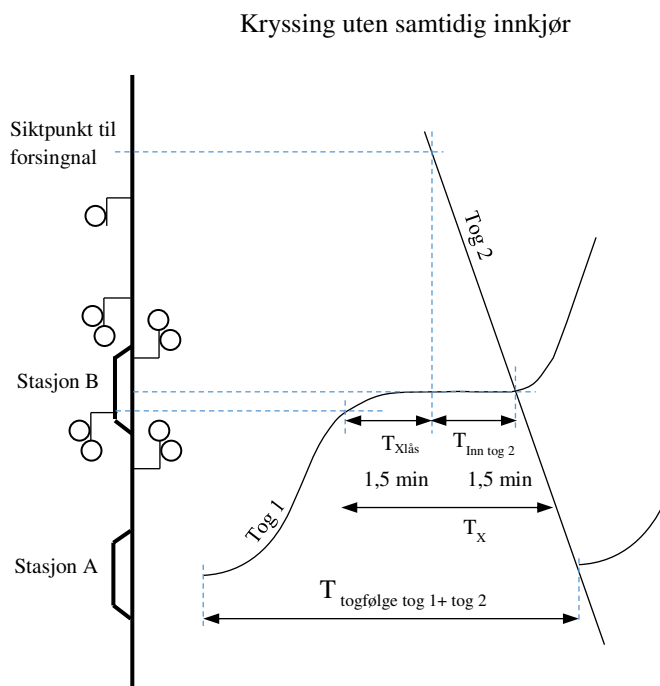
2.6.2.1 Kryssingstap uten samtidig innkjør

På enkeltsporsstrekninger analyseres kapasiteten basert på tidsbruk for kjøring mellom to nabo-kryssingsstasjoner.

Togfølgetiden på enkeltspor defineres som gjennomsnittlig tid per tog i en syklus fra et tog kjører ut på et sporavsnitt til siste tog i syklusen kjører ut på avsnittet. Når ruteplanen ikke er kjent må det kunne tas høyde for at det er stopp på stasjonen for kryssing (om ikke annet ved avvik, selv om det ikke skulle

være plattform) og det er derfor rimelig å forutsette at beregningen skjer med kjøretider for «start fra stopp» til «start fra stopp».

Figur 38 viser en syklus med to tog.



Figur 38. Kryssingsforløp uten samtidig innkjør.

Kryssingen ved stasjonen i midten av Figur 38 tar en viss tid. Fra første tog kommer inn bak utkjørsignalet går det en krysslåsingstid på 40-90 sekunder før det andre toget kan få grønt innkjørsignal. Dette skal sikre at det første toget har nok tid til å komme fram og stå stille før neste tog kommer inn, dvs. at det ikke er to tog i bevegelse samtidig med risiko for at det første toget sklir forbi utkjør og kolliderer med det andre toget.

Når krysslåsingstiden er ute kan neste tog få grønt signal inn. Toget kan ikke være nærmere enn siktpunkt til forsignal når det blir grønt. Ved kjøring på grønne forsignaler kan det for det andre toget som kommer til kryssingen regnes opp til 1,5 minutt fra siktpunktet til *forsignal til innkjørsignalet* til neste tog er inne.

I tillegg kommer noen sekunder (i størrelsesordenen 10 sek avhengig av sikringsanlegg) for å legge om veksler og sette togvei inn for det andre toget.

Det regnes i denne håndboken med at tidsavstanden mellom to ankomster i en kryssing, T_x , i alt utgjør 3 minutter.

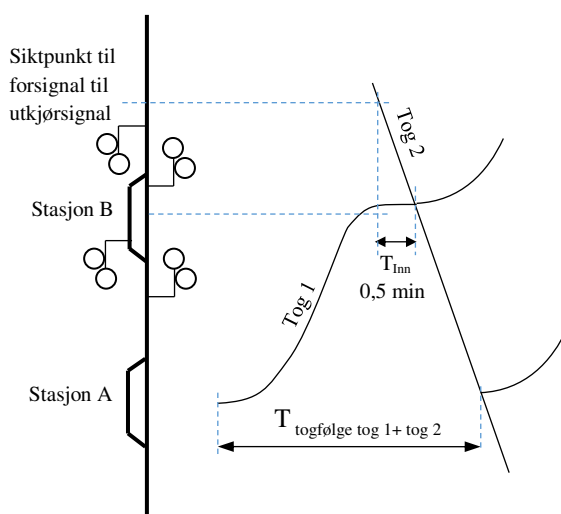
Kryssingstidstapet for det første toget inkluderer retardasjonstap og akselerasjonstap. Avhengig av hastighet på linjen og hastighet i avvik kan det være bortimot et minutt. Samlet tidstap for det første togete kan da være 4 minutter for kryssing. Hvis det uansett er opphold for passasjerutveksling er effektivt tidstap mindre.

2.6.2.2 Kryssingstap med samtidig innkjør

Hvis det etableres en sikkerhetssone foran utkjørssignalet for toget som kommer først kan det være *samtidig innkjør* på stasjonen. Det andre toget trenger da ikke å vente på krysslåsingstiden for å kunne kjøre inn på stasjonen, og det er da tilstrekkelig at det første toget har kommet inn bak motsatt rettet signal for at det andre toget kan kjøre inn fra *forsignal til utkjørssignalet*. Hvis forsignalet til utkjørssignalet er montert på masten for innkjørssignalet er avstanden 200 m pluss toglengden. Tidsavstanden mellom togene er da i størrelsesordenen et halvt minutt, avhengig av hastigheten og toglengden. Figur 39 viser forløpet med samtidig innkjør.

Kryssingstidstapet for toget som kommer først inkluderer retardasjonstap og akselerasjonstap. Avhengig av hastighet på linjen og hastighet i avvik kan det være bortimot et minutt. Ved korte stasjoner må det første toget stoppe og vente på at det andre toget kjører inn fra innkjør før det første toget kan starte igjen. Ved lange stasjoner er det kanskje ikke nødvendig å stoppe helt men det vil da være lengre avstand med redusert hastighet.

Kryssingstapet for det første toget kan utgjøre 1-1,5 minutt selv om det er samtidig innkjør.



Figur 39. Kryssingsforløp med samtidig innkjør.

Togfølgetiden påvirkes som vist av om det er samtidig innkjør eller ikke. Resulterende togfølgetid beregnes ved en syklus på to tog beregnes da som:

$$T_f = \frac{1}{2} (T_{Kj\ddot{o}r\ A-B} + T_{Inn} + T_{Kj\ddot{o}r\ B-A})$$

Ved lange strekninger kan det være behov for økt buffertid. Buffertiden settes til 0,25 minutt per kryssingsavsnitt. Kapasiteten beregnes da som (se også avsnitt 2.6.1):

$$K = \frac{T_p}{T_f + T_b + z * 0,25}$$

, der z er antall kryssingsavsnitt på strekningen og der T_p , T_f samt T_b er i minutter.

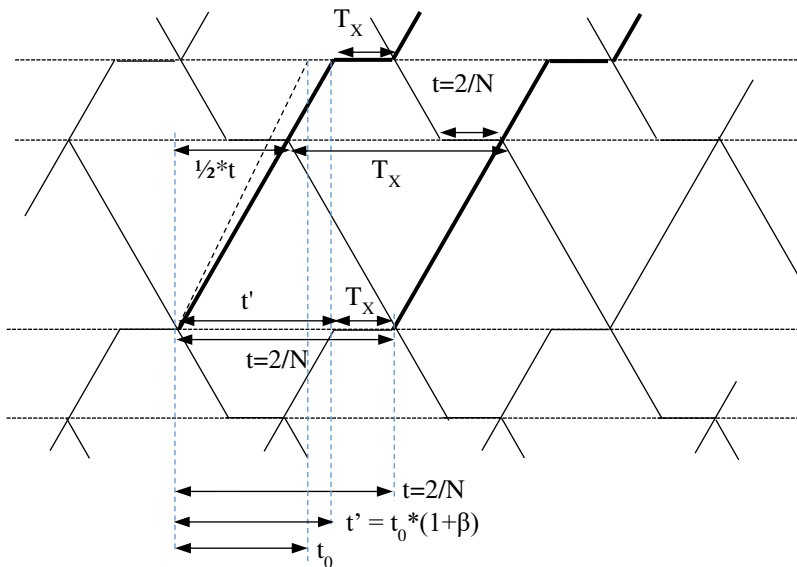
2.6.3 Framføringstid og forholdet t/t_0 på enkeltspor

2.6.3.1 Kryssingstap uten skjult kryssingstap

Hver kryssing på enkeltspor tar tid og økt antall tog medfører da økt tidsbruk i framføringen. Hvis det ikke uansett er planlagt stopp for passasjerutveksling blir det et påslag for de reisende på grunn av kryssing.

Figur 40 viser hvordan tidsbruken er ved en kryssing der kryssingsspor er plassert på ideelt sted for kryssingen og kryssingstapet tas annen hver gang i hver retning. T_x er tiden fra et tog kommer inn til det kjører ut igjen, inkludert totalt kryssingstap (ikke bare krysslåsingstid).

Med i alt N tog per time i sum for begge retninger er det i gjennomsnitt en tidsavstand på $2/N$ time mellom tog i en gitt retning. Denne tiden kalles t. Hvis kryssingstap fordeles lik mellom tog i begge retninger er dette også gjennomsnittlig framføringstid fra utkjør ved en kryssing til utkjør ved neste kryssing (se beskrivelse etter Figur 40). Den lavest mulige kjøretiden uten kjøretidstillegg eller kryssingstid kalles t_0 , og prosentverdien av kjøretidstillegget kalles her β (for omtale av kjøretidstillegg vises til avsnitt 2.12.4.7). t_0 er da lik teoretisk minste kjøretid.



Figur 40. Kjøretid og total tidsbruk. N tog per time i sum begge retninger. Kryssingstap tas i motsatt retning annenhver gang.

Ut fra Figur 40 sees det at $t' = 1/2 * t + 1/2 * (t - 2T_x) = 1/2 * t + 1/2 * t - T_x = t - T_x$, dvs. at $t = t' + T_x$. Følgende uttrykk kan da settes opp for tiden mellom kryssinger:

$$t = t' + T_x = t_0(1 + \beta) + T_x = \frac{2}{N} \Leftrightarrow$$

$$t_0 = \frac{2/N - T_x}{1 + \beta}$$

Siden $t = 2/N$, kan forholdet t/t_0 mellom faktisk tidsbruk, t , og den rene kjøretiden fram til kryssing, t_0 , uttrykkes som:

$$\frac{t}{t_0} = \frac{1}{1 - \frac{1}{2}T_x N} (1 + \beta)$$

Hvis det uansett er stopp for passasjerutveksling er oppholdstid samt retardasjons- og akselerasjonstillegg inkludert i minste kjøretid, t_0 . Dvs. at kryssingstapet, T_x , reduseres med disse verdiene. Dvs.

$$t_0 = \frac{2/N - (T_x - (T_{opp} + T_{ret+aks}))}{1 + \beta}$$

t/t_0 blir da:

$$\frac{t}{t_0} = \frac{1}{1 - \frac{1}{2} \left(T_X - (T_{\text{opphold}} + T_{\text{ret+aks}}) \right) * N} (1 + \beta)$$

Kryssingstapet uten opphold settes i utgangspunktet til 3 minutter. Retardasjonstap, akselerasjonstap og oppholdstid kan til sammen utgjøre i størrelsesordenen 1,5-2 minutter avhengig av hastighet og type stasjon. Nettotidstap ved passasjerutveksling er da 1-1,5 minutt.

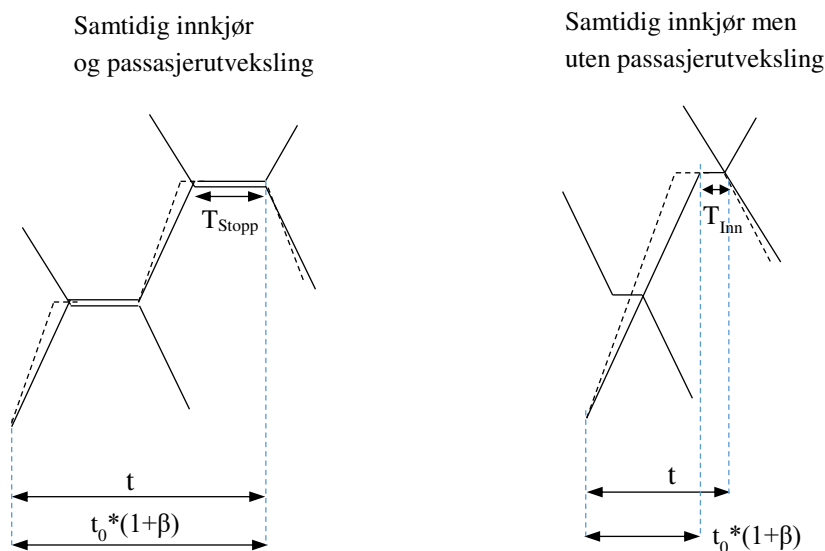
Samtidig innkjør

Samtidig innkjør betyr at det er mulig å kjøre inn på stasjonen til stopp samtidig fra begge sider. Fordeler med samtidig innkjør er:

- I konkrete tilfeller kan det utgjøre forskjellen på å rekke en kryssing eller ikke. Maks ventetid er hvis ankomst er akkurat samtidig og det ene toget må vente ute på krysslåsingstid og deretter på å kjøre inn. Det første toget må da også vente på det andre toget selv om det er ferdig med opphold og kunne ha kjørt.
- Generelt vil samtidig innkjør sikre raskere togframføring og kortere kjøretid for de reisende
- I avvik er det mindre risiko for spredning av forsinkelser, selv om samtidig innkjør ikke er i bruk ved normale kryssinger

Med samtidig innkjør og passasjerutveksling på kryssingsstasjon kan begge tog komme inn samtidig. Akselerasjons- og retardasjonstap samt oppholdstid er inkludert i minste kjøretid og det gjelder derfor at $t=t_0(1+\beta)$ som illustrert i Figur 41. Det gjelder derfor at

$$t/t_0 = 1 + \beta$$



Figur 41. Tidstap ved kryssing for samtidig innkjør, med og uten passasjerutveksling.

Hvis det *ikke* er passasjerutveksling er det nødvendig at det ene toget kommer litt før det andre slik at det siste toget kan få togvei og det får grønt utkjørsignal (og grønt forsignal til utkjør).

Fra et tog kjører i en retning til neste tog kjører i motsatt retning går tiden $t=2/N$. Tiden T_{inn} er tiden det tar fra første tog kommer inn til neste tog kommer inn. Akselerasjons- og retardasjonstiden for toget er inkludert i kjøretiden t .

Som omtalt tidligere forutsettes det at tidstapet tas av tog i motsatt retning annen hver gang og for én kryssing er det da to tog. Det settes da opp følgende uttrykk for samtidig innkjør og uten passasjerutveksling.

$$t = \frac{2}{N} = t_0(1 + \beta) + T_{inn} + T_{aks+ret}$$

$$t_0 = \frac{1}{(1 + \beta)} \left(\frac{2}{N} - T_{inn} - T_{aks+ret} \right)$$

Dvs.:

$$\frac{t}{t_0} = \frac{1}{1 - N \frac{1}{2} (T_{inn} + T_{aks+ret})} (1 + \beta)$$

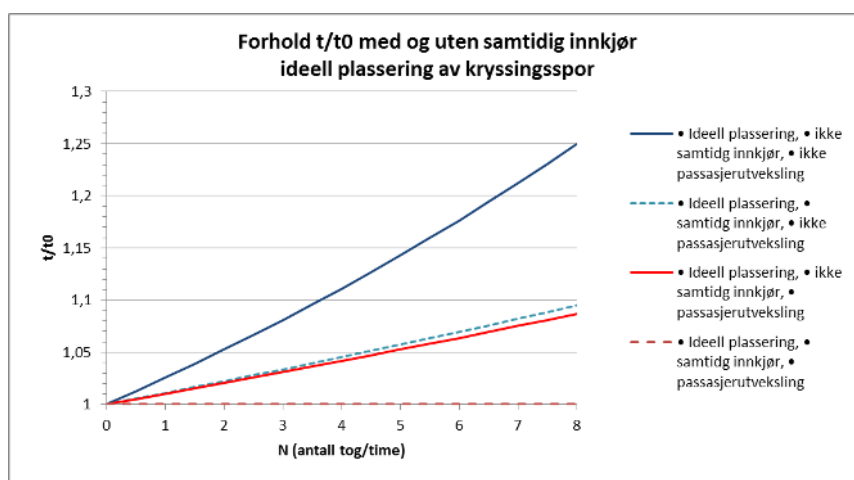
Eksempel

Det beregnes et eksempel med følgende parameterverdier:

$T_x=3$ min (inkl. retardasjons- og akselerasjonstap), $T_{\text{Opphold}}=1,0$ min, $T_{\text{aks+ret}}=0,8$ min, $T_{\text{Inn}}=0,5$ min og β er satt til 0 % for å tydeliggjøre effekten av selve kryssingen. Siden β er satt til 0 % vil alle kurvene starte med verdien $t/t_0=1$.

Det vises i Figur 42 fire situasjoner med tilhørende kryssingstap:

- 1) Ikke samtidig innkjør, ikke passasjerutveksling, $T_x=3$ minutter
- 2) Ikke samtidig innkjør, passasjerutveksling, $T_x=3-1,8=1,2$ minutter
- 3) Samtidig innkjør, ikke passasjerutveksling, $T_x=0,5+0,8=1,3$ minutter
- 4) Samtidig innkjør, passasjerutveksling, $T_x=0$ minutter



Figur 42. Effektiv framføringstid t/t_0 som funksjon av antall tog per time.

Det sees at uten samtidig innkjør og uten passasjerutveksling er et tidstillegg på ca. 20 % ved 5 tog/time. Uten samtidig innkjør men med passasjerutveksling er tillegget redusert til ca. 10 %. Med samtidig innkjør tillegget lavere.

Virkningen av samtidig innkjør er at det med samme t/t_0 kan kjøres flere tog per time. I tillegg kommer effekten av at samtidig innkjør muliggjør kryssinger som ellers ikke går, og på den måten kan bidra til en enda mer effektiv framføring. Virkning av samtidig innkjør på punktlighet kommer også i tillegg.

I tillegg kommer effekten av at samtidig innkjør muliggjør kryssinger som ellers ikke går, og på den måten kan bidra til en enda mer effektiv framføring. Virkning av samtidig innkjør på punktlighet kommer også i tillegg.

2.6.3.2 Kryssingstap og skjult kryssingstap

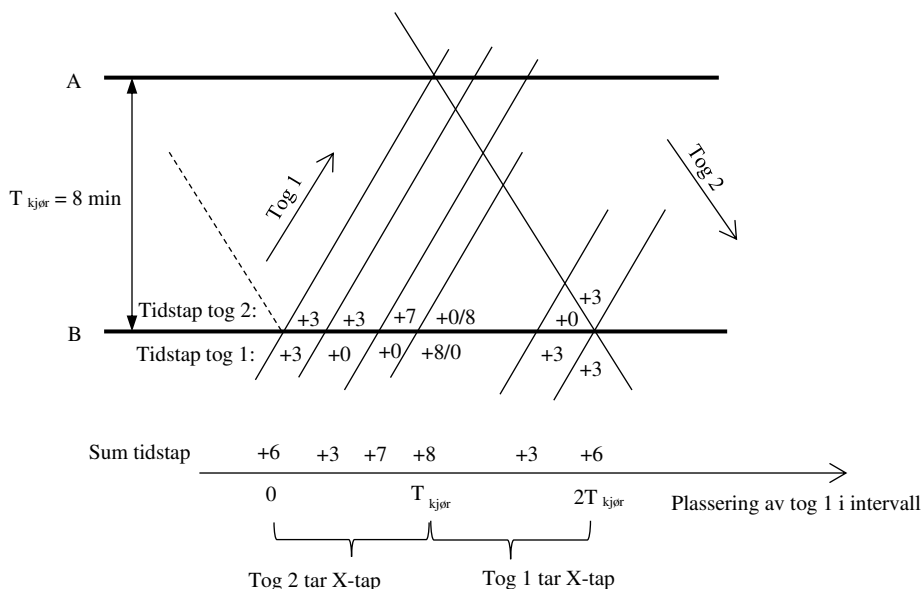
2.6.3.2.1 Skjult kryssingstap uten samtidig innkjør

I praksis vil det ofte være en skjult kryssingstap som skyldes at kjøretiden justeres (økes) for å treffe kryssinger der hvor kryssingsspoet faktisk er. Dette sees som regel ikke som en ekstra ventetid på kryssingsspoet, men er skjult som et tillegg til kjøretiden.

Tidstapet vil variere med hvor godt kryssingssforsavstanden (i tid) er tilpasset den aktuelle ruteplanen.

Det er i Figur 43 vist tidstap i kryssingen for hvert tog, avhengig av når togene kjøres i forhold til hverandre. Figuren gjelder en situasjon uten samtidig innkjør og uten passasjerutveksling.

Ikke samtidig innkjør, ikke passasjerutveksling

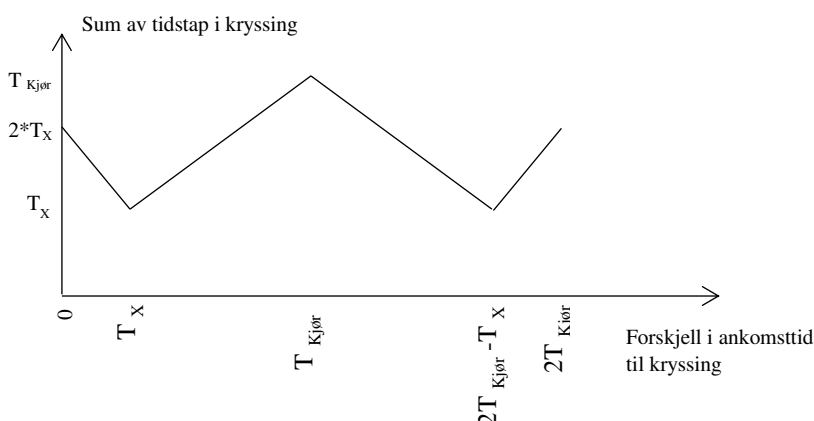


Figur 43. Variasjon av tidstap ved ulike ankomster av tog til kryssing.

Tidstapet er beregnet slik i Figur 43: Kjøretiden er 8 minutter. Hvis tog 1 kommer mindre enn 8 minutter etter tog 2 på A legges kryssing på A og tog 2 tar kryssingstapet. Hvis tog 1 kommer mindre enn 8 minutter før tog 2 på B legges kryssing på B og tog 1 tar kryssingstapet. Tilsvarende kan tidstapet beregnes ved andre forskjeller i ankomsttid ved B:

- Hvis tog 2 kommer noen få sekunder før tog 1 får tog 2 kryssingstapet på 3 minutter og tog 1 får også nesten hele kryssingstapet. I grensen mot at togene ankom samtidig får begge tog hele kryssingstapet. Summen av tidstap er 6 minutter.
- Hvis tog 2 kommer 1 minutt før tog 1 vil tog 2 få kryssingstapet på 3 minutter mens tog 1 må vente i $3-1=2$ minutter før de 3 minuttene er gått. Summen av tidstap er 5 minutter.
- Hvis tog 2 kommer 3 minutter før tog 1 tar tog 1 kryssingstapet og tog 2 merker ikke kryssingen. Summen av tidstap er 3 minutter.
- Hvis tog 2 kommer f.eks. kommer 7 min før tog 1 vil tog 2 ta kryssingstapet som er like ventetiden på 7 minutter (kryssingstapet er inkludert i ventetiden). Tog 1 vil ikke oppleve kryssingstap. Summen er 7 minutter.
- Hvis tog 2 kommer 8 minutter før tog 1 er summen av tidstap 8 minutter. Etter det snur situasjonen med hensyn til hvilket tog som tar kryssingen. Summen av tidstap er da symmetrisk rundt midten av intervallet.

Summen av tidstap kan avbildes som funksjon av det relative tidspunktet tog 1 passerer kryssingsspor B i intervallet mellom to tog i retning 2. Dette er gjort i Figur 44. Summen av forsinkelse er generalisert og uttrykt symbolsk.



Figur 44. Tidstap i kryssing uten samtidig innkjør, inkl. skjult kryssingstap.

Gjennomsnittlig tidstap over intervallet er lik

$$T_{X,gjennomsnitt} = \frac{T_X^2}{T_{Kjør}} + \frac{1}{2}T_{Kjør}$$

Det sees ut fra kurveforløpet i Figur 44 at tidstapet ved samtidig ankomst er litt større enn hvis det ene toget kommer litt før det andre. Størst tidstap er det når de togene ankommer samtidig på hver sin stasjon og det ene toget må vente hele kjøretiden på å kunne fortsette.

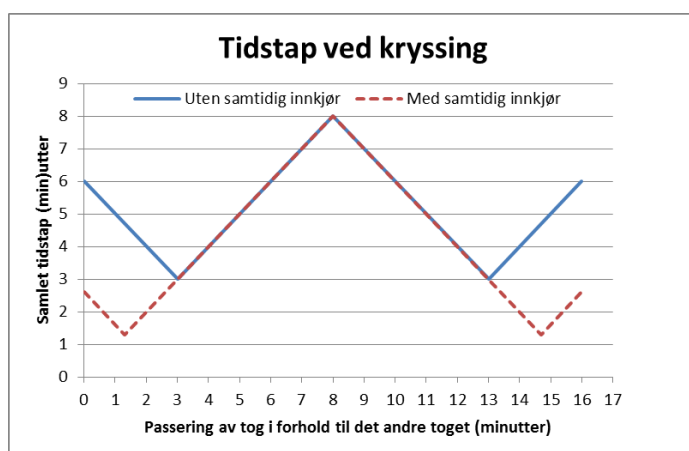
Med kort tidsavstand mellom kryssingsspor og uten samtidig innkjør vil $2T_x$ kunne være større enn $T_{Kj\ddot{o}r}$, dvs. at maksimalt tidstap da oppstår når ideell kryssing ville være på kryssingssporet og begge tog derfor må vente og blir belastet med kryssingstiden. (Er ideell kryssing i en slik situasjon midt mellom kryssingssporene vil det ene toget få ekstra opphold for å vente på det andre toget, mens det andre toget ikke «merker» kryssingen.)

2.6.3.2.2 Skjult kryssingstap med samtidig innkjør

Med *samtidig innkjør og uten passasjerutveksling* settes kryssingstap lik retardasjons- og akselerasjonstap pluss tid for andre tog å komme inn fra innkjørsignal, typisk lik $0,8+0,5=1,3$ minutt. Ellers er formen på kryssingstapskurven den samme.

Figur 45 viser tidstap uten og med samtidig innkjør sammen (tidstap 3 henholdsvis 1,3 minutt og kjøretid 8 minutter).

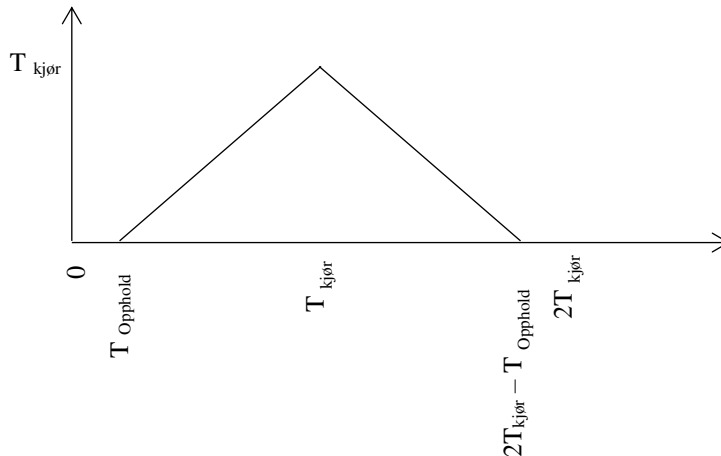
For mer diskusjon av virkning av samtidig innkjør for tidstap i kryssing vises til [20] og [21].



Figur 45. Tidstap inkl. skjult kryssingstap ved kryssing. Uten passasjerutveksling ved stasjon.

Med *samtidig innkjør og passasjerutveksling* er det minst tidstap. Retardasjons- og akselerasjonstillegg er inkludert i minste kjøretid. Det første toget må vente på at det andre toget kommer inn, men oppholdstiden trekkes fra siden toget uansett må stoppe. Dvs. at det er et intervall lik $T_{Opphold}$, fra første tog kommer inn til andre tog kommer inn, der det ikke er noe tidstap for det første toget selv om det andre toget kommer litt etter.

Summen av tidstap varierer da som illustrert i Figur 46 avhengig av hvordan togene kjøres i forhold til hverandre.



Figur 46. Tidstap inkl. skjult kryssingstap ved kryssing. Samtidig innkjør, med passasjerutveksling ved stasjon

Gjennomsnittlig tidstap med samtidig innkjør og passasjerutveksling er lik

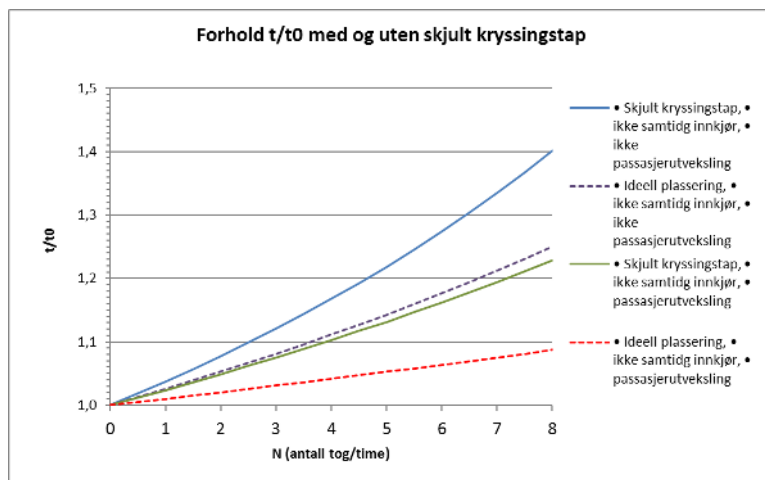
$$T_{X,gjennomsnitt} = \frac{1}{2}(T_{kjør} - T_{Opphold})$$

2.6.3.3 Antall tog og forholdet t/t₀

I det følgende vises effekt av samtidig innkjør og markedsstopp på verdien av t/t₀. Det regnes med 5 minutters kjøretid, 1 minutts oppholdstid og 0,8 min i retardasjons- og akselerasjonstillegg.

- Uten samtidig innkjør og uten passasjerutveksling er kryssingstap 3 minutter. Gjennomsnittlig tidstap med skjult kryssingstap er da lik $3^2/5 + 1/2 \cdot 5 = 4,3$ minutter.
- Uten samtidig innkjør men med passasjerutveksling settes nettotidstap til $3 - (1 + 0,8) = 1,2$ minutt netto. Gjennomsnittlig tidstap med skjult kryssingstap er da $1,2^2/5 + 1/2 \cdot 5 = 2,79$ minutter.
- Med samtidig innkjør men uten passasjerutveksling regnes det med $0,5 + 0,8 = 1,3$ minutters tidstap og gjennomsnittlig tidstap med skjult kryssingstap er da lik $1,3^2/5 + 1/2 \cdot 5 = 2,84$ minutter (omtrent som uten samtidig innkjør men med passasjerutveksling).
- Med samtidig innkjør og med passasjerutveksling settes tidstap i kryssing til 0 og gjennomsnittlig tidstap med skjult kryssingstap er $\frac{1}{2}(5 - 1) = 2$ minutter.

Med verdiene fra eksemplet over beregnes $T_{X,gjennomsnitt}$ og benyttes i formelen for t/t₀. I Figur 47 er det vist hvordan forløpet er for t/t₀ med og uten skjult kryssingstap for situasjon uten samtidig innkjør, men med henholdsvis uten passasjerutveksling. β er satt til 0 for å illustrere effekten av selve kryssingen på t/t₀ (uten kjøretidstillegg)



Figur 47. Tidstap med og uten skjult kryssingstap, med og uten passasjerutveksling.

Det sees at t/t_0 er vesentlig høyere med skjult kryssingstap enn uten skjult kryssingstap. For å oppnå samme t/t_0 med «tilfeldig» plassering av kryssingsspor, er det altså nødvendig å framføre færre tog per time enn hvis kryssingsspor kan plasseres ideelt.

I praksis vil plassering av kryssingsspor over tid være tilpasset ønsket ruteplan og avhengigheten av t/t_0 som funksjon av antall tog vil da antakelig ligge mellom de viste sett med kurver for ideell plassering og med ventetid. I tillegg er det ikke sikkert at det er passasjerutveksling på alle kryssinger.

Eksempelene er ikke ment som en fasit på hvordan det alltid er i praksis, men skal illustrere at:

- økt trafikk på enkeltspor medfører økt framføringstid, med mindre det uansett ved alle kryssinger er passasjerutveksling og samtidig innkjør
- samtidig innkjør på en stasjon reduserer tidstapet vesentlig

2.6.3.4 Robusthetsvirkning av samtidig innkjør

Med samtidig innkjør og passasjerutveksling er det mulig for et tog å ankomme forsinket uten at det får innvirkning på det andre toget i kryssingen. Så lenge toget ankommer i oppholdstiden for det andre toget vil det ikke være noen overføring av forsinkelse i den aktuelle kryssingen. Det forsinkede toget kan påvirke andre tog i kryssinger lengre fram, men ved mindre forsinkelser kan kjøretidstillegget (delvis) kompensere for dette.

Er det f.eks. 1 minutts opphold kan et tog bli inntil 1 minutt forsinket uten å overføre forsinkelsen.

Uten samtidig innkjør vil det i større grad bli overføring av forsinkelse også selv om det er passasjerutveksling. Dette skyldes at det andre toget i løpet av oppholdstiden kjører inn fra forsignal til innkjør. Er denne tiden omtrent som oppholdstiden vil det være tilnærmet ingen margin igjen. Er oppholdstiden 1 minutt og kjøretiden inn fra forsignal til stasjonen lik 54 sekunder er det bare 6 sekunders margin for forsinkelse (mot 1 minutt med samtidig innkjør).

2.6.3.5 Negativ kjøretid og planlagt forsinkelse

I stedet for å inkludere ventetid i ruteplanen for å få kryssinger til å gå opp, kan det i visse situasjoner planlegges med forsinkelse mellom to kryssingsstasjoner. Dette kan gjøres hvis det ruteplanen ikke har faste minuttall men hvis det allikevel er ønskelig å publisere faste minuttall i ruteplaner til de reisende.

Dette forutsetter da at det ikke snakk om store, planlagte forsinkelser.

Prinsippet kan også benyttes hvis det er hensiktsmessig å ha en oppholdstid som gjør at et tog kjører så snart det er mulig fram for å vente til neste hele minutt. I rutetabellen til de reisende publiseres da en rutetid ett minutt tidligere og toget avgår så tidlig som mulig, med noen sekunders (opp mot ett minutt) planlagt forsinkelse.

2.6.4 Blanding av korte og lange kryssingsspor

2.6.4.1 Problemstilling og anvendelse

Det er generelt en generell praksis i Norge at godstog tar kryssingstapet i en kryssing. Dette settes som forutsetning i kapasitetsanalyser, men kan selvsagt avvikes i en konkret ruteplan hvis det er forhold som tilsier at dette er det mest fordelaktige totalt sett, men i planleggingen forutsettes det at godstog tar kryssingstapet.

Gjennomgangen under er vist med en gitt lengde av godstog, men lengden av godstog vil variere. Ulik lengde av godstog kan håndteres ved å benytte et vektet gjennomsnitt for kjøretiden av godstog.

Metoden kan også benyttes for persontog som skal stoppe for passasjerutveksling på kryssingsstasjoner med bare én plattform, men der det er passasjerutveksling. Disse stasjonene kan da ikke brukes til å krysse persontog med passasjerutveksling, mens andre passasjertog som ikke skal betjene stasjonen (og godstog hvis sporene er lange nok) kan krysse allikevel.

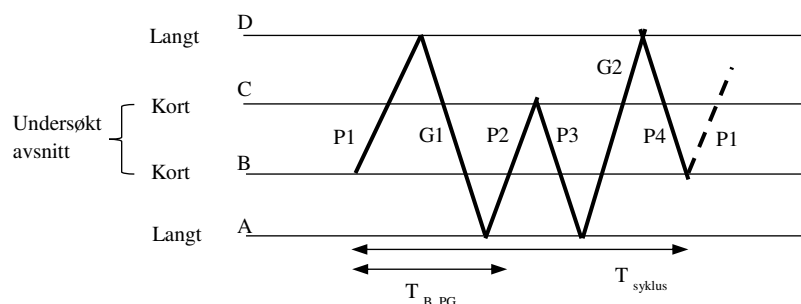
2.6.4.2 Beregningsmetode

Hvis ikke alle kryssingsspor er lange nok til å ta imot lange godstog må kryssing mellom persontog og godstog flyttes ut til nærmeste lange kryssingsspor for å unngå at persontog må ta kryssingstap. Hvis det foretas en såkalt overlang kryssing der godstog står uten for stasjonen og venter, persontog kommer inn på kryssingsspor og stopper og godstog deretter kjører gjennom stasjonen, er det et tidstap for persontoget.

En flytting av kryssing til et annet og lengre kryssingsspor krever lengre kjøretid og gir lavere kapasitet.

Figur 48 viser et eksempel der det er maksimalt tillegg på grunn av kryssing med lange tog på stasjoner utenfor det aktuelle avsnittet. Dette svarer da til at det beregnes togfølgetid for verste tilfelle.

Avsnitt BC er det aktuelle avsnittet som undersøkes. Togfølgetiden måles ved kryssingsspor B eller C. Det er ikke tatt stilling til hvordan kryssinger skjer utenfor det undersøkte avsnittet.



Figur 48. Tidsbelegg ved lange og korte tog samt lange og korte kryssingsspor.

Det antas at godstogene er fordelt mest mulig spredt. Siden godstog må krysse på lange kryssingsspor «drar» godstoget med seg en ekstra kjøretid for både persontog og godstog på utsiden av det aktuelle avsnittet. For hvert godstog blir det et togpar med ett godstog og ett persontog som i gjennomsnitt belegger ved kryssingsspor B belegger tiden (det blir samme resultat om belegget beregnes ved kryssingsspor A):

$$T_{B,GP} = T_{P,BD} + T_{G,DA} + T_{P,AB} = T_{G,AD} + T_{P,AD}$$

Hvis det er flere godstog enn persontog vil resterende antall godstog hver belegge avsnittet mellom A og D med tiden $T_{G,AD}$. Er det er flere persontog enn godstog vil hvert persontog belegge avsnittet BC i tiden $T_{P,BC}$.

I tillegg vil det være kryssingstap i de situasjonene der godstog kommer først til kryssing. Det vil skje en gang for hvert togpar av G og P.

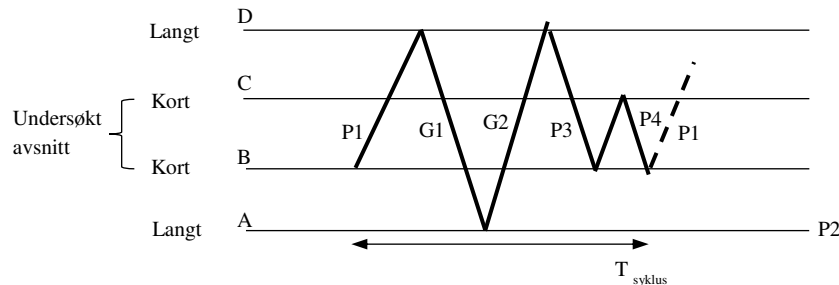
Største belegg

I en syklus med N_P persontog og N_G godstog blir samlet største togfølgetid lik:

$$T_{f \text{ maks}} = \frac{1}{N_P + N_G} \left(\min(N_P; N_G) (T_{G,AD} + T_{P,AD}) + (N_P - \min(N_P; N_G)) T_{P,BC} + (N_G - \min(N_P; N_G)) T_{G,AD} + \min(N_P; N_G) T_X \right)$$

Minste belegg

Minste togfølgetid opptrer når godstog kjøres samlet som vist i Figur 49.



Figur 49. Belegg når godstog er samlet.

For en sekvens er det N_G godstog, og forutsatt at det er minst 2 persontog i sekvensen, er det et bidrag i belegg på $2 \cdot T_{P, BD}$ eller $2 \cdot T_{P, CA}$ som stammer fra de 2 persontogene i sekvensen. I gjennomsnitt regnes med et bidrag på $\frac{1}{2} \cdot (2 \cdot T_{P, BD} + 2 \cdot T_{P, CA}) = T_{P, BD} + T_{P, CA}$.

$$T_{f \min} = \frac{1}{N_P + N_G} (N_{Seksens} (N_G T_{G, AD} + T_{P, BD} + T_{P, CA}) + (N_P - 2N_{Seksens}) T_{P, BC} + N_{Seksens} T_X)$$

der $N_{Seksens}$ er 0 hvis $N_G=0$ og 1 hvis $N_G>0$.

Eksempel:

$N_P = 4$ tog og $N_G = 2$ tog. $T_{P, AB} = 4$ min, $T_{P, BC} = 6$ min, $T_{P, CD} = 5$ min, $T_{G, AB} = 5$ min, $T_{G, BC} = 8$ min og $T_{G, CD} = 6$ min. $T_X = 3$ min.

$$T_{f \max} = \frac{1}{4 + 2} (MIN(4; 2)(19 + 15) + (4 - MIN(4; 2))6 + (2 - MIN(4; 2))19 + MIN(4; 2)3)$$

$$T_{f \max} = 14,3 \text{ minutter}$$

$$T_{f \min} = \frac{1}{4 + 2} (1(2 \cdot 19 + 11 + 10) + (4 - 2 \cdot 1)6 + 1 \cdot 3) = 12,3 \text{ minutter}$$

Teoretisk kapasitet er da mellom 4,2 og 4,9 tog/time avhengig av hvordan rekkefølge av tog over avsnittet blir. En forventet verdi ville antakelig være tett på gjennomsnittet på 4,5 tog/time.

2.6.4.3 Om vektete gjennomsnitt av kapasitet

Det er verdt å nevne at et vektet gjennomsnitt av kapasiteter eller kapasitet basert på et vektet gjennomsnitt av togfølgetider ikke gir samme resultat. Dette kan illustreres som følger:

Kapasiteten beregnes som et vektet gjennomsnitt av kapasiteten for bare persontog og av kapasiteten for bare godstog gir (med kryssingstapet lagt til godstog) følgende:

$$K_{teoretisk} = \frac{4}{4+2} * \frac{60}{6} + \frac{2}{4+2} * \frac{60}{19+3} = 7,6 \text{ tog/time}$$

Vekting av togfølgetider før beregning av kapasitet gir:

$$K_{teoretisk} = \frac{4}{4+2} * 6 + \frac{2}{4+2} * (19 + 3) = 11,3 \text{ minutter og tilsvarende kapasitet er } 5,3 \text{ tog/time.}$$

Det er i begge tilfeller forskjell fra (og høyere verdi enn) det som er beregnet som øvre verdi av kapasitet.

2.6.5 Tidstap med lange godstog på korte kryssingsspor

Ved kryssing mellom godstog og persontog på en stasjon som ikke er langt nok for godstoget, må godstoget stå på utsiden av stasjonen mens persontoget kjører inn. Etterfølgende må godstoget kjøre igjennom stasjonen og deretter kan persontoget kjøre videre.

Er det ikke samtidig innkjør må sikkerhetssone for persontoget, når det kommer inn, utgjøres av at godstoget står på utsiden av innkjørssignalet (dekning bak middel i veksel), se [32] avsnitt 2.2.1. Hvis det er samtidig innkjør er det en sikkerhetssone etter utkjørssignalet i retning mot godstoget og da kan godstoget stå delvis inne på stasjonen og delvis ute på linjen.

Tidsbruk for persontog er lik krysslåsingstid for persontoget + akselerasjons- og retardasjonstap samt tiden det tar for godstog å kjøre fra innkjør og få siste aksel inn bak middel. Et 500 m langt godstog må da kjøre ca. $200+100+500 \text{ m} = 800 \text{ m}$. Med ca. 40 km/t tar det $0,8/40*60=1,2$ minutter.

Samlet tidsbruk kan være $1,5+0,3+1,2+0,5 = 3,5$ minutter.

Hvis det er samtidig innkjør kan godstog som nevnt kan stå inne stasjonen siden det er sikkerhetssone foran persontoget mot godstoget når persontoget kommer inn. Hvis sporet er 300 m langt trenger godstoget å kjøre $500-200=300 \text{ m}$, hvilket kan da ca. 0,5 minutt.

Samlet tidsbruk er da $0,3+0,5+0,5=1,3$ minutter.

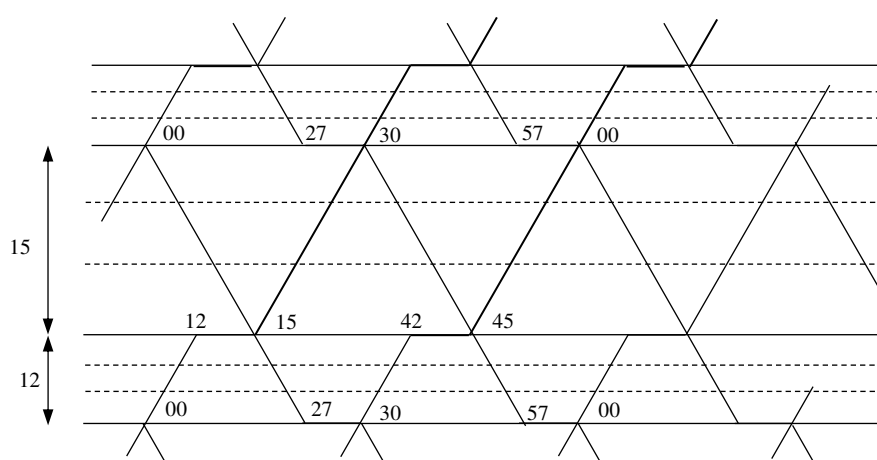
Uten samtidig innkjør er det ca. 2 minutters større tidstap for persontog enn hvis det skal ta overlang kryssing.

Er det samtidig innkjør og persontoget uansett har stopp for passasjerutveksling er det sannsynlig at godstoget kan kjøre gjennom stasjonen mens persontoget har stopp. Det er da ikke noe ekstra tidstap for persontoget.

2.6.6 Plassering av kryssingsspor ut fra kjøretid

Med N tog per time sum begge retninger på enkeltspor og jevne intervaller krysser tog teoretisk hverandre for hver $1/N$ time. Dette er imidlertid et teoretisk kryssingspunkt. I dette avsnittet illustreres hva det betyr i praksis for kjøretid mellom kryssinger at det må tas høyde for tidstap til kryssing.

Tidsavstanden mellom kryssinger med 2 tog/time/retning er det 4 tog i begge retninger og kryssing hver $60/4=15$ minutter. Med 3 minutters kryssingstap må kryssingssporene legges slik at det i gjennomsnitt er $(15-3/2)=13,5$ minutters kjøretid mellom kryssingssporene. Dette kan oppnås ved å ha skiftevis $3*4=12$ minutters kjøretid og $3*5=15$ minutters kjøretid som vist i Figur 50. Med en tredeling av avstanden mellom kryssinger tilsier det 4 henholdsvis 5 minutters kjøretid mellom kryssingsspor.



Figur 50. Fordeling av intervall mellom systemkryssinger og teoretisk 15-minuttersintervall mellom kryssinger.

Ut fra fordelingen i Figur 50 sees det i gjennomsnitt er 1 kryssing per 30 minutter.

t/t_0 (uten å ta hensyn til kjøretidstillegg) blir da lik $30/27=1,11$.

Inndeling i 3 avsnitt mellom systemkryssinger gir 4 henholdsvis 5 minutters kjøretid. Hvis det skal brukes en *samme kjøretid overalt* på strekningen kan det benyttes enten 4 eller 5 min.

Er det 4 minutters inndeling er minste kjøretid mellom kryssinger (som ikke overstiger $(30-3)/2=13,5$ minutter) $3*4=12$ minutters, mens kjøretiden i gjennomsnitt blir 15 minutter. t/t_0 (uten å ta hensyn til kjøretidstillegg) blir da lik $15/12=1,33$.

Med 5 minutters inndeling er minste kjøretid $2*5=10$ minutters mellom kryssinger, mens kjøretiden i gjennomsnitt blir 15 minutter. t/t_0 (uten å ta hensyn til kjøretidstillegg) blir da lik $15/10=1,50$.

Den vesentlig lavere verdien av t/t_0 med 4- og 5-minuttersinndeling enn med bare 4- eller 5-minuttesinndeling skyldes at alle kryssingstap i første tilfelle kan legges på avsnittet med $3*4=12$ minutters kjøretid. I det andre tilfellet blir det skjult kryssingstap som tillegg til kjøretiden og dette øker t/t_0 .

2.6.7 Antall systemkryssinger langs strekning

Med N tog per time sum begge retninger på enkeltspor og jevne intervaller krysser tog teoretisk hverandre for hver $1/N$ time. For en strekning som har framføringstiden $T_{framføring}$ (inkludert kryssingstap) gjelder da at

$$N_{systemkryssinger, T_{framføring}} = \frac{T_{framføring}}{1/N} = T_{framføring} N$$

Antall systemkryssinger må avrundes opp til nærmeste hele tall. For lange strekninger vil endring i hastighet slå ut på antall kryssinger (økt hastighet reduserer tiden og gir færre kryssingsspor). For korte strekninger vil avrundingen gjøre at det ikke er sikkert at det er noen gevinst på antall kryssingsspor av økt hastighet (mens framføringstid uansett vil gå ned).

2.6.8 Tidsavstand mellom kryssingsspor

Det diskuteres i de følgende avsnittene hvor stor tidsavstand det bør være mellom kryssingsspor, dvs. så å si hvor mange kryssingsspor som er nødvendige.

Framstillingen er generalisert og forutsetter lik kjøretid og jevne intervaller. I en konkret rutemodellavhengig planleggingsprosess (se kapittel 6) kan det bli avvik fra de generelle resultatene i dette avsnittet.

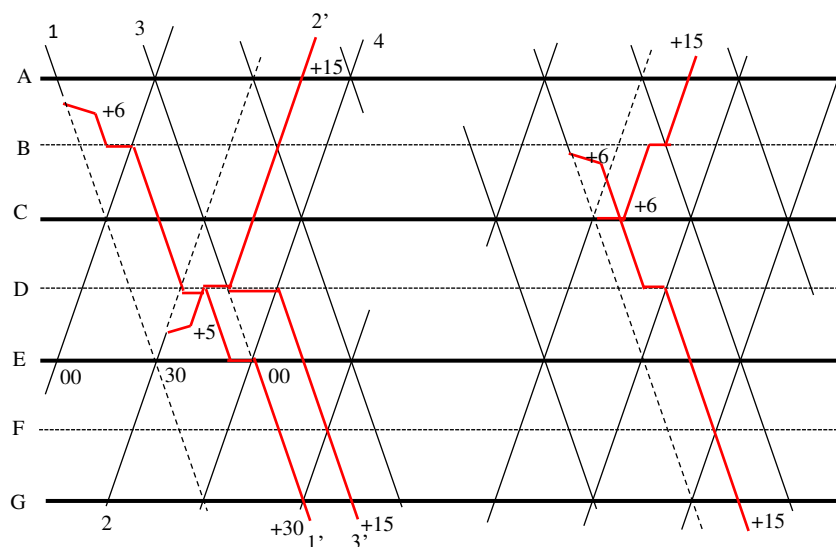
2.6.8.1 2-deling mellom systemkryssinger

Med 4 tog/time (sum begge veier) er det $60/4=15$ min mellom systemkryssinger. Med 2-deling av tidsavstand mellom systemkryssinger er det $15/2=7,5$ minutter mellom kryssingssporene. Det sees bort fra nøyaktig beregning med tid til kryssingstap.

Det vises spredning av forsinkelse i to tilfeller:

- forsinkelse for ett tog på 6 minutter og forsinkelse for et annet tog på 5 minutter.
- forsinkelse av ett tog på 6 minutter

Spredning av forsinkelser blir som vist i Figur 51.



Figur 51. Forsinkelse med to-delning.

Det kan tenkes at både tog 1 og tog 2 er begge forsinket. Tog 1 legger kryssing om fra C til B og blir 15 min forsinket. Tog 2 legger kryssing om fra E til D. Tog 2 blir forsinket etter at tog 1 har kjørt fra C og togene må da møtes på kryssingsspor D der tog 1 må vente på tog 2. Tog 1 kan kjøre videre når tog 2 har kommet inn på D, men må vente igjen på tog 4 på E. Tog 1 er da i alt 30 minutter forsinket (følger tog 3s opprinnelige ruteleie). Tog 2 må vente på tog 3 på D og blir da 15 min forsinket. Tog 3 kan ikke fortsette i sitt opprinnelige ruteleie siden det er opptatt av det forsinkede tog 1 og må vente på D på at tog 4 kommer inn. Tog 3 blir da 15 minutter forsinket. Samlet forsinkelse for tog 1, 2 og 3 er $30+15+15=60$ minutter.

Alternativt kan tog 3 holdes tilbake på C men tog 3 ville uansett få samme ruteleie og samme forsinkelse til slutt ved G.

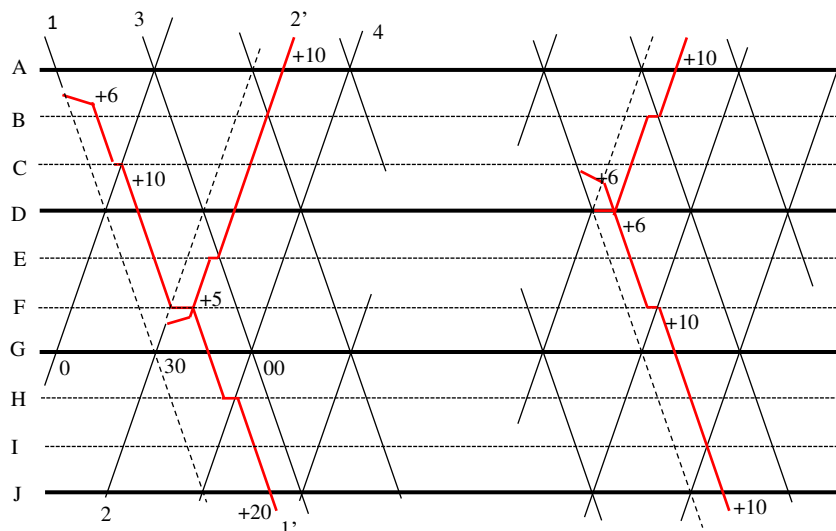
Forsinkelse av ett tog

Med bare ett forsinket tog er spredningen av forsinkelser i sum $15+15=30$ minutter.

2.6.8.2 3-delning mellom systemkryssinger

Med 4 tog/time og tre-delning av tid mellom systemkryssinger er det $60/4 \cdot 1/3 = 5$ minutter mellom kryssingssporene (og $60/4 = 15$ minutter mellom systemkryssinger).

Forsinkelser fra eksemplet med 2-delning i Figur 51 blir med tre-delning som vist i Figur 52.



Figur 52. Forsinkelse med tre-delning.

Samlet forsinkelse hvis ikke-forsinkede tog skal påvirkes minst mulig: $20+10=30$ min. Dvs. at tredelingen reduserer samlet forsinkelse med halvparten sammenlignet med en 2-delning.

Forskjellen til en 2-delning er at det blir mulig å krysse begge forsinkede tog med hverandre uten å måtte flytte ruteleiet for et tog som ikke er forsinket fra før. I tillegg er økning i forsinkelse ved omlegging av forsinkelse mindre.

Med bare ett forsinket tog er spredningen av forsinkelser i sum $10+10=20$ minutter.

2.6.8.3 Virkning av 2- og 3-delning på punktlighet

Det vises her et eksempel på et estimat på virkning på punktlighet av 2- eller 3-delning.

Eksempel

Det forutsettes eksponentialfordeling for forsinkelse der det for den akkumulerte sannsynligheten for at et tog er mindre enn eller lik tiden t forsinket gjelder: $F(t)=1-e^{-\lambda t}$.

Med antatt punktlighet på $F(t)=90\%$ ved punktlighetsgrense $t=4$ minutter finnes $\lambda=0,58$.

Med 2-delning er forsinkelser i gjennomsnitt 1,5 ganger så store som med 3-delning. Et forsinkelsesnivå med 3-delning på kan da være $1/1,5$ ganger så stort med 2-delning for å gi samme resulterende forsinkelse. 4-minuttersgrense ved 3-delning svarer da med 2-delning til $4/1,5=2,7$ minuttersgrense.

Dette svarer ved samme forsinkelsesnivå og to-delning til en punktlighet på $F=1-e^{-(0,58 \cdot 2,7)} = 79\%$.

Dvs. at en 2-delning gir en vesentlig lavere punktlighet (79 %) enn en 3-delning med samme trafikk (forutsatt 90 % i eksemplet).

2.6.8.4 Antall tog og størrelse av forsinkelser

Spredning av forsinkelser på enkeltspor er vanskelig, for ikke å si umulig, å analysere i detalj uten bruk av simuleringer. Tilsvarende er det ikke direkte mulig å si hva en økning i antall tog vil medføre for forsinkelser selv om infrastrukturen dimensjoneres etter samme kriterier med tredeling av avsnittet mellom systemkryssinger. Virkningen vil avhenge av størrelsen av forsinkelser for tog som til enhver tid skal krysse og forsinkelser for andre tog i nærheten med de muligheter/begrensninger det blir for å legge kryssingene om til andre kryssingsspor.

Det er imidlertid mulig å gjøre en kvalitativ vurdering sammen med en kvantitativ vurdering grovt nivå av hva økt antall tog betyr for forsinkelser. Dette gjøres under forutsetning om det er stive ruter med faste systemkryssinger og tre-deling av avstand mellom systemkryssingene.

For beregninger tenkes det et idealisert eksempel der det er 4 tog/time og 5 minutter mellom kryssingssporene og en situasjon der det er 6 tog/time og 3,33 minutter mellom kryssingssporene og at alle tog har lik kjøretid og jevn fordeling over timen.

Med økt antall tog er det for hvert enkelt tog også økt antall kryssinger. Hvis det i utgangspunktet er N_1 tog per time og dette øker til N_2 tog per time vil antall kryssinger over en gitt strekning økte med faktoren N_2/N_1 . Hyppigheten av kryssinger og potensielle overføringer av forsinkelser øker da grovt sett med forholdet N_2/N_1 . Togene som det krysses med vil også i seg selv ha hatt flere kryssinger med faktoren N_2/N_1 og sannsynligheten for at et av disse togene er forsinket vil da også grovt sett øke med samme faktor. Samlet sett øker potensialet for omfang av forsinkelser med faktoren $(N_2/N_1)^2$.

Samtidig er følgeforsinkelser i utgangspunktet proporsjonal med to ganger kjøretid mellom kryssingsspor, dvs. med $2 \cdot 1/N \cdot 1/3$. Da blir det direkte forholdet mellom følgeforsinkelsene lik $\text{Følgeforsinkelse } N_2 / \text{Følgeforsinkelse } N_1 = N_1/N_2$. Med økt antall tog reduseres altså i utgangspunktet selve verdien av følgeforsinkelser.

Samlet effekt av økning av antall tog på forsinkelser er da en faktor $(N_2/N_1)^2 \cdot N_1/N_2 = N_2/N_1$.

Det kan være at små forsinkelser opp til forsinkelsesgrensen på 3:59 minutter aksepteres og overføres til andre tog fram for å legge om en kryssing med påfølgende større forsinkelser. Størrelsen av overførselen vil være med en faktor 1 (beholder samme forsinkelse som med færre tog) men hyppigheten vil øke med en faktor N_2/N_1 siden tog som det krysses med også kan være forsinket og påvirke det aktuelle toget til å ta en følgeforsinkelse. For forsinkelser opp til 3:59 er da en faktor $1 \cdot N_2/N_1 = N_2/N_1$.

Det er ikke trolig at alle disse hendelsene kan håndteres som før med færre tog og det kan gjøres en grov antakelse om at halvparten av tilfellene håndteres 1:1 mens resten håndteres med en følgeforsinkelse på $2 \cdot 3,33 = 6,67$ minutter eller en faktor 1,67. I gjennomsnitt er da en faktor $0,5(1+1,67) = 1,33$.

Forsinkelser over grensen 3:59 vil med økt antall tog få en overført forsinkelse med en faktor på størrelsen på N_1/N_2 . Dette vil skje med en hyppighet på N_2/N_1 siden tog som det krysses med også kan være forsinket og påvirke det aktuelle toget til å ta en følgeforsinkelse. For forsinkelser over 3:59 er da faktoren $N_2/N_1 \cdot N_1/N_2 = 1$. Det er ikke utenkelig at det på grunn av økt togantall er en del situasjoner der det er nødvendig å påføre en ekstra følgeforsinkelse ved omlegging av kryssing, dvs. et ekstra bidrag

med $2 \cdot k_{\text{jøretid}}$ mellom kryssingsspor. Dette gir da en faktor $(2 \cdot 1/N_2 \cdot 1/3) / (1/N_1 \cdot 1/3) \cdot (N_2/N_1) = 2$. I gjennomsnitt er det da en faktor 1,5.

Hvis det i utgangspunktet er en punktlighet på 80 % betyr det at 80 % av togene har en forsinkelse inntil 3:59 på endestasjonen. Hvis dette som en grov antakelse også antas å gjelde generelt for forsinkelser blir vektet faktor på forsinkelse, av å øke antall tog, da lik $80\% \cdot 1,33 + (100\% - 80\%) \cdot 1,5 = 1,36$. Med 90 % punktlighet er faktoren 1,35.

Som et grovt estimat kan det da antas at forsinkelser øker med rundt 40 %. Forsinkelsesgrensen på 3:59 som ellers benyttes til å definere punktlighet med 4 tog/time blir redusert til ca. $3:59/1,4 = 2:50$ minutter for å gi 3:59 med 6 tog/time.

Med forsinkelser som følger en eksponentialfordeling vil punktligheten målt ved 2:50 være ca. 69 % med 6 tog/time, hvis den er 80 % med 4 tog/time. Tilsvarende er den ca. 81 % med 6 tog/time hvis den er 90 % med 4 tog/time.

Hvis det, som en veldig enkel fotutsetning, bare benyttes forholdstall mellom antall tog (forholdstall mellom følgeforsinkelser ved omlegging av kryssinger) er det en faktor 1,5 og forsinkelsesgrensen er da 2,7 minutter. Punktligheten målt ved 2,7 minutter er da ca. 66 % med 6 tog/time, hvis den er 80 % med 4 tog/time. Tilsvarende er den ca. 78 % med 6 tog/time hvis den er 90 % med 4 tog/time.

Dette er grove estimater men det viser at økt antall tog kan påvirke punktligheten negativt selv om det er samme kvalitative kriterier som benyttes i design av infrastrukturen i forhold til trafikken.

I eksemplet er reduksjonen ved å gå fra 4 til 6 tog ca. 10 prosentpoeng, selv om infrastrukturen i prinsippet er tilpasset et høyere togantall.

En mer nøyaktig analyse av virkingen forutsetter som sagt simuleringer og mer detaljerte analyser av forsinkelsesbildet i referanse (lavt togantall).

2.6.8.5 Oppsummering

Med tre-deling i stedet for to-deling reduseres forsinkelser med 50 % eller 33 % avhengig av typen forsinkelser og omlegging av kryssinger.

Som et dimensjoneringsprinsipp ut fra framføringshensyn legges det til grunn en tre-deling av tidsavstand mellom systemkryssinger.

En videre oppdeling med fire-deling gir økt fleksibilitet og i utgangspunktet en spredning som er $(1/4)/(1/3) = 3/4$ av forsinkelsen ved en 3-deling. F.eks. gir en 4-deling gir $60/4 \cdot 1/4 = 3,75$ min mellom kryssingssporene og i eksemplet over med 6 henholdsvis 5 minutters forsinkelse ville en 4-deling gi en samlet forsinkelse på $15 + 7,5 = 22,5$ minutter mot 30 minutter, dvs. en reduksjon på 25 % fra en tre-deling.

Dette krever imidlertid $1/3$ flere kryssingsspor enn ved en 3-deling og kostnad må sees i sammenheng med nytten av dette.

Virkingen av følgeforsinkelser kan vektes med sannsynligheten for at en forsinkelse er i et gitt intervall for resulterende følgeforsinkelse. Med 90 % punktlighet fås verdiene i Tabell 21.

Tabell 21. Forventet resulterende forsinkelse.

Intervall	P intervall	p relativ	Resulterende forsinkelse	Forventet forsinkelse (minutt)
2-deling				
0-15 min	0,99982217	100,0 %	15	15,00
3-deling				
0-10 min	0,99683772	99,7 %	10	9,97
10-15 min	0,00298445	0,3 %	15	0,04
Sum				10,01
4-deling				
0-7,5 min	0,98666479	98,7 %	7,5	7,40
7,5-15 min	0,01315739	1,3 %	15	0,20
				7,60

Det sees at forsinkelsen reduseres med økt inndeling. Reduksjonen blir 33 % (fra 2- til 3-deling) hhv 24 % (fra 3- til 4-deling). Dette svarer godt til de generelle betraktningene om 33 % og 25 % reduksjon. Årsaken til at det ikke er større forskjell er at de minste forsinkelsene er mest sannsynlige og dominerer i beregningen av forventet forsinkelse.

2.6.9 Antall kryssingsspor på enkeltsporsstrekninger

2.6.9.1 Generelt om kryssingssporbehov

For å håndtere forsinkelser på enkeltsporede baner må det være reserve-kryssingsspor som kan benyttes til å legge om kryssinger for forsinkede tog. Reservekryssingsspor er kryssingsspor som ikke benyttes til kryssing hver gang det er passerende tog.

Spørsmålet er hvor mange kryssingsspor som er nødvendige. Svaret vil avhenge av hvilke krav som stilles til punktlighet, men selv om dette er kjent er det ikke sikkert det er mulig å bestemme optimalt antall kryssingsspor uten simulering (med kalibrering til empiriske verdier).

Som en raskere metode er det ønskelig å ha en tommelfingerregel som kan benyttes til å bestemme nødvendig antall kryssingsspor på et grovt nivå ut fra en antakelse og forutsetning om at punktligheten blir ivarettatt godt nok.

Det skisseres her noen prinsipper og tommelfingerregler som basert på rutetilbudet kan benyttes til å finne omfang av infrastruktur i form av kryssingsspor.

Når antall kryssingsspor skal bestemmes, er det ulike faktorer som påvirker behovet og som det må tas hensyn til. Noen av de viktige forholdene er listet opp i det følgende:

1. Størrelse på forsinkelse som kan håndteres.
Det bør ikke være for langt mellom en systemkryssing og et reservekryssingsspor, ellers vil et forsinket tog bli påført en stor følgeforsinkelse.
2. Spredning av forsinkelser.
Ved store kjøretider mellom kryssingsspor overføres en forsinkelse fra et forsinket tog med en stor følgeforsinkelse.
3. Ulik utnyttelse av hvert kryssingsspor.
Et kryssingsspor som brukes bare en gang annenhver time trenger ikke å ha like mange reservekryssingsspor som et som brukes to ganger hver time.
4. Rimelig avstand mellom kryssingsspor.
Det bør ikke være så tett mellom kryssingsspor at det nærmer seg dobbeltspor med enkeltsporsparseller (dette gir en begrensning i antall tog på enkeltspor). Det settes som en tommelfingerregel med at det ikke skal være mindre enn 3 minutters kjøretid mellom kryssingsspor.
5. Fornuftig framføringstid for tog.
Økt antall tog gir økt tidsbruk for kryssing og dermed kryssingstap. Se avsnitt 2.6.3.3. Dette begrenser antall tog på enkeltspor når det skal tas hensyn til framføringstid.

Ruteplan bør kunne utvikles med en vilkårlig plassering av ekstratog i forhold til grunnrutetog. Ekstra kryssingsspor må derfor plasseres overalt langs strekningen for å kunne håndtere ekstra-togene. Samtidig er det da ikke i praksis forskjell på å kjøre ett ekstra tog eller to ekstra tog per time. Hvis derimot perioden for ekstratog er lang blir det som et nytt grunnsystem og antall kryssingsspor må dimensjoneres ut fra kriteriet om en 3-deling.

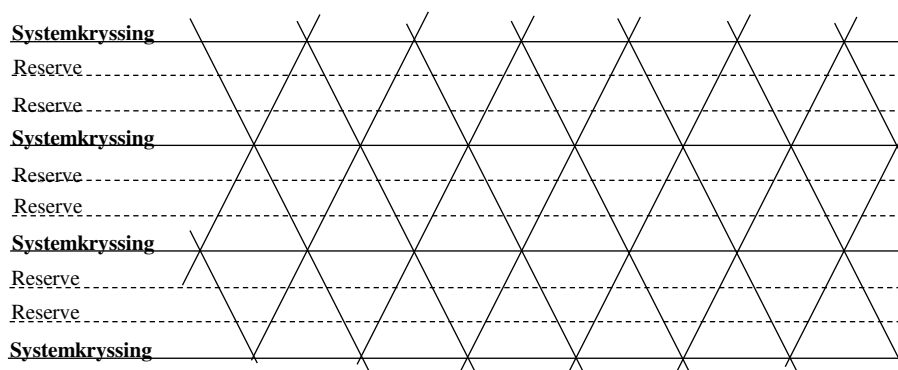
2.6.9.2 Reservespor ved systemkryssinger over lange perioder

Inn mot en systemkryssing bør det være et reservekryssingsspor som kan fange opp en forsinkelse i for et tog. Dette gjelder for begge sider av kryssingen.

En to-deling av strekningen vil gi mulighet til omlegging av kryssinger på begge sider av systemkryssinger, men det vil føre til at det kan være lang kjøretid mellom reservekryssingsspor og systemkryssinger. Små forsinkelser er mer sannsynlige enn store forsinkelser og for best mulig å kunne fange opp små forsinkelser bør et reservekryssingsspor ikke plasseres for langt fra systemkryssingene. En tre-deling med hensyn til kjøretiden vil gjøre at reservekryssingsspor kan plasseres nær systemkryssingene og ikke i midten. Virkning med hensyn til begrensning av spredning av forsinkelser blir da større.

Også selv om det er et relativt høyt togantall vil ytterligere kryssingsspor gjøre håndtering av avvik lettere og en fire-deling eller fem-deling kan håndtere flere nivåer av forsinkelse uten å medføre så store følgeforsinkelser. Imidlertid vil dette føre til en økt investeringskostnad og tettheten av kryssingsspor vil bli så stor at det nærmer seg dobbeltspor. En tre-deling ansees derfor som et fornuftig kompromiss som ivaretar hensyn til omlegging av kryssinger. Se også avsnitt 2.6.8.

En standardutforming av kryssingsspor med reservekryssingsspor kan derfor se ut som vist i Figur 53.



Figur 53. Standardutforming av system- og reservekryssingsspor.

2.6.9.3 Sammenfatning om sporbehov på enkeltspor

Oppsummerende sammenfattes det at:

- Grunnrute
Kjøretid mellom systemkryssinger deles i tre med kryssingsspor. Dvs. at det mellom systemkryssinger for grunnrutetog bør være 2 kryssingsspor i tillegg til systemkryssingssporene selv.
- Ekstratog (rush)
Dvs. at det mellom systemkryssinger for grunnrutetog bør være 4 kryssingsspor i tillegg til systemkryssingssporene selv for grunnrute.
- Godstog
For å sikre framføring av godstog anbefales det at et sted mellom (minimum) halvparten og (ideelt) alle kryssingsspor være lange nok til å håndtere kryssinger med godstog.
- Tid mellom kryssingsspor
Ved kjøretid mellom kryssingsspor på mindre enn 3 minutter anbefales dobbeltspor.

Det er ved mer enn 4-5 tog per time store kryssingstap og stor spredningseffekt av forsinkelser. Selv om kjøretidsavstand mellom kryssingsspor ikke er mindre enn 3 minutter anbefales det dobbeltspor fra 5-6 tog per time (sum begge retninger).

Ved lange strekninger vil potensialet for overført forsinkelse til et tog samt sannsynligheten for at det selv blir forsinket øke. Lange strekninger med høy trafikk kan derfor kreve ekstra forbikjøringsspor, f.eks. tre-spors-stasjoner, for å gi økt robusthet. En rutemodellavhengig analyse vil kunne belyse dette nærmere.

I Tabell 22 er det vist en oppsummering av antall kryssingsspor og avstand mellom disse ved ulike togantall.

Tabell 22. Antall kryssingsspor ved ulikt togantall. »Gr.r.» betyr grunnrutetog. Ekstratog er innsatstog.

	Grunn-system (lang periode)	Ekstra tog (kort periode / rush)	Dimen-sjonerende tid			
Antall tog (tog/time, sum begge retninger)	Tid mellom X-spor (min) (3-deling)	Antall X-spor per times rutetid	Tid mellom system-X (min)	Antall X-spor per times rutetid	Antall X-spor mellom system-X for grunnrute	Kommentar
1	20	-	20	3	2	OK
2	10	-	10	6	2	OK
3	6,7	-	6,7	9	2	OK
4	5	-	5	12	2	OK
5	4	-	4	15	2	Tett mellom X-spor
6	3,3	-	3,3	→	→	Dobbeltspor Tett mellom X-spor. Stort kryssingstap og stor spredning ved forsinkelser.
1 gr.r. + ekstratog	20	10	10	5	4	OK
2 gr.r. + ekstratog	10	5	5	10	4	OK
3 gr.r. + ekstratog	6,7	3,3	3,3	15	4	OK, men tett mellom X-spor
4 gr.r. + ekstratog	5	2,5	2,5	→	→	Dobbeltspor

Tog kan i mange tilfeller framføres rent teknisk med færre kryssingsspor, men det er da med redusert punktlighet.

2.6.10 Grense for antall tog på enkeltspor

Basert på de foregående avsnittene kan det oppsummeres følgende.

Effektiv kjøretid, t/t_0

Med 6 tog per time i stedet for 4 tog/time øker t/t_0 i gjennomsnitt fra ca. 1,04-1,21 til ca. 1,04-1,32 avhengig av forutsetningene. Det betyr et ekstra tidstap på 0 til ca. 6,5 minutter per times minste kjøretid (t_0) ved å gå fra 4 til 6 tog/time.

Tetthet mellom kryssingsspor

Med tredeling av tidsavstand mellom systemkryssinger, 6 tog/time (sum begge retninger) og 3 minutters tidstap uten samtidig innkjør er det $(60/6-3)/3 = 2,3$ minutters kjøretid mellom hvert kryssingsspor. Med samtidig innkjør er det ca. $(60/6-0,5)/3 = 3,2$ minutters kjøretid mellom kryssingsspor. 2,3 minutter svarer ved 100 km/t (inkl. akselerasjons- og retardasjonstap) til ca. 2500 m. Selve kryssingsspoet utgjør kanskje 800 m-1000 m hvis det skal kunne håndteres lange godstog og det

er da nesten like mye kryssingsspor-lengde som linje-lengde. Det ville da være naturlig å bygge dobbeltspor i stedet.

Spredning av forsinkelser

Med 6 tog/time (sum begge retninger) er det 50 % til 100 % større følgeforsinkelse og i størrelsesordenen 10 prosentpoeng lavere punktlighet enn med 4 tog/time (sum begge retninger).

Tettheten av kryssingsspor, kjøretidstapet og sårbarheten ved forsinkelser, punktligheten ved 6 tog/time kontra 4 tog/time samt empiri tilsier at grensen for antall tog på enkeltspor ligger ved 4-5 tog/time i sum begge retninger.

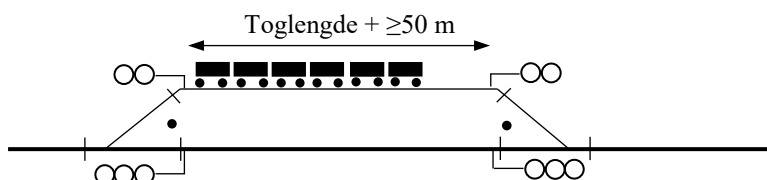
Hvis det var akseptabelt med 6 tog/time på enkeltspor skulle det per definisjon forventes at punktligheten var (minst) 90 %. Ved å redusere antall tog til 4 tog/time i sum begge retninger ville det forventes at punktlighetsgrensen ville forskyves til fra 4 minutter med 6 tog/time til ca. $4 \cdot 1,5 = 6$ minutter ved 4 tog/time. Det skulle (med eksponentialfordelt forsinkelse) tilsi en punktlighet på ca. $1 - e^{-(0,58 \cdot 6)} = 97\%$. Dette er i praksis ikke erfaringen fra enkeltspor med 4 tog/time og det konkluderes derfor, at det ikke generelt er tilrådelig med 6 tog/time på enkeltspor, bortsett fra f.eks. korte strekninger etter en dobbeltsporstrekning inn mot en endestasjon eller en stasjon med margin ved opphold.

2.6.11 Utforming av kryssingsstasjoner

På en stasjon på enkeltspor kan toget stå mellom utkjørsignal og sporfeltet ved middel ved bakenden av toget så lenge bakerste aksel ikke er inne i sporfelt ved middel og så lenge toget har belagt sporfelt foran (i kjøreretningen) utkjørsignal i motsatt retning (hvis ikke kan tog i motsatt retning ikke få stilt togvei ut gjennom vekselen).

Er det ikke samtidig innkjør er utkjørsignalet ved sporfeltet ved middel, og det betyr at toget da må kunne stå mellom utkjørsignalene, slik det er vist i Figur 54.

I tillegg til togets nominelle lengde må det regnes med et tillegg på minst 50 m til unøyaktig bremsing, sikt til signalet og strekk (mot kjøreretningen etter bremsing) hvis det er godstog. En lengre margin enn 50 m vil gjøre at det kan kjøres raskere fram til stopp og det blir da mindre tidsbruk i kryssingen.



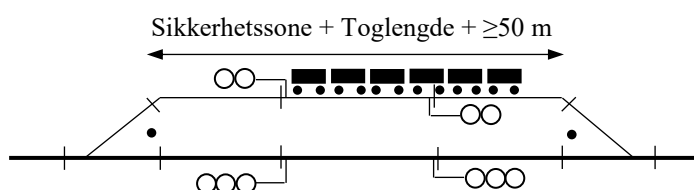
Figur 54. Lengde av kryssingsspor middel-middel uten samtidig innkjør.

Skal kryssingssporet håndtere et 750 m langt tog må avstanden middel-middel være minst lik $50 \text{ m} + 750 \text{ m} = 800 \text{ m}$.

Med samtidig innkjør er det en sikkerhetssone i hver ende. Denne kan etableres med en gitt avstand etter utkjørsignalet eller med avledende sporveksel. Prinsippet er illustrert i Figur 55 henholdsvis Figur 56.

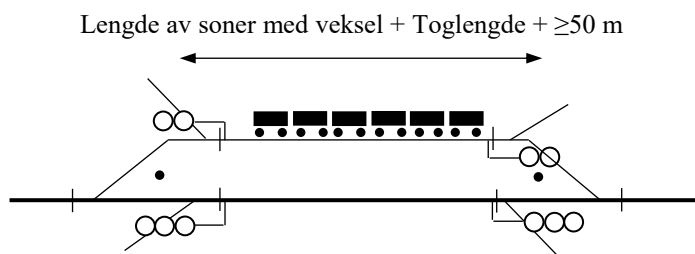
Tog kan stå slik at de har bakenden inne i sikkerhetssonen som er i motsatt regning, så lenge bakerste aksel ikke er inne i sporfelt ved middel og sporfeltet foran (i kjøreretningen) utkjørsignal i motsatt retning. Det betyr at det med lange tog (lengre enn sikkerhetssonen) er mulig å stå med fronten ved eller litt før utkjørsignal og bakenden ved middel.

Sikkerhetssonen i togets kjøreretning kan ikke benyttes til å plassere toget. Hvis det er en sikkerhetssone på 200 m fra utkjørsignal til middel (framover i kjøreretningen) må avstanden fra middel til middel økes med disse 200 m. Er et tog f.eks. 750 m langt, må avstand middel-middel være minst $200 + 750 + 50 = 1000 \text{ m}$.



Figur 55. Lengde av kryssingsspor middel-middel ved samtidig innkjør og sikkerhetssone.

Er sikkerhetssone etablert med avledende sporveksel kan kryssingssporet være kortere. Prinsippet er illustrert i Figur 56. Lengden blir som omtrent som når det ikke er samtidig innkjør, men det må være plass til den avledende sporvekselen med 30-40 m (i her ende). Med et 750 m langt tog er minste avstand middel-middel knapt 900 m.



Figur 56. Lengde av kryssingsspor middel-middel ved samtidig innkjør og avledende sporveksel.

Innkjørsignal til stasjonen plasseres 200 m før veksle. Hvis vekslen er 100 m lang er samlet lengde mellom innkjørsignaler for et 750 m langt tog og samtidig innkjør med 200 m sikkerhetssone minst ca. $200+100+1000+100+200=1600$ m.

2.6.12 Tiltak for å øke kapasitet på enkeltspor

Kapasitet kan økes gjennom ulike tiltak. Omfang (og pris) for å øke antall tog er ulik. Noen krever investering i ny infrastruktur og koster penger, andre krever endring i ruteplaner og koster tid (økt kjøretid) eller kvalitet av rutetilbud (færre stopp eller dårligere tidsfordeling av avganger).

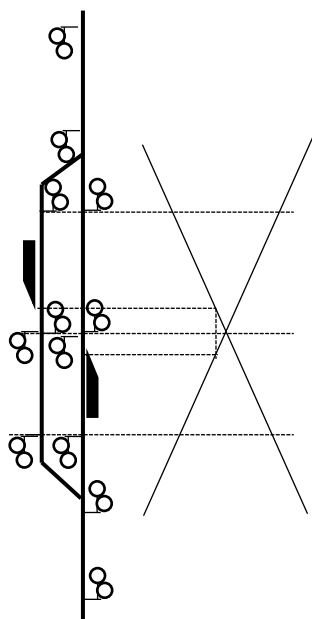
- Økt hastighet
 - Færre stopp
 - Ny og kortere trase med økt hastighet
 - Kurveutretting
 - Endret overhøyde
 - Fjerne planoverganger (potensielt begrensende)
 - Bruke krengetog
- Samtidig innkjør
- Nye kryssingsspor
- Forlengede kryssingsspor for å redusere tidsbelegg med lange godstog
- Kjøre tog i puljer (ikke en forutsetning som kan brukes generelt, men kan være en mulighet i en konkret situasjon)
- Kjøre tog i puljer og etablere blokinndelinger på linjen mellom stasjoner

2.6.13 Flygende kryssinger

Tidstap ved kryssing på kryssingsstasjoner kan elimineres eller reduseres ved å etablere «flygende kryssinger» på korte dobbeltsporsparseller. Kryssingen av tog skjer da i hvert sitt spor midt på parsellen.

For at tog ikke skal trenge å bremse må parsellen være så lang at et tog som kommer inn har grønt signal hele veien igjennom parsellen. Når toget er ved siste blokk må forsignalet mot utkjør være grønt. Dvs. at toget i motsatt retning bør være ved samme blokk, slik at det har vært tid til å sette ny togvei fra toget passerte starten av parsellen (utkjørsignal i motsatt retning). I tillegg må det være grønt allerede når toget er ved siktpunkt til forsignal til utkjør.

Figur 57 viser det generelle forløpet for flygende kryssing.



Figur 57. Flygende kryssing.

Den fysiske kryssingen bør da skje ved midten av strekningen som utgjør én blokk pluss sikkerhetsavstand til middel. Minste lengde av parsellen er derfor to blokker pluss to ganger sikkerhetsavstand. Ved 130 km/t er blokk lengden minst 1,22 km (se [39]) og gjennomkjørtiden i en blokk er da bare litt over et halvt minutt. Ved to blokker er lengden ca. $2 \cdot 1,22 = 2,4$ km. Med ca. $2 \cdot 250$ m i sikkerhetsavstand og utstrekning av veksler blir lengden av kryssingssporet ca. 2,9 km.

For å ha litt margin som sikrer effektiv bruk av parsellen bør den være minst en blokk til i hver retning. Ved fire blokker totalt er lengden ca. $4 \cdot 1,22 = 4,9$ km. Med ca. $2 \cdot 250$ m i sikkerhetsavstand og utstrekning av veksler blir lengden ca. 5,4 km.

For å utnytte en dobbeltsporsparsell best mulig bør hastighet i veksler til avvik ikke være vesentlig lavere enn strekningshastigheten.

Hvis det ikke er full lengde på dobbeltsporsparsellen må tog redusere hastigheten og det blir da et tidstap sammenlignet med full hastighet. Samtidig kan det uansett være stor besparelse sammenlignet med ordinær kryssing.

Konkret tidstap ved redusert hastighet i veksler til avvik og ved eventuell bremsing må beregnes.

Hvis det er stopp for persontog kan parsellen ikke benyttes til flygende kryssing. En dobbeltsporsparsell vil allikevel øke robustheten siden tog kan være litt forsinket og allikevel kjøre inn til kryssing uten å påvirke neste tog.

2.7 Vendeplanlegg

Det beskrives i det følgende kapasitetsforhold ved vending på stasjoner.

2.7.1 Vendespor på stasjon

Vending av tog skjer på eller ved endestasjon der toget stopper og snur retning. Det skjer sjelden fysisk vending av selve toget og det menes i denne håndboken vending av *kjøreretning*. Tiden som i ruteplanen må settes av til vending inneholder buffertid for toget hvis det kommer forsinket samt en teknisk snutid for å klargjøre materiellet til nytt tognummer og kjøring i motsatt retning.

Det er en maks-grense for antall tog per time som kan håndteres på to spor. Dette belyses i det følgende.

Snutiden på en stasjon består av en teknisk tid for å snu toget samt en buffertid for å absorbere forsinkelser.

Buffertiden settes til minimum 5 minutter. Dette dekker forsinkelse inn til stasjonen og forsinkelser som oppstår under vending. Margin for forsinkelser som kan oppstå under vending settes til 1-2 minutter. Margin for forsinkelse inn til stasjonen er da 3-4 minutter. Med eksponentialfordeling og 90 % punktlighet er det mellom $1 - e^{(-0,58 \cdot 3)} = 82\%$ og $1 - e^{(-0,58 \cdot 4)} = 90\%$ av togene som i utgangspunktet kan avgå rettidig selv om det er forsinkelse inn. For å skape robusthet for større forsinkelser må det regnes med lengre buffertid ved vending enn 5 minutter, men verdien på 5 minutter benyttes for å illustrere maksimalt kapasitet ved ulike løsninger for vendeplanlegg samt den prinsipielle forskjellen mellom vending ved plattform og vending bak plattform. Med økt krav til snutid øker behov for plattformspor.

Med én lokfører som skal rigge ned, gå fra en ende av toget og rigge opp igjen kan det for tekniske snutid som tommelfingerregel regnes med 7 minutter.

Teknisk snutid vil variere med materiell og med om det er enkeltsett eller dobbeltsett (lengre gangavstand og -tid). Tabell 23 viser minste snutider slik det gjelder for dagens situasjon.

Tabell 23. Standardverdier for minste, tekniske vendetider for ulikt materiell, per 2015.

Materielltype	Vendetid	
	Enkeltsett	Dobbeltsett
69	9,5 min	10,5 min
72	6 min	7 min
73	6 min	8 min
75	5 min	7 min
92	4 min	6 min

Med to lokførere der den ene lokføreren går om bord i det som blir fronten ved avgang og begynner å rigge opp så snart den ankommende lokføreren har rigget ned, kan det regnes med 4 minutters teknisk snutid.

Situasjonen med én lokfører er (i Norge) den mest vanlige og legges i normale situasjoner til grunn for beregninger.

Vending ved stasjon innebærer da at det er nødvendig med en oppholdstid ved plattform på minst 7 minutters teknisk snutid + 5 minutters margin = 12 minutter. Samtidig vil plattformen måtte være ledig 2-3 minutter før ankomst av toget (slik at tog får togvei helt inn) og den vil være opptatt ca. 1 minutter etter avgang (inntil togvei er utløst). Det betyr at en plattform er opptatt i ca. 16 minutter per tog som snur.

Det gir i utgangspunktet mulighet til å snu opp til 3 tog per time per plattform (avrundet til hele antall tog per time), slik at ved behov for vending av mer enn tre tog/time er det altså nødvendig å forutsette mer enn én plattform.

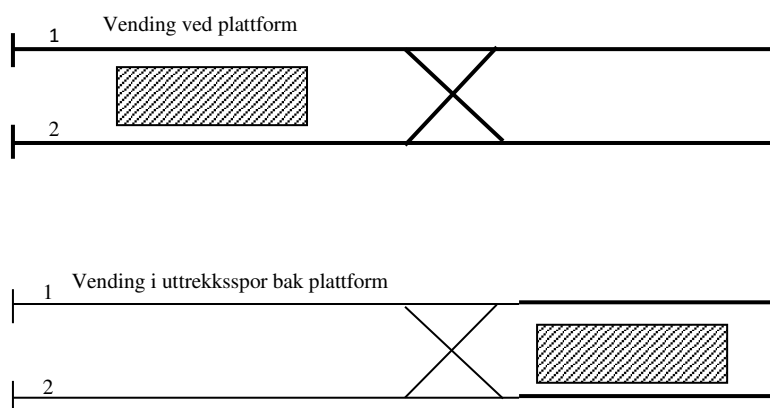
Andre verdier av teknisk snutid og/eller krav til buffertid kan gi andre vendekapasiteter.

Selv om det er bare ett tog per time kan det være nødvendig med to plattformspor for å vende tog. Dette skyldes at krav til takting kan gi lange oppholdstider og økt sporbehov. Se avsnitt 2.7.6 som omtaler denne problemstillingen.

For å ta høyde for tidsbruk for takting må det regnes med at snutiden kan være inntil summen av minste snutid pluss intervall mellom avganger. I en tidlig dimensjoneringsfase - der ruteplaner ikke er kjent - bør det angis et intervall for materiellbehovet basert på usikkerheten om oppholdstider på endestasjonene.

Se også avsnitt 2.9.1 som omtaler øking av oppholdstid for å passe med takting av linjer.

Tog kan vendes ved eller bak (etter) plattform som illustrert i Figur 58 der de to prinsipielle løsningene er skissert.



Figur 58. Vending ved og bak plattform.

Forskjellen mellom vending ved plattform og vending bak plattform forklares i det følgende.

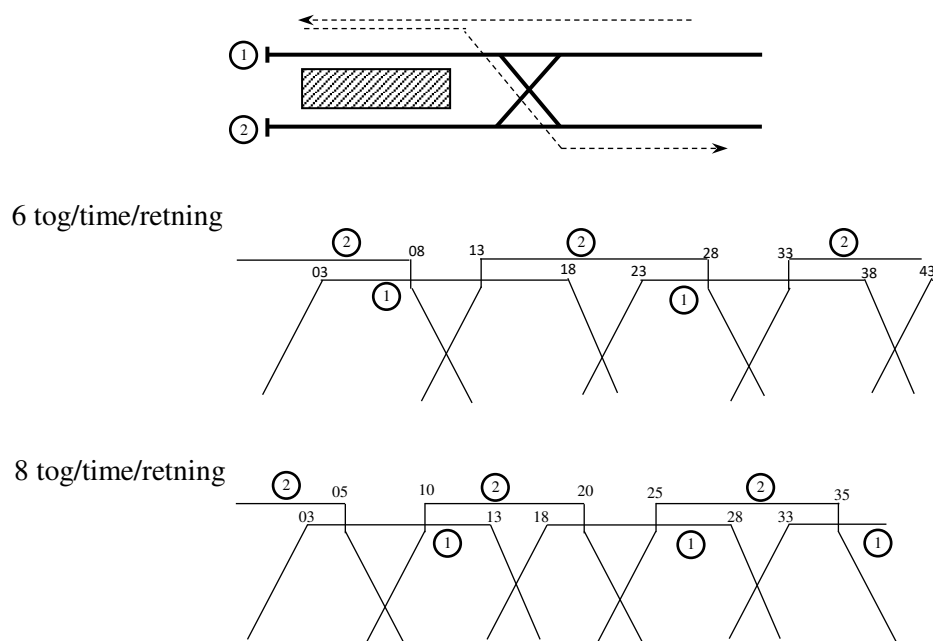
2.7.2 Vending ved plattform

Det vises i det følgende hva som er tidsbelegg ved vending ved plattform. Gjennomgangen forutsetter at det er ankomst av tog med jevne intervaller og at tog kan returnere etter en minste, tekniske oppholdstid. Krav til lengre oppholdstider for å passe inn i et annet taktmønster kan gjøre at resultat ikke er gyldig. Det samme gjelder hvis det er trafikk fra flere linjer slik at jevne intervaller ikke kan forutsettes.

Gjennomgangen er derfor gyldig som en illustrasjon av maksimalkapasitet per linje.

Det er jf. omtalen i avsnitt 2.7.1 forutsatt at en plattform er opptatt i ca. 16 minutter per tog som snur, inkl. belegg før ankomst og etter avgang. I tillegg til tilstrekkelig ledig tid ved plattform er det viktig å sikre at det ikke er konflikter mellom tog- eller skifteveier i forbindelse med forflytting av materiellet. Konflikt i sporkryss kan oppstå mellom tog inn i spor 2 og tog ut fra spor 1 til motsatt spor (jf. sporplan i Figur 59).

Ankomst- avgangstider ved plattform er låst ut fra ruteplanen. Dvs. at et (tilstrekkelig) forsinket tog inn i spor 2 enten må forsinke toget ut i spor 1 eller vente på utsiden av stasjonen til tog 1 har kjørt, og derved bli ytterligere forsinket til ankomst. Figur 59 viser vending med 6 tog/time/retning henholdsvis 8 tog/time/retning.



Figur 59. Tidsbelegg av spor ved vending ved plattform. Stiplede linjer på sporskisse viser materiellbevegelser ved vending i spor 1.

Minste oppholdstid er satt til 7+5 minutter inkl. margin. Samlet belegg inkludert margin er satt til $12+3+1=16$ minutter. Med to spor kan det da vendes inn til $2*3=6$ tog/time. Med 6 tog/time/retning og to spor kan hvert spor belegges i inntil 20 minutter. Oppholdstiden i sporet er da inntil $20-3-1=16$ minutter. For å ha litt margin mellom tog som skal ut og inn i samme spor settes oppholdstid til maks 15 minutter (belegg i kryss for tog til spor 2 f.eks. fra 08-09 og fra 10-13, dvs. margin fra 9-10).

Hvis tog til spor 2 er forsinket kan det være 5 minutter forsinket (f.eks. fra minuttall 13 til 18) uten å påvirke tog ut fra spor 1. Er det mer enn 5 minutter forsinket må det vente ute på linjen og komme inn når tog fra spor 1 har frigitt krysset. Tog som skulle være inne 13 kan da komme inn 20 og blir da 7 minutter forsinket. Med $15-7=8$ minutters margin i vending skal det da også være mulig å kjøre rettidig ut igjen selv om toget til spor 2 er inntil 8 minutter forsinket. Er tog til spor 2 mellom 5 og 7 minutter forsinket trenger det ikke å vente på at tog fra spor 1 kjører ut.

Med 8 tog/time er det 15 min mellom ankomst i hvert spor. Plattformen må frigi 3 minutter før nest tog kommer inn og det regnes med 1 minutt for å frigi plattform og 1 minutt margin mellom tog. Maksimal oppholdstid blir da redusert til ca. $15-3-1-1=10$ minutter, hvilket betyr at marginen er $10-7=3$ minutter per tog ved vending.

Hvis tog til spor 2 er forsinket kan det være 3 minutter forsinket (f.eks. fra minuttall 10 til 13) uten å påvirke tog ut fra spor 1. Er det mer enn 3 minutter forsinket må det vente ute på linjen og komme inn når tog fra spor 1 har frigitt krysset. Tog som skulle være inne 10 kan da komme inn 15 og blir da 5 minutter forsinket. Med bare 3 minutters margin i vending blir toget 2 minutter forsinket ved avgang igjen. Dette vurderes som for sårbart og det konkluderes derfor med at 8 tog/time/retninger for høy belastning.

Som tommelfingerregel har en stasjon med to plattformspor og vending ved plattform en maksimal kapasitet på 6 tog/time/retning.

Selv med ett tog per time kan det være nødvendig med to spor til plattform. Se avsnitt 2.7.6. Verdien på 6 eller 8 tog per time ved to vendespor er derfor en maksimalverdi.

Krav fra ruteplan til tidspunkter for ankomst og avgang (takting i forhold til andre linjer) kan medføre konflikter som gjør at sporplanen bør utformes med større fleksibilitet enn i en minimumsløsning og at sporbehovet dermed er større.

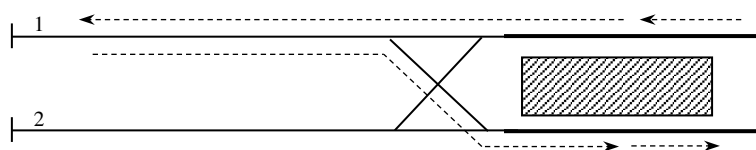
Med to plattformer og vending ved plattform er det mulig å vende inntil 6 tog/time/retning. Togene ankommer vekselvis til spor 1 og 2 og avgår igjen fra samme spor de ankommer til.

2.7.3 Vending bak plattform

Ved å flytte sporkrysset bak plattformen, som vist i Figur 60, og samtidig legge inn en buffertid på opphold på plattformen (i begge retninger) vil et forsinket ankommende tog ikke påvirke et avgående tog.

Ved vending bak plattform på eget uttrekksspor må det først gjøres en sluttvisitasjon av toget før det kan skiftes ut på uttrekksspor et (sikre at det ikke er passasjerer igjen i toget før det kjøres til

uttrekksspor som ikke har plattform). For at materiell kan framføres må det være etablert en togvei, dvs. en strekning med tillatelse til å kjøre for det aktuelle toget. Når materiell kjøres i en togvei sies det at det kjøres som *tog*. For å kjøre tog mellom to stasjoner må det være togvei. Hvis det ikke er etablert en togvei kan det allikevel foretas forflytting av materiell, men da skjer det som *skift*. For skift gjelder det ikke samme garanti for fritt spor og skift kan derfor ikke kjøres raskere enn 40 km/t og bare innen for stasjonsgrensene (mellom innkjørssignaler). Det er ekstra tidsbruk ved overgang fra kjøring som tog til kjøring som skift og dette må tas hensyn til når det beregnes tidsbelegg og togfølgetider. Sluttvisitasjon og tidsbruk for overgang til skift (kommunikasjon med togleder eller togekspeditør) settes som standardverdi til 2 min.



Figur 60. Uttrekk og vending bak plattform. Stiplede linjer viser materiellbevegelser for vending i spor 1.

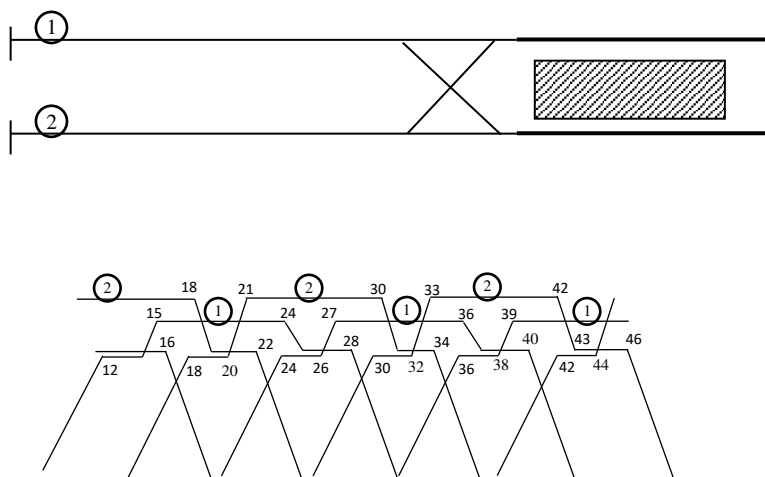
I tillegg til margin i vending på endestasjonen er det nødvendig at det er tilstrekkelig margin mellom tog slik at ankomst av et tog ikke forsinkes avgangen av neste tog. Med vending bak plattform vil konflikter mellom tog/skift mellom de to sporene ikke i samme grad forplante seg mellom to tog siden oppholdstid og buffertid kan fordeles mellom plattform og uttrekksspor. På denne måten vil den relative plassering av belegg i sporkrysset kunne justeres slik at det er færre konflikter.

Løsningen tillater vending av 8 tog/time/retning. I det følgende forklares dette ved å vise hvordan marginer blir ved togantall *mer* enn 8 tog/time sammenlignet med situasjonen med 8 tog/time.

Ved f.eks. 10 tog/time/retning er det 6 minutter mellom hvert tog i samme retning. Alle tog kommer inn til plattform i spor 1 og alle tog avgår fra plattform i spor 2. For at et tog skal kunne kjøre inn til plattform må plattformen være fri 2-3 min før toget ankommer. I tillegg er oppholdstiden inkludert sluttvisitasjon 2 minutter og sporet blir frigitt ca. 1 minutt etter avgang fra sporet. I alt belegger et tog da et spor i $3+2+1=6$ minutter. 6 minutters-intervall er altså det maksimale som kan oppnås med vending bak plattform. I tillegg kommer hensyn til robusthet mot forsinkelser.

En måte å turnere materiell på er vist i Figur 61. Hvert uttrekksspor må håndtere vending av ett tog på maks $2 \cdot 6=12$ minutter inkludert belegg i sporkryss. Med 1 minutt belegg i sporkryss og 1 minutt margin mellom tog fra og til samme spor er det $12-1-1-1=9$ minutters oppholdstid i uttrekkssporet.

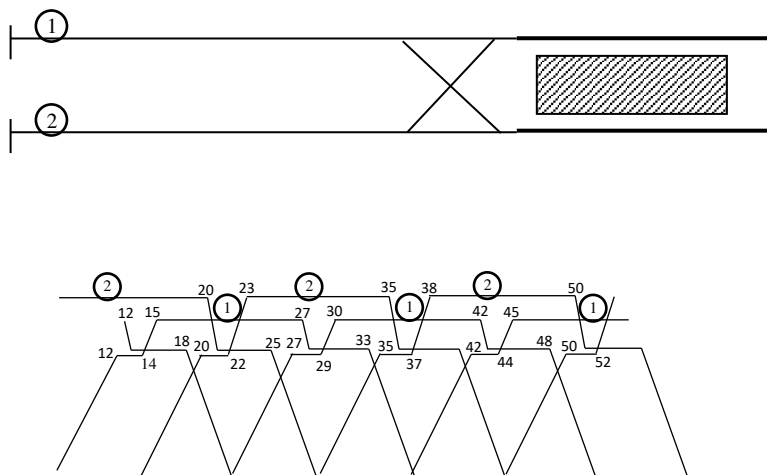
Oppholdstiden i plattformspor kan ikke være lengre enn intervallet mellom tog minus beleggstiden fra uttrekksspor, tiden det tar for et tog å frigi plattformsporet og en margin mellom tog i plattformspor. Dette anslås til $6-1-1-1=3$ minutter. Avgang må være 2 minutter før neste tog skal inn på plattformsporet (1 minutt frigiving og ett minutt margin).



Figur 61. Tidsbelegg i spor ved vending bak plattform. 10 tog/time/retning.

Hvis et tog til spor 2 er forsinket kan det være 3 minutters forsinket uten at det overføres til avgang for tog fra spor 1 (f.eks. fra minutt 21 til 24). Er toget mer enn 3 minutter forsinket må det vente ved plattform. Toget som skulle vært i uttrekksspor 2 på minuttall 21 må vente og kommer først 26, dvs. 5 minutter forsinket. Dette forsinket etterfølgende tog på linjen. Med $9-7=2$ minutters margin i vendinger blir toget 3 minutter forsinket til avgangsspor. Med 3 minutters oppholdstid i avgangsspor er det 1 minutt margin, og toget blir $3-1=2$ minutter forsinket ved avgang. Samlet margin mot forsinkelse er 2 minutter i vendespor og 1 minutt i plattformspor, dvs. i sum 3 minutter.

Med 8 tog/time/retning er det 8 eller 7 minutter mellom ankomster. Turnering er vist i Figur 62. Oppholdstiden per vendespor blir maksimalt $2 \cdot 60 / 8 - 1 - 1 = 12$ minutter. Tog må avgå fra plattformsporet senest 2 minutter før neste tog kjøres fra vendesporet.



Figur 62. Tidsbelegg ved vending bak plattform, 8 tog/time/retning.

Hvis tog inn i spor 2 er forsinket er det 4 minutters margin før det påvirker tog ut i spor 1. Er toget mer enn 4 minutter forsinket må det vente ved plattform på at tog fra spor 1 kjører ut. Toget som skulle være inne på vendesporet på minuttall 23 kommer da inn 29 og er 6 minutter forsinket inn på vendesporet. Siden det er 5 minutters margin i vendesporet kommer det til plattformsporet 1 minutt forsinket. På plattformsporet er det 3 minutters margin slik at toget kan gå igjen rettidig. Totalt er det 5 minutters margin i vendesporet og 3 minutters margin ved plattform, dvs. 8 minutters samlet margin mot forsinkelse. Ved 10 tog/time/retning var det bare 3 minutters samlet margin.

Marginen med 8 tog/time/retning og vending bak plattform er større enn ved vending ved plattform (6 minuttene margin, se avsnitt 2.7.2) og vurderes derfor å være akseptabelt.

En sporløsning med kryss bak plattform og vending i uttrekksspor settes derfor som en tommelfingerregel til å ha maksimal kapasitet på 8 tog/time/retning.

2.7.4 Oppsummering om vending ved og bak plattform

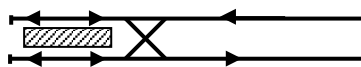
Kapasiteten per vendemodul avhengig av om det er vending ved eller i uttrekksspor bak plattform kan som tommelfingerregel oppsummeres som i Figur 63.

Det er ved vending ved plattform forutsatt (jf. avsnitt 2.7.2) at effektivt belegg av plattformspor er 16 minutter. Det er ved vending i uttrekksspor bak plattform sett på marginer mellom kryssende togveier (jf. avsnitt 2.7.3) og vurdert omfanget av buffertid. 10 tog/time/retning gir høy sårbarhet for forsinkelser mens 8 tog/time gir høyere margin mot overføring av forsinkelse mellom tog inn og tog ut enn vending ved plattform.

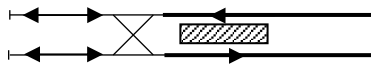
Ved vending ved plattform regnes det som tommelfingerregel med inntil 6 tog/time/retning. Med vending bak plattform regnes det som tommelfingerregel med inntil 8 tog/time/retning.

Selv med ett tog per time kan det være nødvendig med to spor til plattform. Se avsnitt 2.7.6 for mer omtale av denne problemstillingen. Verdien på 6 eller 8 tog per time ved to vendespor er derfor en maksimalverdi.

Vending ved plattform: Maks 6 tog/time/retning



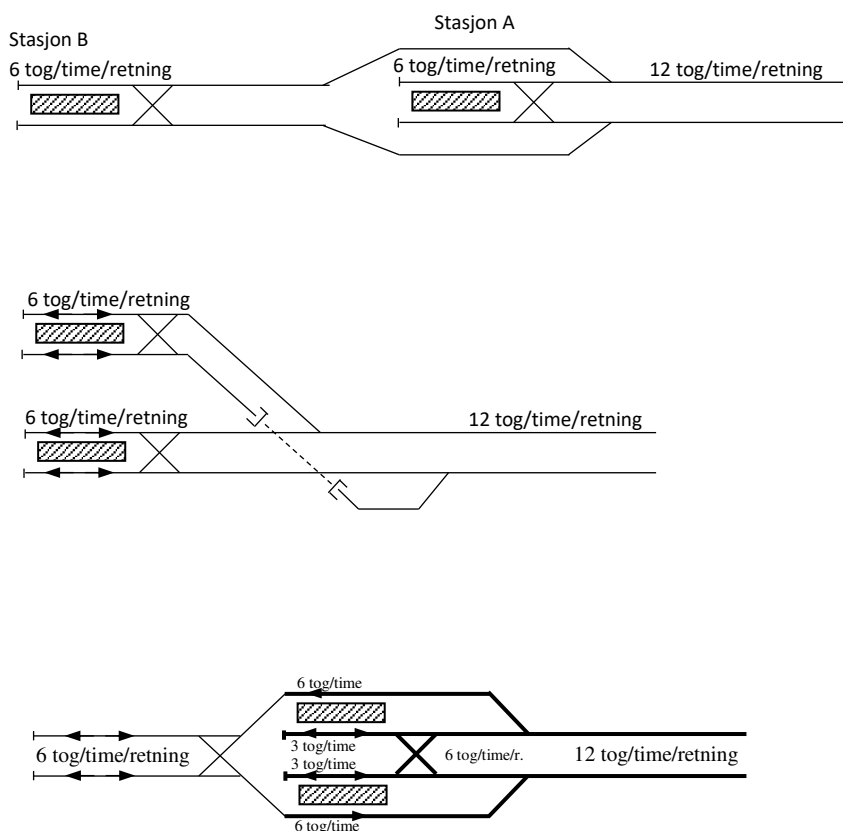
Vending bak plattform: Maks 8 tog/time/retning



Figur 63. Maksimal anbefalt kapasitet per vendemodul ved vending ved eller etter plattform.

2.7.5 Vendeanlegg i moduler

Hvis det er behov for å vende flere tog enn 6 eller 8 tog/time/retning kan vendestasjoner kombineres av moduler (jf. gjennomgangen over) som vist i Figur 64, enten i serie på flere stasjoner (nedtrapping av tilbud) eller i parallell på samme stasjon.



Figur 64. Økt vendekapasitet på én stasjon eller nedskalering av frekvens langs linjen.

Bruk av plattformspor må tilpasses så hver linje benytter samme plattform for alle avganger.

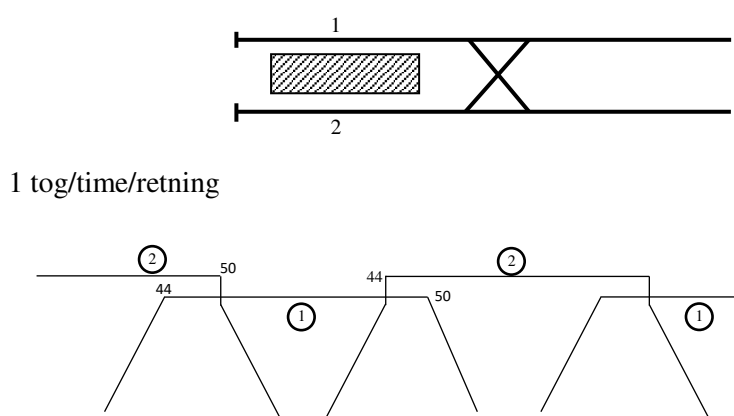
Selv om det ytre anlegget har en teoretisk kapasitet på 8 tog/time per retning vil taktingen av 8 tog mellom et stivt 10-minutters-system ikke kunne gi en stiv 8/7/8/7-minuttersfordeling per halvtime uten å komme i konflikt med 10-minutterssystemet, men kan resultere i en fordeling på 8/7/4/11-fordeling. Dette vil stille andre krav til vendekapasiteten enn det stive 8/7-mønsteret, og det er derfor ikke mulig å realisere med 2 uttrekksspor, men vil kreve 3 uttrekksspor. Med to uttrekksspor må trafikken reduseres til 6 tog/time/retning for å takte trafikken på en slik måte at det er 10-minuttersintervaller på begge vendeanlegg.

Oppsummerende må det i tillegg til vendekapasiteten per modul kontrolleres at

- takting mellom alle linjer gir en tidsmessig fordeling av ankomst og avganger på hvert spor som ikke skaper konflikt på de enkelte sporene og resulterende ankomst og
- ankomst- og avgangstider ikke skaper konflikter i sporkryssene.

2.7.6 Antall vendespor per linje

I noen tilfeller er det lange snutider for å få returavgangen til å passe med et ønsket minuttall for avgang. Det kan hende at et tog kommer på minuttall 44 hver time og neste tog ut må gå på minuttall 50 hver time, mens minste nødvendig snutid er 12 minutter. Hvert tog får da en oppholdstid som er 66 minutter mens intervallet er 60 minutter. Det må da være to tog på stasjonen samtidig og det blir da behov for to spor på stasjonen, selv om det bare er ankomst og avgang en gang per time. Dette er illustrert i Figur 65, der det sees at det er overlapp mellom tog som oppholder seg i spor 1 og 2.



Figur 65. Belegg i spor ved vending ved plattform.

Hvis intervallet er 30 minutter mellom tog vil det også være ankomst minuttall 14 og avgang minuttall 20. Hvis det er samme linje slik at materiell kan turneres om hver andre eller det er ulike linjer med samme materiell som turnere fritt, kan tog som kommer inn 44 kan avgå 20 og tog som kommer inn 14 kan avgå 50. Det er da overlapp i periodene 44-50 og 14-20. Det er fremdeles mulig å klare dette med to spor.

Det må sikres at et tog kan stå i et vendespor i minst den minste snutiden, men det må også være mulig å stå så lenge som en vendetiden *pluss* en periode/intervall mellom tog. Det siste kan bli nødvendig hvis avgangstiden etter vending er så tidlig at vendingen ikke er klar.

Hvis teknisk snutid er 10 minutter og det ønskes 2 minutter mellom tog blir belegget 12 minutter per vendende tog. Er frekvensen 4 tog per time er samlet belegg $12 + (60/4) = 27$ minutter. Det krever da $27/15 = 1,8 \approx 2$ spor. På denne måten kan det utarbeides en tabell som viser sporbehov per linje avhengig av antall tog som skal snu per time.

Vendesportsbehov per linje er vist i Tabell 24. (Tabellen viser inntil 17 tog/time per linje hvilket isolert sett ikke er realistisk, men verdiene er tatt med for å vise utviklingen i behov for vendespor per linje.)

N	Periode (min)	Antall spor
1	60,00	2
2	30,00	2
3	20,00	2
4	15,00	2
5	12,00	2
6	10,00	3
7	8,57	3
8	7,50	3
9	6,67	3
10	6,00	3
12	5,00	4
13	4,62	4
14	4,29	4
15	4,00	4
16	3,75	5
17	3,53	5

Tabell 24. Antall vendespor per linje ved ulik frekvens.

Eksempel

En stasjon trafikkeres per retning med 4 linjer med hver 15-minuttersintervall, dvs. $N=4$ tog/time/linje. To av linjene skal snus på stasjonen og to linjer kjører igjennom. Ut fra tabellen sees det at for $N=4$ er antall vendespor per linje lik 2.

Antall vendespor er da $2 \text{ linjer} \cdot 2 \text{ spor/linje} = 4 \text{ spor}$.

2.7.7 Plassering av vendeanlegg

Vendeanlegg bør så vidt mulig legges i midten av en stasjon for å hindre kryssende togveier.

Normalt ville togene skiftes til et vendespor. Dersom det ikke finnes tilstrekkelig vendesporkapasitet på den aktuelle stasjonen, kan det oppstå behov for å kjøre videre som tomtog til en annen stasjon som har tilstrekkelig kapasitet for vendeoperasjonen. Tomtogtrafikk er imidlertid både materiell- og personellkrevende uten at disse kostnadene gir noen inntekter. I utgangspunktet bør derfor stasjoner der tog skal starte eller ende, ha tilstrekkelig vendekapasitet.

Vending ved plattform øker materiellutnyttelsesgraden siden tidsbehovet for skifte- eller tomtogtrafikk utgår. Motsatt kan vending i hensettingsområder øke materiellbehovet og føre til økt behov for materiell som i sin tur fører til økt hensettingsbehov. Økt materiellbehov fører også til økte driftskostnader.

2.8 Robusthet

2.8.1 Punktlighet og marginer

Marginen mellom tog kan beregnes ut fra at samlet utnyttelse ikke skal være større enn en viss grense, $U_{\max}$, som typisk er 60 %. Dvs. at buffertiden, T_b , ikke skal utgjøre en større andel enn $U_{\max}$ av summen $T_f + T_b$. Dette betyr igjen at

$$T_b = \frac{(1 - U_{\max})}{U_{\max}} T_f$$

Hvis det er mange raske tog som kjører forbi det langsomme toget vil buffertiden kunne bli lav målt i absolutt tid. Det kan derfor i sammenheng med godstog være mer hensiktsmessig å benytte en viss absolutt buffertid.

2.8.2 Spredning av forsinkelser

2.8.2.1 Dobbeltspor med ensartet trafikk

Buffertiden mellom tog kalles T_b . Rutemessig togfølgetid er T_f . En forsinkelse f_0 for tog 0 sprer seg til tog 1 med verdien $f_1 = f_0 - T_b$. Forsinkelse for tog 2 er lik $f_2 = f_1 - T_b$ etc. Forsinkelsen sprer seg M ganger slik at $f_0 - MT_b = 0 \Leftrightarrow M = f_0/T_b$. Summen av forsinkelser er lik $(f_0) + (f_0 - T_b) + (f_0 - 2T_b) + \dots + 0$ og kan da uttrykkes som (tilnærmet med forutsetning om at N er et heltall):

$$f = \sum_{i=0}^M (f_0 - iT_b) = \sum_{i=0}^M f_0 - T_b \sum_{i=0}^M i = (M + 1)f_0 - T_b \frac{(M + 1)}{2} M$$

$$f = \left(\frac{f_0}{T_b} + 1\right) f_0 - T_b \frac{\left(\frac{f_0}{T_b} + 1\right)}{2} \frac{f_0}{T_b} = \frac{1}{2} \frac{f_0^2}{T_b} + \frac{1}{2} f_0$$

Siden $T_b = (1 - U)T_f$ og $T_f = T_f * U$ fås at $T_b = (1 - U)(T_f/U)$. Da finnes, uttrykt ved teknisk togfølgetid T_f , at

$$f = \frac{1}{2} \frac{U}{1 - U} \frac{f_0^2}{T_f} + \frac{1}{2} f_0$$

For veldig små verdier av M stemmer ikke tilnærmingen med at M er et heltall. Når $M = f_0/T_b < 1$ er egentlig $M = 0$ slik at $f = f_0$. Dette svarer til at $U < T_f/(f_0 + T_f)$ I grensen $U = 0$ er $f = f_0$ mens formelen gir at $f = 1/2 f_0$.

Med et numerisk eksempel med $T_f=1,5$ minutt og $f_0=5$ minutter er grensen for at $M=0$ lik $1,5/(1,5+5)=23,1\%$. Ved 23 % gir formelen $f=4,99$ minutter mens $f=f_0=5$. Med 70 % utnyttelse er faktisk sum 22,00 minutter mens formelen gir 21,94 minutter eller -0,25 % avvik.

Uttrykket fås derfor samlet til:

$$f = \begin{cases} f_0 & , U \leq \frac{T_f}{T_f + f_0} \\ \frac{1}{2} \frac{U}{1-U} \frac{f_0^2}{T_f} + \frac{1}{2} f_0 & , U > \frac{T_f}{T_f + f_0} \end{cases}$$

Det sees at summen av forsinkelser går mot uendelig når utnyttelsen går mot 100 %. Det sees også at summen av forsinkelser avhenger av kvadratet på initialforsinkelsen, slik at det for punktligheten er viktig å unngå store initialforsinkelser.

Spredningsfaktoren, S , definert som $S=f/f_0$ blir

$$S = \frac{f}{f_0} = \begin{cases} 1 & , U \leq \frac{T_f}{T_f + f_0} \\ \frac{1}{2} \frac{U}{1-U} \frac{f_0}{T_f} + \frac{1}{2} & , U > \frac{T_f}{T_f + f_0} \end{cases}$$

Utnyttelsesgraden kan uttrykkes som $U=T_f/T_{frute}=T_f/(1/N)=N \cdot T_f$, der N er antall tog per time (med jevne intervaller).

Når uttrykket for U settes i i ligningen for S fås tilsvarende:

$$S = \frac{f}{f_0} = \begin{cases} 1 & , N \leq \text{HELTALL} \left(\frac{1}{T_f + f_0} \right) \\ \frac{1}{2} \frac{N}{1 - N T_f} f_0 + \frac{1}{2} & , N > \text{HELTALL} \left(\frac{1}{T_f + f_0} \right) \end{cases}$$

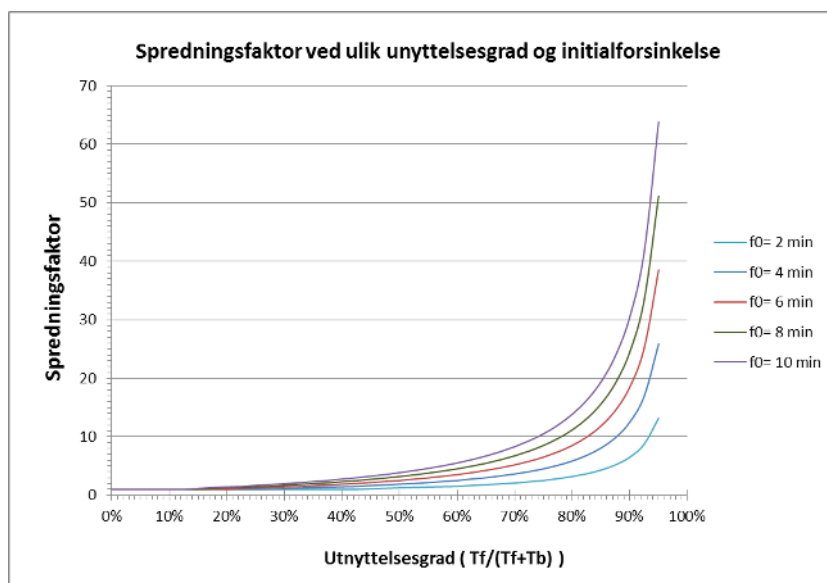
, der N er antall raske tog per time i jevne intervaller og $N < 1/T_f$.

Med samme togantall vil en reduksjon av teknisk togfølgetid, T_f , føre til en reduksjon av S . Med samme T_f vil en reduksjon av antall tog, N , medføre en reduksjon av S .

Spredningsfaktoren avhenger altså av antall tog per tidsenhet, av teknisk togfølgetid og av initialforsinkelse.

Hvis forsinkelser oppstår tilfeldig vil summen av forsinkelser få ekstra bidrag underveis som da øker samlet forsinkelse.

Figur 66 viser *spredningsfaktoren*, som er lik forholdet f/f_0 , som funksjon av f_0 og U .



Figur 66. Spredningsfaktor av forsinkelse på dobbeltspor ved ulike initialforsinkelse.

Det sees at det er en nok så jevn stigning i spredningsfaktoren verdier av U opp til 60 % - 70 %, mens spredningsfaktoren blir betydelig fra 80 %-90 %, avhengig av initialforsinkelsen. Å planlegge med en utnyttelsesgrad over 75 %-80 % er derfor forbundet med stor følsomhet for forsinkelser.

2.8.2.2 Enkeltspor

På enkeltspor er spredning av forsinkelser som funksjon av utnyttelsesgraden mer komplisert å analysere enn for dobbeltspor.

Ved et fast kryssingsmønster på enkeltspor bør det være et reservekryssingsspor på hver side av systemkryssingene slik at et forsinket tog kan legg om kryssingen uten å påvirke et tog i rute. Se avsnitt 2.6.9.

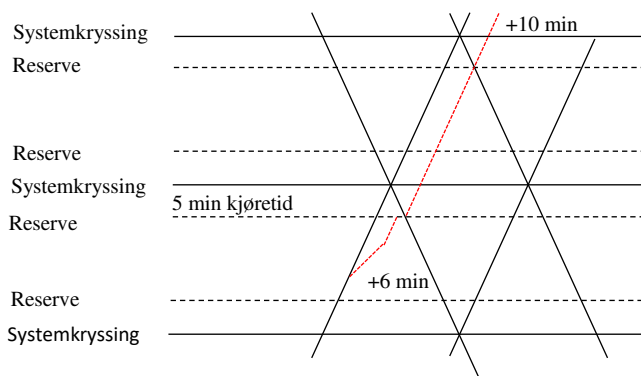
Ved store kjøretider mellom systemkryssingen og reservekryssingssporet er det mulig å fange opp store forsinkelser, men konsekvensen blir tilsvarende stor når det skal fanges opp en liten forsinkelse.

Mindre forsinkelser på noen få minutter kan ofte overføres ofte til neste tog fram for å forsinke et forsinket tog ytterligere. Det skyldes at det ofte er skjulte ventetider mellom tog og at denne tiden kan brukes til å ta igjen mindre forsinkelser senere.

Uten samtidig innkjør må det regnes med 3 minutters tidsavstand mellom første og andre tog i en kryssing. Skal det være mulig å fange opp en forsinkelse på inntil 7 minutter uten å påvirke neste tog, må kjøretiden være $\frac{1}{2} \cdot (7+3) = 5$ minutter mellom systemkryssing og reservekryssingsspor. En forsinkelse på f.eks. 6 minutter medfører da en følgeforsinkelse på $2 \cdot 5 = 10$ minutter for det forsinkede toget. En kjørtid på f.eks. 7 minutter vil føre til en følgeforsinkelse på 14 minutter.

Prinsippet er illustrert i Figur 67.

Med samtidig innkjør kan samme kjøretid fange opp en forsinkelse på ca. $2 \cdot 5 - 1 = 9$ minutter.



Figur 67. Systemkryssing og reservekryssingsspor.

I utgangspunktet må det da planlegges med en tredeling av avstanden mellom systemkryssinger og kjøretiden bør være omtrent 5 minutter mellom systemkryssinger og reservekryssingsspor. Se avsnitt 2.6.8 for mer omtale av antall kryssingsspor på enkeltspor.

2.8.3 Reserveruteleier

Reserveruteleier er definerte ruteleier som kan benyttes av en viss togkategori, spesielt godstog, hvis toget er forsinket.

Reserveruteleier er nyttige hvis et tog er forsinket inn til et område med tett trafikk. Det kan da stå på utsiden av området på et egnet ventespor og vente på ledig luke. De egner seg imidlertid *ikke* til å kompensere for forsinkelser hvis toget allerede er inne i området med tett trafikk og (tilnærmet) lik hastighet for alle tog. Hvis toget kjøres inn på et ventespor på strekningen vil etterfølgende tog allerede ha blitt forsinket og det er derfor ikke noen gevinst.

Den eneste fordel er om toget foran det aktuelle forsinkede toget skulle bli forsinket selv, da ville det bli en ekstra buffer til neste tog. Imidlertid vil reserveruteleiet senere bli opptatt slik at buffertiden på denne måten bare flyttes. Kostnaden er da at det første forsinkede toget må vente på reserveruteleiet.

For å hindre spredning av forsinkelser i et område med tett togfølge (f.eks. 2 minutter) må det i stedet benyttes et prinsipp der ikke alle ruteleier benyttes, men f.eks. 1 av 5 settes av som ekstra buffer. Tog vil da kjøres i serier à 4 tog + 1 ledig ruteleie som benyttes som en generell buffer. Det ledige ruteleiet er ikke dedikert til en spesiell togtkategori (som venter på ruteleiet), men benyttes av de togene som måtte være forsinket.

Generelt bør det ikke være for lang tid mellom reserveruteleier hvis de skal være nyttige. I et system med stive ruter kan det f.eks. settes av et ruteleier til godstog hver time og i tillegg et reserveruteleie hver time. Det er da maksimalt til en halv time ekstra å vente for godstoget hvis det har blitt forsinket.

Er det ikke kapasitet nok til å ha et reserveruteleie hver time kan det settes av et godstogruteleie hver time, men bare kjøres godstog annen hver time. De tomme godstogruteleiene annen hver time fungerer da som reserveruteleier.

Jo større intervall det er til et reserveruteleie desto større er risikoen for at det forsinkede toget framføres på tross av forsinkelsen og forsinker andre tog.

2.8.4 Buffertid

Buffertiden er ment å være en margin mot overføring av forsinkelser fra ett tog til et annet. I utgangspunktet anbefales det at det at utnyttelsen uten buffertid ikke overstiger 75 % i en rushperiode og 60 % på døgnnivå. Dvs. at buffertiden bør utgjøre minst 25 % eller 40 % av tidsbelegget avhengig av periode.

På dobbeltspor etableres buffertid gjennom en tidsmessig spredning av tog. Ved små togfølgetider kan buffertiden være liten målt i absolutt tid og det vurderes derfor som hensiktsmessig at tillegget ikke er mindre enn 1 minutt per tog i gjennomsnitt. I hovedsak bør denne bufferen fordeles jevnt mellom alle tog.

På enkeltspor etableres buffertiden gjennom å ha reservekryssingsspor som ikke inngår i det faste kryssingsmønsteret.

Behovet for buffertid vil være forskjellig mellom en strekning med lang kjøretid og større risiko for forsinkelser og en kort strekning der tog starter fra en stasjon med god regulerings- og oppholdstid.

Hvis det antas at punktligheten på en strekning er 90 % med forsinkelsesgrense 3:59 minutter (3,98 minutter) og at forsinkelsen er eksponentialfordelt, betyr det at:

$$P(\text{Forsinkelse} < 3:59) = 1 - e^{-\lambda \cdot 3,98} = 90 \%, \text{ der } 1/\lambda = \text{gjennomsnittlig forsinkelse. } \lambda \text{ finnes da til } 0,58.$$

Det betyr at med 2 minutters buffertid fanges $1 - e^{-0,58 \cdot 2} = 69 \%$ av forsinkelsene opp, med 3 minutter fanges tilsvarende 82 % av forsinkelsene opp, med 4 minutter fanges 90 % av forsinkelsene opp og med 5 minutter fanges 95 % av forsinkelsene opp.

Størrelsen på marginen blir en avveining mellom kapasitet og punktlighet men det virker rimelig å kunne fange opp rundt 80 % av forsinkelsene og en margin på 3 minutter synes derfor rimelig.

På lange strekninger (ca. 1 times kjøretid eller mer) mellom stasjoner med regulerings- og oppholdstid er det derfor anbefalt å bruke en minimumsverdi for buffertid på 3 minutter. Med en togfølgetid på f.eks. 2 minutter og ensartet trafikk (samme hastighet) gir det en kapasitetsutnyttelse på bare 40 % som er under grensen på de anbefalte 60 %.

Med blandet trafikk og kjøretidsforskjeller på f.eks. 10 minutter er gjennomsnittlig togfølgetid $2 + 1/2 \cdot 10 = 7$ minutter og utnyttelsen er da med 3 minutters margin lik 70 %. Dette er noe høyt på døgnnivå og i en slik situasjon er anbefalt buffertid med 60 % utnyttelse derfor lik $7/60\% - 7 = 4,67$ minutter, hvilket da er større enn minimumsverdien på 3 minutter.

Behovet for en minimumsbuffertid må vurderes i tillegg til den generelle anbefalingen om maks 60 % henholdsvis 75 % utnyttelse. $U_{\max}$ kan da uttrykkes som

$$U_{\max} = \min\{60\%; T_f / (T_f + T_{b \min})\} \text{ hhv. } U_{\max} = \min\{75\%; T_f / (T_f + T_{b \min})\}.$$

Buffertid kunne gjøres avhengig av prioritet av tog slik at et tog med lav prioritet før et tog med høy prioritet ville kreve større buffertid enn i motsatt tilfelle. Dette prinsippet benyttes ikke i denne håndboken.

2.9 Materiellbehov

2.9.1 Generell beregning av materiellbehov

Antall tog som er nødvendig for et gitt driftsopplegg beregnes generelt som

$$\text{Antall tog} = \frac{\text{Antall avganger per tidsenhet}}{\text{Antall avganger per tidsenhet per tog}}$$

$$\text{Antall tog} = \frac{\text{Antall avganger per tidsenhet}}{1 / \text{Omløpstid per tog}}$$

$$\text{Antall tog} = \text{Antall avganger per tidsenhet} * \text{Omløpstid per tog}$$

Antall avganger per time er det samme som frekvens, f , og omløpstiden består av kjøretid pluss vendetid. I tillegg til teknisk vendetid i hver ende kan det være en justeringstid for å få avgangene til å passe med bestemte minuttall i ruteplanen. Dvs. at totalt er

$$\text{Antall tog} = f * (T_{AB} + T_{\text{vende } A} + T_{\text{just } A} + T_{\text{vende } B} + T_{\text{just } B} + T_{BA})$$

Det finnes minimumsverdier for vendetider, og disse kan være stasjonsavhengige på grunn av forhold ved stasjonsutformingen, og avhenger også av om vending skjer ved plattform eller i et eget vendespor.

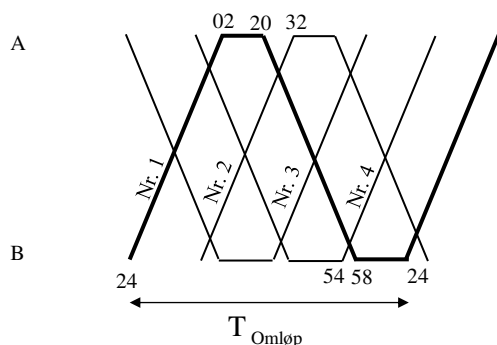
Eksempel

Kjøretid AB og BA er 38 minutter. Frekvens er 2 tog/time med avgang i ved stasjon A på minuttall 20 og 50 og på minuttall 24 og 54 fra stasjon B. Teknisk vendetid er 12 minutter.

Omløpstid er minst $2 * (38 + 12) = 100$ minutter, men krav til faste avgangstider gjør at omløpstiden blir 120 minutter, lik 2 timer. Justeringstid i A blir 6 minutter og justeringstid i B blir 14 minutter.

Antall tog som er nødvendig for omløp med 2 tog/time er da lik $2 \cdot 2 = 4$. Antall enkeltsett som må være i omløp er da lik $4 \cdot 1 = 4$ hvis det er nok med enkeltsett men $4 \cdot 2 = 8$ hvis det er nødvendig med dobbeltsett.

Omløp og antall sett er illustrert i Figur 68.



Figur 68. Illustrasjon av antall vognstammer i omløp.

Det sees at det i både A og B er nok med ett spor på stasjonen til vending. I B er det små marginer siden innkommende tog belegger sporet ca. 2 minutter før ankomst og det hadde da av robusthetshensyn i B vært en fordel med to vendespor (avgang fra B f.eks. på minuttall 54 og ankomst 58, med belegg fra ca. minuttall 56).

Hadde minuttallet for avgang fra A vært på minuttall 37 henholdsvis 07 måtte tog nr. 1 vente på A i 35 minutter til avgangen på 37 siden avgangen på minuttall 07 ikke kunne rekkes (bare 5 minutter snutid). Ankomst til B hadde da vært på minuttall 15 og toget måtte da vente på B til avgang på minuttall 54, dvs. i 39 minutter.

Materiellbehovet hadde da vært lik $2 \cdot (38 + 35 + 38 + 39) / 60 = 5$ tog, dvs. ett tog ekstra sammenlignet med før, eller to enkeltsett ekstra hvis togene kjøres som dobbeltsett.

Antall spor på A og B hadde da økt til 2 hvert sted siden det ville stå et tog på stasjonen når neste kom inn (f.eks. ved A: ankomst 02 med ett tog og avgang 07 med et annet tog som kom tidligere).

Maksimal omløpstid kan finnes som (der avrundingen sikrer at det legges nok tid til i begge ender for å treffe avgangsintervallene).

$$T_{Omløp, maks} = T_{intervall} \text{AVRUND. OPP} \left(\frac{2(T_{Kj\ddot{o}r} + T_{snu}) + T_{intervall}}{T_{intervall}} \right)$$

For å ta høyde for tidsbruk for takting må det regnes med at snutiden kan være inntil summen av minste snutid pluss intervall mellom avganger. I en tidlig dimensjoneringsfase - der ruteplaner ikke er kjent - bør det angis et intervall for materiellbehovet basert på usikkerheten om oppholdstider på endestasjonene.

2.9.2 Materiellbehov i rush

2.9.2.1 Påsett til grunnrutependler

I tillegg til materiellbehovet beregnet over kommer påsett av ekstra togsett, slik at avganger med høy etterspørsel kan kjøres med dobbeltsett i rush. For noen linjer med kort turneringstid kan det være nødvendig at alle avganger kjøres med dobbeltsett for at rushtiden skal dekkes opp med lange tog. For disse kan materiellbehovet multipliseres med 2. For linjer med lang turneringstid vil rushtiden kunne være over når et tog har nådd sin endestasjon, og det vil derfor ikke lenger trenge påsett. *Antallet samtidige dobbeltsett* er dermed nødvendig å regne ut. Dette vil være forskjellig for ulike typer pendler.

For en *halvpender* er rushretning kun den ene retningen i hver rushperiode. Her blir

Antallet påsett = antallet avganger mot det sentrale området i rushtiden, men *minus* det antallet avganger, hvis økt materiellbehov kan dekkes opp av at samme dobbeltsett kan rekke tilbake til utgangsstasjonen i løpet av rushtiden, og kjøre en ny avgang i rushretning.

For en *helpender* vil det være rushretning begge veier. Dermed vil antall påsett være lik summen av antall avganger fra endestasjonene som har avgangstid i rushtiden. Her er det også fratrekk av det antall avganger fra den ene endestasjonen hvis materiellbehov kan dekkes opp av påsett fra tog som er ankommet fra den andre endestasjonen mens rushtiden fortsatt pågår.

2.9.2.2 Innsatstog

Beregning av materiellbehov knyttet til innsatstog betraktes som en egen linje. Innsatstog kjører inn i det sentrale området om morgenen og ut igjen om ettermiddagen. Noen innsatstog over veldig korte strekninger kan rekke tilbake ut av det sentrale området for å kjøre en avgang til i morgenrushet. Denne muligheten kan imidlertid begrenses av sporkapasitet på enkeltspor, og vendekapasitet på utgangsstasjonen. Antakelse om gjenbruk av materiell for innsatstog, som gir reduksjon av materiellbehov, bør brukes med forsiktighet slik at ikke materiellbehov underestimeres og hensettingskapasitet underdimensjoneres.

2.9.2.3 Materiellbehov ved forlengelser i rush

Ekstra rushtidskapasitet kan oppnås ved at grunnrutetog fra A til B forlenges slik at de går fra/til en annen, mindre sentral, utgangsstasjon C hvor grunnrutetilbudet har lavere frekvens. Her regnes det at det sentrale området enten ligger i A eller mellom A og B, dvs. at det forlengede toget går C-B-A i morgenrushet og A-B-C i ettermiddagsrush. Dette tilbudskonseptet gir en spesiell beregning av materiellbehov.

Forlengelse av pendler i rush kan medføre behov for ekstra materiell. I morgenrushet vil det ofte være mulig å benytte samme materiell men med den forskjellen at avgangen starter lengre ut på strekningen. Det kreves da ikke ekstra materiell.

I ettermiddagsrushet vil en forlengelse av en pendel kreve at returavgangen blir erstattet med annet materiell og det er derfor ekstra materiellbehov på grunn av forlengelse i ettermiddagsrush.

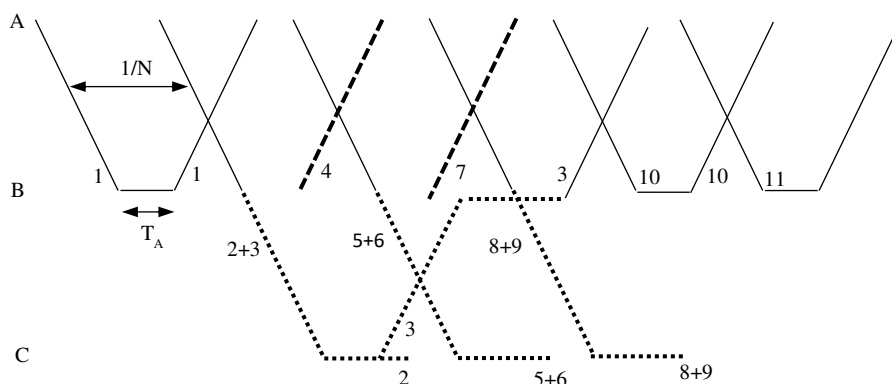
Ved endestasjonen i grunnrute vil tog som normalt returnerer måtte erstattes av et annet togsett. I tillegg er det ofte dobbeltsett i tog som kjører i rush. Dvs. at det i toget som kjører videre er et ekstra togsett. En forlenget avgang i ettermiddagsrush vil derfor *typisk* kreve to ekstra togsett for hver ordinære returavgang i perioden før materiellet fra den forlengede avgangen returnerer og kan benyttes igjen, men det eksakte antallet avhenger av hvor lang rushperioden er i forhold til returtiden til og fra ytterstasjonen.

I Figur 69 er det tre avganger som forlenges fra B til C og som kjøres som dobbeltsett, mens grunnrute er enkeltsett. Der er imidlertid bare to av disse som ikke rekker å komme retur til A for å gå inn i ordinært mønster. Det er derfor behov for

- 3 forlengede avganger à 1 ekstra sett (2 sett per forlenget avgang minus 1 sett som uansett kjøres per grunnruteavgang), *pluss*
- 2 nye returavganger à 1 sett

I alt er det $3 \cdot (2-1) + 2 \cdot 1 = 5$ ekstra enkeltsett.

Det kan også vises ved å telle antall *individuelle* sett som benyttes. Totalt er det i Figur 69 benyttet 11 forskjellige enkeltsett settnummer er angitt med et tall ved grafen). I ordinær grunnrute ville det være 6 returavganger fra A og dermed 6 forskjellige togsett. Forskjellen utgjør da 5 enkeltsett som beregnet over.



Figur 69. Materiellbehov ved forlengelse fra stasjon B til stasjon C i ettermiddagsrush. Nummer på toggraf er nummer for enkeltsett.

2.9.3 Reservemateriell

En tommelfingerregel tilsier at togselskapene bør ha en reservebeholdning på om lag 10 % av det materiellet som trengs i daglig drift, for å ha mulighet til å turnere materiell inn og ut av vedlikehold/verksted og å tåle at det oppstår feil på materiell. Reservebeholdningen må være per materielltype, og bør være tilgjengelig i samme landsdel som materiellet brukes i.

2.10 Hensetting

2.10.1 Behov for hensetting

Togmateriell regnes som **materiell i turnering** dersom lengden av en sammenhengende driftspause ikke overstiger 23:59 timer den aktuelle driftsdagen. Bane NOR bør dimensjonere det nasjonale jernbanenettet slik at alt togmateriell i turnering kan hensettes i det nasjonale jernbanenettet. Togmateriell som ikke er i turnering, kalles **materiellreserve**. Togselskapene kan bruke eksisterende restkapasitet i det nasjonale jernbanenettet eller etablere privatspor der reservemateriell kan hensettes.

Et tog i **kundedrift** er et tog som er i turnering og tilgjengelig for passasjerer og som transporterer disse mellom definerte start- og endestasjoner. Ved start- og endestasjoner vil det være behov for å vende toget. Dersom det i det tidsrommet som kreves for vending også er mulighet for passasjerutveksling, defineres også vendetiden som tid toget er i kundedrift. Dersom toget i vendetiden ikke er tilgjengelig for passasjerer regnes vendetiden som en **driftspause**.

Kapittel 6 i togframføringsforskriften stiller krav om at det i persontog i kundedrift skal være en ombordansvarlig i tillegg til føreren som skal ivareta passasjerenes sikkerhet ved av- og påstigning.

Når hensettingsanlegg skal planlegges må det også tas hensyn til de ulike aktivitetene som må gjennomføres ved materiellets ankomst til endestasjon, slik som sluttvisitasjon. I ulike situasjoner er kravet til tilgjengelig personell og bevoktning forskjellig. Dette oppsummeres i Tabell 25.

Tilstand	Situasjon		Ombordansvarlig	Bevoktning ¹	Veilederen gjelder
Tog i kundedrift	Tog i rute	Tog tilgjengelig for passasjerer	X	X ²	X
	Vendetid på togspor ved plattform.	Tog tilgjengelig for passasjerer	X	X ²	X
Driftpause	Vendetid på togspor.	Tog ikke tilgjengelig for passasjerer		X	X
	Hensetting på skiftespor i det nasjonale jernbanenettet	Usikret		X	X
		Sikret mot togspor og spenningsførende infrastruktur			X
	Hensetting på verkstedspor/privatspor.				

¹⁾ Bevoktning mot utilsiktet igangsetting av materiell og mot at uvedkommende nærmer seg spenningsførende infrastruktur, i tilfeller hvor det ikke er etablert tekniske barrierer som ivaretar funksjonen.

²⁾ Vanligvis ivaretatt av lokfører og ombordpersonalet.

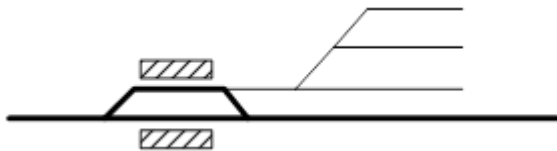
Tabell 25. Krav til personell og bevoktning i ulike situasjoner.

Det er to ting som er avgjørende for strekningskapasiteten i forhold til hensettingsanlegg, nemlig tilkoblingstype og plassering. Disse omtales i de følgende avsnittene.

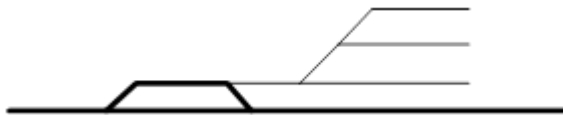
2.10.2 Tilkobling av hensettingsanlegg

Som ved avgrensning fra hovedtogspor så finnes det flere ulike varianter for avgrensning til hensettingsanlegg. Hensettingsanlegg er normalt ikke signalert for å kunne framføre kjøretøy som tog men som skift. Det er da viktig å ha et sted der kjøretøyet kan stoppe for å endre framføringsmåte, og der det ikke blokkerer hovedtogveien. Hvis hensettingsanlegget ligger i direkte tilkopling til en stasjon kan et stasjonsspor brukes som ankomst-/avgangsspor, der kjøretøyet bytter mellom tog og skift. Hvis hensettingsanlegget er plassert på linjen må det bygges et ankomst-/avgangsspor. Det kan da konstrueres slik at det også kan brukes som kryssingsspor.

Figur 70 til Figur 73 viser ulike måte å koble hensettingsanlegget til stasjonen på.

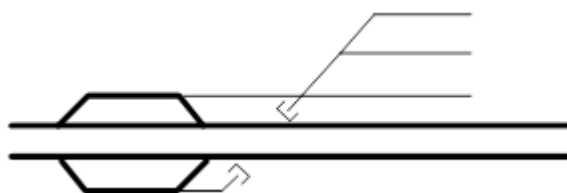


Figur 70. Tilkobling ved stasjon

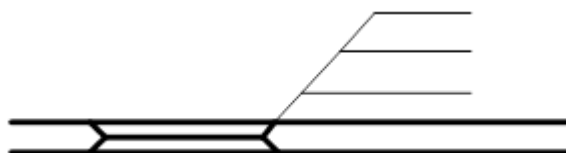


Figur 71. Tilkobling med ankomst-/avgangsspor

På strekninger med dobbeltspor kan det være behov for en tilkobling som ikke krysser i plan for å unngå konflikter med trafikk i motstrøms retning. Et enklere alternativ er å bygge et midtliggende ventespor der kjøretøyet kan bytte mellom tog og skift, samt vente på en luke for å kjøre inn på hensettingsanlegget. Også på dobbeltspor er det mulig å utforme ankomst-/avgangssporene slik at det er mulig å bruke dem til forbikjøringsspor ved behov.



Figur 72. Planskilt tilkobling



Figur 73. Tilkobling med ventespor

Valg avgrening fra dobbeltspor og mulig kryssing av togveier i motsatt retning må løses i samsammenheng med trafikkvolum som går forbi stasjonen og risiko for konflikter. Se avsnitt 2.4.10 om avgrensninger for en diskusjon av dette.

2.10.2.1 Plassering av hensettingsanlegg i forhold til endestasjon

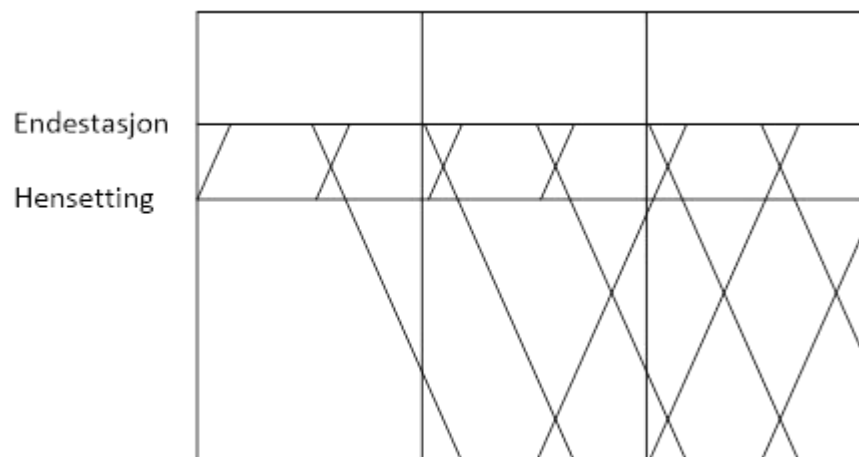
Hensettingsanlegg bør også så vidt mulig plasseres nær endestasjoner på linjer slik at omfanget av tomtogkjøring minimeres.

Generelt vil det være mest gunstig å legge hensettingsanlegg ved endestasjoner til stasjonens ende som er lengst bort fra det sentrale området. En slik plassering av hensettinganlegget vil føre til et minimum av nødvendige skiftebevegelser. Tog ankommer i kundedrift på et togspor og stopper ved innkjør-togveiens slutt punkt eller det aktuelle tog lengdemerke på ankomstsporet. Etter gjennomføring av de driftsmessige rutinene, f.eks. sluttvisitasjon eller ombordstigning av renholdspersonale, flyttes materiellet som skift til hensettingsspor. Skifting mellom togspor og hensettingsanlegg samt intern skifting i hensettingsanlegg bør i minst mulig grad sperre for togfremføring eller annen skiftetrafikk.

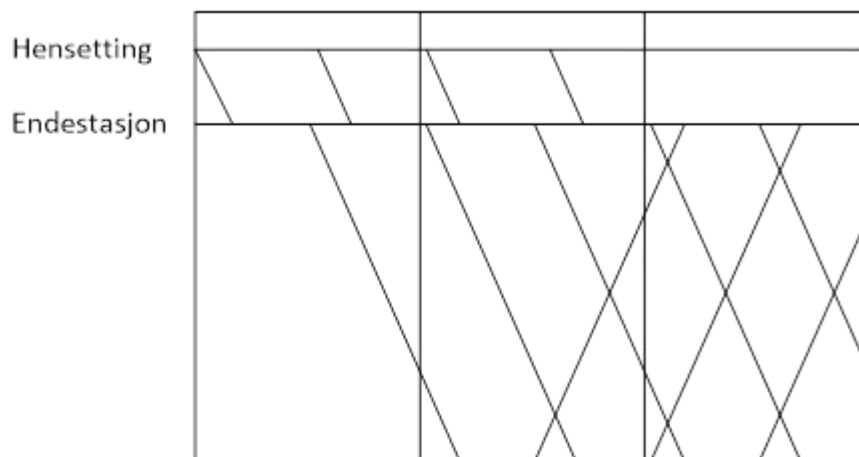
Generelt, men spesielt ved rush-trafikk i begge retninger, er det en fordel at det ikke er tomtogskjøring i tillegg til ordinære tog, og det er da en fordelaktig å ha hensetting *etter* endestasjonen. Da kommer tomtogskjøringen på utsiden av området der det er innsatstog og trafikken er da lavere på innerstrekningen. Det må imidlertid undersøkes hvor strekningskapasiteten er størst og hvor det er minst negativ effekt av å kjøre tomtog.

Hensetting før endestasjonen betyr at det blir kjøring i motsatt retning først.

Figur 74 og Figur 75 viser den trafikale forskjellen mellom plassering før og etter endestasjonen.



Figur 74. Trafikk ved plassering av hensetting før endestasjon



Figur 75. Trafikk ved plassering av hensetting bak endestasjon.

Driftspauser om natten

Om natten vil det rent kapasitetsmessig være en fordel å hensette togsett som trafikkerer en gitt strekning ved linjens start- og endestasjon. Imidlertid øker lønnsomheten i driften av et hensettingsanlegg med antall stasjonerte togsett. Dermed kan det av økonomiske grunner lønne seg for

et togselskap å samlokalisere hensettingsfasiliteter for flere linjer på ett sted med felles oppmøtested for personal. Resulterende mengde tomtogkjøring vil i så måte være en viktig beslutningsparameter.

Driftspauser om dagen

Mellom morgen- og ettermiddagsrushet oppstår det et behov for å skalere togtilbudet ved å tilpasse antall tog og/eller togstørrelsen. Dette kan løses ved å (a) hensette togsett på de samme stedene som benyttes til nattlig hensetting eller ved å (b) hensette togsett i det sentrale området som er målområdet for morgenrushet.

Løsning (b) krever ekstra hensettingskapasitet i det sentrale området, men har den fordel at kjøring med overkapasitet i motstrøms rushretning reduseres.

Utforming av hensettingsanlegg bør i utgangspunktet være med flest mulig (korte) spor i bredden fram for å lange spor. Dette letter uttaket av togsett hvis et spesifikt togsett skal tas ut. Det minimerer også risikoen for at et togsett blir låst inne bak et togsett med feil. Hvis mulig er det også en fordel at det er utkjøringsmulighet bak slik at det er to uavhengige atkomster til hensettingssporene.

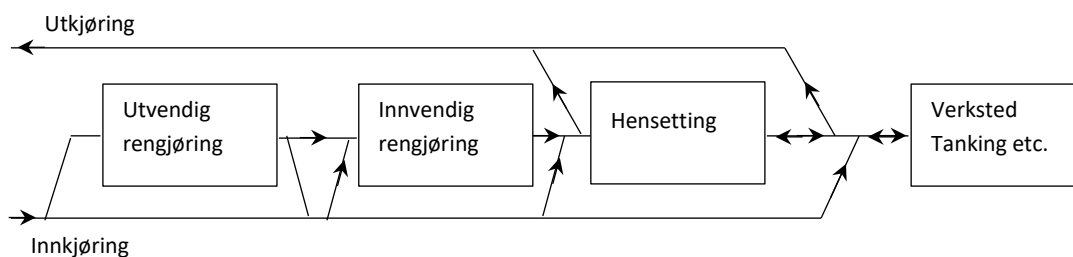
2.10.3 Driftsbanegårder

Som en del av et hensettingsanlegg kan det også være verksterds- og renholdsfunksjoner og det er da snakk om en driftsbanegård.

Utformingen av en driftsbanegård kan vises skjematisk som i Figur 76, gjengitt etter [38].

Ved dimensjonering av en driftsbanegård må det tas utgangspunkt i at det i hver funksjon er nok kapasitet til å håndtere togene i den frekvensen de kommer inn med i anlegget og nok kapasitet til å generere høy nok frekvens for de togene som skal ut av anlegget.

Det er dessuten viktig at det er nok uavhengige sporforbindelser, bl.a. mellomhensetting og verksted, slik at det ikke er flaskehalser.



Figur 76. Driftsbanegård med ideell utforming, gjengitt etter «Bild 9» i [38].

I Strategisk rammeverk [36] er det også i kapittel 4.2 omtalt driftsbanegårder.

2.11 Godsterminaler

2.11.1 Om beregning for godsterminaler

Formålet med omtalen av terminaler i kapasitetshåndboken er å gi et grunnlag for å vurdere

- Antall tog per døgn
- Antall tog i dimensjonerende time
- Antall lastespor
- Antall kraner eller reachstackere
- Antall spor totalt
- Antall hensettingsspor
- Antall ankomst- og avgangsspor
- Antall skiftebevegelser med tanke på sporkapasitet internt på terminalen
- Sporforbindelser mellom lastespor og øvrige områder
- Elementer som definerer arealbehov for terminalen

Det er ulike sportyper på en terminal som har ulike funksjoner, men ofte kan spor brukes om hverandre.

- Ankomst- og avgangsspor
- Laste- og lossespor
- Hensettingsspor (mellom lossing og lasting og ved feil på vogner samt reserve)
- Snøtømming av vogner
- Spor for lok
- Uttrekksspor for rundgang med lok
- Skiftespor for innsetting og uttak av ekstra vogner

Utforming av terminal som butt- eller gjennomkjøringsstasjon er ikke et tema i denne gjennomgangen, men buttstasjoner gir generelt bedre atkomstforhold for bil, mens det kreves flere skiftebevegelser når vognstammer må rygges inn. For å utnytte en gjennomgangsterminal må det imidlertid være mulig å kjøre med vognstamme inn i lastegater. Uten duo-lok krever dette uansett skiftebevegelser med skiftelok.

Det vises i det følgende et eksempel på prinsippet for hvordan antall spor på en godsterminal kan dimensjoneres ut fra årlig fraktvolum. Eksakte verdier for tidsbruk ved ulike aktiviteter kan være et krav til måten terminalen skal driftes på og må diskuteres og defineres i en konkret analyse.

2.11.2 Volum i enheter og i tonn

Det tenkes at det ønskes etablert en terminal som håndterer 400 000 TEU per år (1 TEU = Twenty feet Equivalent Unit, 6,5 m lang container).

Tallet for årlig volum er både avgående og ankommende TEU. Over et år og stort sett per døgn vil det være balanse mellom de to retningene når det regnes i antall enheter eller antall TEU. Antall avgående TEU er da 200 000 per år.

Hvis årlig volum er oppgitt i antall tonn er dette *nettolast* uten lastbærere (eller vogner). Det regnes med da som standardverdi med gjennomsnittlig 9,5 tonn/TEU.

Retningsubalanse vil gjøre at dimensjonerende retning er mer enn 50 % av samlet årsvolum. Hvis det regnes med 25 % tomme containere vil dette i all hovedsak være i den ene retningen. Hvis gjennomsnittet er $100\% - 25\% = 75\%$ belegg er det 100 % en vei og 50 % den andre veien. Dimensjonerende retning har da dobbelt så mye volum i antall tonn som den andre retningen, eller $100\% / (100\% + 50\%) = 2/3$ av all volum i antall tonn.

Eksempel: Årlig volum er 3 000 000 tonn/år. Da regnes da med at det er $2/3 * 3\,000\,000 = 2\,000\,000$ tonn i dimensjonerende retning. Dette svarer igjen til $2\,000\,000 \text{ tonn/år} / 9,5 \text{ tonn/TEU} = 210\,526 \text{ TEU/år}$ i dimensjonerende retning.

Selve de de fysiske lastbærerne må ha like mange bevegelser i begge retninger for å ha balanse. Det er da nødvendig å kunne håndtere 210 526 TEU hver vei og i alt 421 052 TEU på terminalen per år (en håndtering ved avgang og en ved ankomst).

2.11.3 Antall tog per døgn

Med en antatt gjennomsnittlig lengde på f.eks. 600 m er det 580 m vogner per tog. Hver vogn på 34 har som tommelfingerregel plass til 4 TEU. Utnyttelsesgraden per tog med hensyn til antall containerplasser antas å være 85 %.

Et tog har da plass til $580 \text{ m/tog} / (34 \text{ m}/4 \text{ TEU}) * 85\% = 58 \text{ TEU/tog}$.

Det regnes med 240 virkedøgn slik at volum per dimensjonerende døgn er $1/240$ av årlig volum.

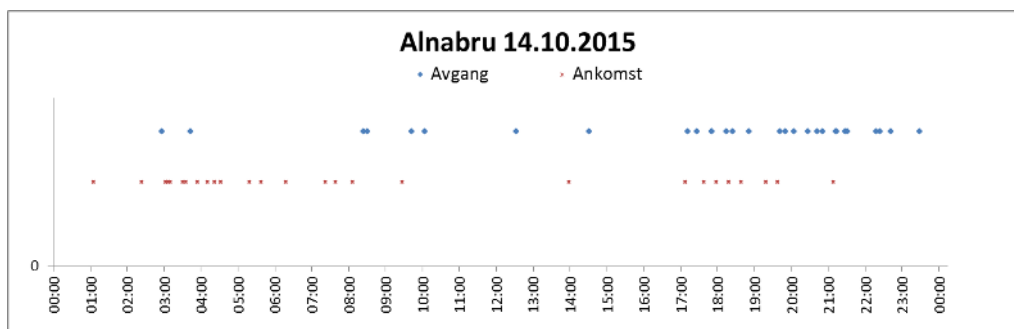
Årlig volum på 400 000 TEU gir dimensjonerende døgnvolum på $200\,000 \text{ TE/år/retning}$, tilsvarende $200\,000 / 240 = 833 \text{ TEU}$. Dette svarer til $833 \text{ TEU/døgn} / 58 \text{ TEU/tog} = 14,4 \approx 15 \text{ tog/døgn}$ (avganger). Det er da til sammen (i gjennomsnitt) $2 * 15 = 30$ ankomster og avganger per døgn på terminalen.

2.11.4 Avgangs- og ankosmtfrekvens

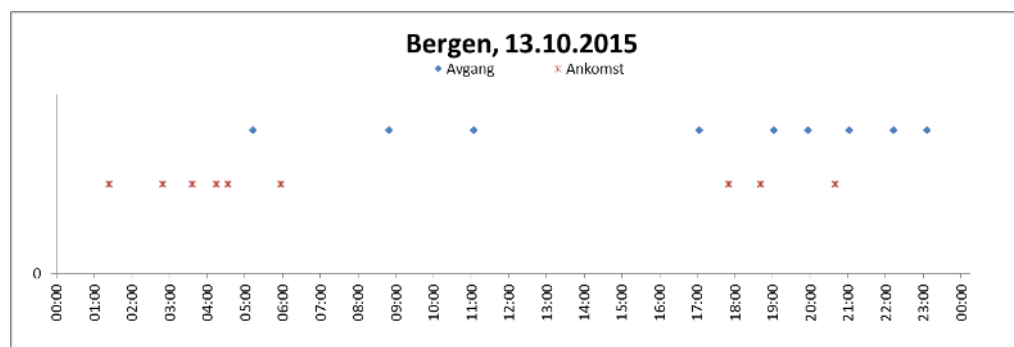
Andel avganger i kveldsrush mellom 17 og 23 varierer fra ruteplan til ruteplan. En typisk verdi er 65 %-80 % av døgnvolum. Er ikke annet kjent kan det regnes med 75 % av døgnvolum i perioden kl. 17-23.

Regnes det med 75 % av døgnvolum for avganger over 6 timer er det i gjennomsnitt 12,5 % av døgnvolum per time.

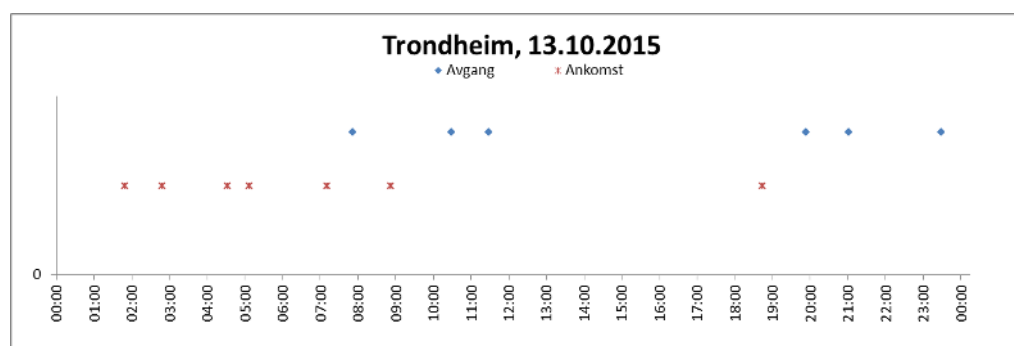
Figur 77 til Figur 79 viser ankomster og avganger fordelt over døgnnet for Alnabru, Bergen og Trondheim. Det sees at bildet varierer, men at det generelt (spesielt med vekt på Alnabru) er en topp i avganger på kvelden og en topp i ankomster om natten.



Figur 77. Ankomster og avganger, Alnabru.



Figur 78. Ankomster og avganger, Bergen.



Figur 79. Ankomster og avganger fra/til Alnabru, Trondheim.

I en relevant periode for sporbelegg vil frekvensen være en annen enn for hele rushperioden. Med f.eks. 2:30 timer belegg i lastegater er avgangsfrekvensen over 2:30 timer i 2014 og 2015 lik en faktor 1,2 til

1,4 større enn gjennomsnittet over hele rush beregnet som $75\%/6$ timer. Som en tommelfingerregel kan det benyttes en peak-in-peak-faktor på 1,4.

I en periode på 1:30 timer er peak-in-peak-faktoren ca. 1,8 og over en periode på 1:00 time er peak-in-peak-faktoren ca. 2.

Med 15 tog/døgn regnes det da med gjennomsnittlig $15 \cdot 75\%/6 = 1,9$ avganger/time i rush.

Maksimal avgangsfrekvens over 2:30 timer settes lik $1,4 \cdot 1,9$ tog/time = 2,7 tog/time.

Maksimal avgangsfrekvens over 1:30 timer settes lik $1,8 \cdot 1,9$ tog/time = 3,4 time/time.

Maksimal avgangsfrekvens over 1:00 timer settes lik $2 \cdot 1,9$ tog/time = 3,8 time/time.

Empirisk i 2014 og 2015 (jf. Figur 77) er antall ankomster på Alnabru i perioden kl. 17-23 inntil 40 % av antall avganger. Ankomstene er og konsentrert i omtrent halvparten av perioden, slik at ankomstfrekvens er inntil ca. 80 % av avgangsfrekvens.

Både avgangs- og ankomstfrekvenser kan være et resultat av både markedsbehov og tilpasninger til kapasitetsbegrensninger på terminaler og linjen. Det er derfor viktig å beskrive forutsetninger som legges til grunn for dimensjonerende frekvenser. Ankomstfrekvens i perioden for avgangsrush avhenger av ruteplanen og må defineres ut fra markedsanalyser og forutsetninger om omløp av vognstammer.

Er ikke annet kjent kan det tas utgangspunkt i frekvensene som beskrevet over.

2.11.5 Antall tog i omløp

Antall spor på terminalen bestemmes av hvor mange tog som er i omløp og av hvor mange spor som er nødvendig til ulike samtidige operasjoner på terminalen.

Dels må terminalen kunne romme halvparten av alle vognstammer som er i omløp hvis trafikken står stille (helg eller ferie; den andre halvparten er da på andre terminaler eller på linjen). I tillegg må det være spor nok til maksimalt antall tog som er inne på terminalen ved normal drift (typisk før kveldsrush begynner) samtidig som det er visse skifteoperasjoner i forbindelse med ankomst og avgang, håndtering av feil etc.

Antall tog (vognstammer) bestemmes av omløpstiden per linje og på frekvensen per linje (ett tog klarer én avgang i løpet av omløpstiden):

$$\text{Antall tog} = \sum_{j=1}^N \text{Omløstid}_j * \text{Frekvens}_j$$

, der j er nummeret på linjen.

Omløpstiden vil typisk være to døgn når det er visse tider i markedet som styrer når tog kan gå. Selv om framføringstiden er på f.eks. 8 timer vil retur ikke kunne skje umiddelbart etter lossing og eventuelt lasting siden det må avventes korrekt tid på døgnet. Dermed blir omløpstiden to døgn. Hvis enkelte avganger kan lastes og kjøres retur så fort toget er losset vil omløpstiden kunne komme ned i f.eks. $2 \cdot (8+5) = 26$ timer eller 1,1 døgn.

Med f.eks. 8 avganger per linje vil materiellbehovet da være $8 \cdot 2 = 16$ tog med to døgns omløpstid og $8 \cdot 1,1 \approx 9$ tog med raskest mulig retur.

Med en delvis tilpasning av tilbudet til raskest mulig retur med f.eks. 20 % av avgangene vil gjennomsnittlig omløpstid være lik $20 \% \cdot 1 + 80 \% \cdot 2 = 1,8$ døgn.

Ulike linjer kan ha ulik omløpstid. Dette skyldes dels strekningslengden og dels frekvens og justering for å få avganger på faste intervaller på visse ukedager. F.eks. vil Alnabru-Narvik ha en kjøretid på ca. 27 timer. Med f.eks. 5 timers opphold i hver ende skulle det bli en omløpstid på 64 timer, eller 2,67 døgn. Imidlertid er strukturen i ruteplanen slik at det (for CargoNet våren 2015) er en gjennomsnittlig omløpstid på 5,6 døgn for å få avganger på riktig tidspunkt på riktige dager. Det vises i det følgende:

Med 10 avganger per uke er det i gjennomsnitt $10/7 = 1,43$ avgang per dag. Med en omløpstid på 2,67 døgn ville antall tog være lik $1,43 \cdot 2,67 = 3,8$ eller avrundet 4 vognstammer.

Grunnet markedstilpasning kjøres tog ikke jevnt spredt ut over uken men, det kjøres inntil to avganger hver dag med noen timers mellomrom. Det kan da sees som to tilbud som kjøres parallelt. Hvert tilbud/system har omtrent samme avgangstid fra hver endeterminale. Omløpstiden blir da nesten 4 døgn. For å få samme tid på neste tur blir omløpstiden 4 døgn.

For hvert system er det en avgang per dag, og frekvensen er da 1 avgang/døgn. Omløpstiden er 4 døgn. Antall tog er da $1 \cdot 4 = 4$ per system. Samlet behov for antall tog i begge systemer er da $2 \cdot 4 = 8$.

Siden det i praksis er 10 avganger per uke gjelder det at:

$8 \text{ tog} = \text{Omløpstid} \cdot 10 \text{ avganger/uke} \Leftrightarrow \text{Omløpstid} = 8/10 \text{ uke} = 5,6 \text{ døgn}.$

I eksemplet med 200 000 TEU på terminalen kan det tenkes at gjennomsnittlig omløpstid er 1,8 døgn. Antall togsett i omløp er da $15 \cdot 1,8 = 32$ vognstammer. Det uforutsettes at terminalen skal kunne håndtere halvparten av dette, dvs. 16 vognstammer, hvis trafikken står stille.

Det må ved bestemmelse av gjennomsnittlig omløpstid skisseres en ruteplan som viser omløp av hver enkelt vognstamme.

På en terminal med flere godslinjer kan det gjøres tilsvarende analyser for hver linje og resultatet kan summeres til et samlet antall tog. For eksempel kan det settes opp en slik oversikt som vist i Tabell 26.

Som det framgår av Tabell 26 er det i alt 106 vognstammer i omløp. Terminalen (i eksemplet Alnabru) må da kunne håndtere 53 vognstammer når alt står stille.

Tabell 26. Omløpstid for ulike destinasjoner, tenkt eksempel for Alnabru.

	Andel	Omløpstid (døgn)	Antall avganger per døgn	Antall vognstammer
Narvik (50 % av KVB)	6 %	6	3	18
Bodø (50 % av Dovrebanen)	12 %	3	6	18
Trondheim (50 % av Dovrebanen)	12 %	2	6	12
Bergen	26 %	2	13	26
Ganddal/Langemyr	19 %	2	10	20
Østfoldbanen/Kornsjø	18 %	1	9	9
Sverige via KVB (50 % av KVB)	6 %	1	3	3
Sum	100 %		50	106

Antall vognstammer som er inne samtidig ved normal drift kan bestemmes ut fra en omløpsplan der det sees på hvordan hver enkelt vognstamme benyttes og hvor lenge den står på hver terminal. Med korte oppholdstider er det generelt færre vognstammer inne samtidig, men antallet avhenger av konkrete rutetider. Hvis rutetider ikke er kjent kan det forutsettes at 90 % av halvparten av alle vognstammer er på terminalen samtidig som det foretas lasting og lossing og skifting. Hvis det f.eks. er 106 vognstammer i omløp er det rimelig å anta at $90\% \cdot \frac{1}{2} \cdot 106 = 48$ vognstammer er på terminalen i en periode der det også skal være skifteaktiviteter.

2.11.6 Toglengde og antall spor

I utgangspunktet bør en terminal dimensjoneres etter største toglengde i alle spor. Hvis et terminalområde ikke har nok lengde er det nødvendig å dele tog på terminalen, men derved øker antall spor.

Antall spor og antall skifteoperasjoner må sees opp mot hvilken lengde av spor som er mulig å få til på et gitt område og de lengde- og arealbegrensningene som måtte være der. Dette må også sees i sammenheng med hvor mange skifteoperasjoner en gitt layout medfører, hvor mange vognkilometer plasseringen av spor medfører og om det er nok sporkapasitet for å utføre nødvendige skiftebevegelser. Arealbehov for spor til skifting må også tas med i vurderingen av samlet arealbehov i løsningen.

Hvis spor dimensjoneres ut fra en gjennomsnittslengde av tog vil det være en andel av togene som er lengre enn gjennomsnittslengden. F.eks. vil det med et gjennomsnitt på 600 m lange tog og fordeling av toglengder fra 450 m til 750 m, kunne være 50 % av togene som er lengre enn 600 m.

Antall faktiske spor avhenger av hvilken minimumslengde som kreves for å håndtere et tog uten deling. Er det krav om maks lengde blir det færre spor, men hvert spor blir langt. Har terminalområdet ingen lengdebegrensning er det naturlig å dimensjonere alle spor etter maks lengde på tog.

Hvis det derimot er begrensninger i hvor lange spor som kan etableres må noen tog deles. Er det akseptabelt å dele de fleste togene blir det flest spor men hvert spor blir kortest mulig. Med krav om å håndtere gjennomsnittslengde uten deling blir det 50 % ekstra spor.

Fordelingen av tog lengder avgjør hvor lange ankomst- og avgangsspor skal være. Er 50 % av togene lengre enn gjennomsnittslengden bør ankomstspor utformes slik at halvparten kan håndtere maks lengde og halvparten kan håndtere gjennomsnittslengden. Dette sikrer fleksibilitet i bruken. En fordeling av lengde på ankomst- og avgangsspor som er individuelt tilpasset en lengdefordeling vil gjøre at spor er dedikert et eller noen få spesifikke tog, hvilket begrenser fleksibiliteten av sporbruk.

Hvis alle spor i den situasjonen skal kunne brukes om hverandre uavhengig av tog lengde må alle ekstra spor være lange nok til å håndtere lengden det deles ved.

Hvis sporantallet *ikke* økes når tog må deles, betyr det at overskytende vogner må inn på et andre spor sammen med vogner fra andre vognstammer. Det kan da forekomme at vogner fra flere tog må stå på samme spor. Det er teoretisk mulig å planlegge sporbruk på denne måten, men det vil låse inne vogner bak andre vogner og kan føre til økt belegg i lastegatene og kan føre til forsinkelser for tog. Med buttspor i lastegater er denne risikoen størst.

Deling av tog og sporbehov kan illustreres med et eksempel. F.eks. kan det tenkes 6 tog (som er inne samtidig på en terminal) med lengder, 750 m, 450 m, 650 m, 550 m, 520 m og 680 m. Dette er i gjennomsnitt 600 m. Kreves det at det skal håndteres 750 m lange tog er det nok med 6 spor, og i alt $6 \cdot 750 = 4500$ m spor. Er det nok med 450 m lange tog kreves det deling av 5 tog og det er nødvendig med $6 + 5 = 11$ spor, dvs. $11 \cdot 450 = 4950$ spormeter. Med gjennomsnittslengde på 600 m må det deles 3 tog slik at det er 9 spor, og sporlengde blir $(6 + 3) \cdot 600 = 5400$ m. Størst lengde på spor gir lavest samlet behov for spormeter.

Med en fordeling på bare 450 m og 750 m lange tog ville spor på 450 m gi et behov for 9 spor og 4050 spormeter, mens 750 m lange spor ville gi et behov for 6 spor men 4500 spormeter. Gjennomsnittlig lengde gir et sporbehov på 9 spor og 5400 spormeter. Her gir de *korteste* sporene lavest behov for spormeter.

Er det tre tog lengder 500, 600 og 750 m, vil 30 % med 750 m lengde medføre at det – gitt at gjennomsnittet er 600 m – er 45 % tog med 500 m lengde og 25 % tog med 600 m lengde. De 30 % av togene kan ikke plasseres der det er 500 m lange spor hvis det skal være fleksibilitet i skifting, og det kreves da 30 % ekstra tog.

Det er da et varierende verdi, både for antall spor og spormeter, avhengig av hvordan spor fordeles. Minst behov for både antall spor, spormeter og skjøting og deling oppnås i eksemplet med spor som er lange nok til de lengste togene.

Antall skifteoperasjoner er proporsjonalt med antall spor og i eksemplene varierer da antall skift fra største til minste antall da med en faktor $11/6 = 1,8$ henholdsvis $9/6 = 1,5$.

Det er ikke entydig hvilken sporlengde som gir færrest spormeter, men lengst mulig spor vil alltid gi færrest antall skifteoperasjoner.

Hvis ikke annet er kjent og det må as høyde for deling av tog kan det tas utgangspunkt gjennomsnittslengden som grense for deling av tog og antas en lik sannsynlighetsfordeling for tog lengdene. Det er da i utgangspunktet et tillegg på 50 % til antall spor.

2.11.7 Statisk sporkapasitet

Med 32 vognstammer i omløp (se avsnitt 2.11.5) forutsettes det at det ved full stopp i trafikken (helg eller brudd på linjen) skal være plass til halvparten, dvs. 16 vognstammer.

I tillegg må det være reservemateriell og spor som muliggjør skifting for å starte opp trafikken igjen etter stopp, materiellreserve settes til 10 %, ledige spor for å starte opp igjen, spor for tømning av snø (ved oppstart), ankomst og avgangsspor (ved oppstart) og buffer (hvis det ankommer tog uten at tog kan avgå som planlagt). I tillegg regnes det med egne spor for lok, i alt 16 lok fordelt på f.eks. 2 spor. I alt er det:

Basis for vognstammer ved stopp	16
Reserve	2
Ledige spor til oppstart	2
Lokspor	2
Ankomst/avgang v. oppstart	2
Snøhåndtering ved oppstart	1
Buffer andre baner	2
Sum ut fra dimensjonerende lengde	27

Lange tog og deling av tog

Regnes det med deling av tog på grunn av at tog er for lange til sporene og at det er 50 % ekstra spor (antall) må det regnes med ca. 14 spor til, dvs. i alt 41 spor.

2.11.8 Lastespor

2.11.8.1 Elementer i operasjoner

Dimensjonering av terminalen dreier seg om antall spor (lastespor, ankomstspor og avgangsspor) og omfang av løfteutstyr (antall kraner eller reachstackere).

Det som bestemmer antall lastespor er i utgangspunktet gjennomsnittsfrekvensen i en relevant periode multiplisert med varigheten av perioden. Den relevante perioden er ikke hele rush-perioden, men en maksimalperiode som bestemmes av ruteplanen. Samme gjennomsnittsfrekvens over en lengre periode kan skjule variasjoner i perioden som allikevel gjør at behovet for antall spor varierer.

Tilsvarende situasjon for løfteutstyr. Her er en gjennomsnittsfrekvens ikke dekkende for å fange opp en maksimalbelastning hvis faktisk lasteperiode er mindre enn hele perioden det sees på.

En designparameter som derfor påvirker antall spor er derfor hvor stor variasjon og topper det er i frekvensen av antall avganger og ankomster. Med en jevn frekvens uten så store topper vil sporbehov kunne være lavere enn ved store topper. Fordeling av ruteleier for godstog på linjenettet er derfor viktig og konsekvenser for terminaler må derfor også tenkes inn i planlegging av rutemodeller/ruteplaner og kapasitet på nettet. De konkrete faktorene må vurderes i hvert enkelt prosjekt ut fra forutsetninger om oppholdstider og hvordan terminalen tenkes brukt.

En tilnærming er å *forutsette* at terminalen skal benyttes med jevne frekvenser og at det er styring av ankomsttidspunkt for lastebiler slik at last inn til terminalen kommer med samme frekvens som gjennomsnittsfrekvensen av godstog ut av terminalen. Variasjon i avgangsfrekvens kan da oppnås gjennom å regulere oppholdstid i avgangsspor. Det betyr imidlertid at noen leveranser av gods med lastebil må tidligere enn det som ellers er behovet hvis frekvensen i lastegatene følger frekvensen til og fra linjen. Dette vil i utgangspunktet være uønsket for samlastere og det sees derfor bort fra dette som standardgrunnlag for dimensjonering.

Hvis det ikke foreligger en markedsundersøkelse som tilsier en jevnere døgnfordeling av trafikken enn i dag benyttes dagens ukefordeling og døgnfordeling. Selv om dagens fordelinger kan være et resultat av rutemessige kompromisser og ikke fullt ut avspeiler markedets behov og selv om andre, framtidige typer gods kan tilsi at andre transporttider, vil det uten en markedsmessig analyse av disse forholdene ikke være grunnlag for en kvantifisering av fordelinger. Det mest rimelige utgangspunktet for både døgn- og ukefordeling er da dagens fordelinger. Samtidig er det viktig i en analyse å utføre en følsomhetsanalyse som illustrerer virkningen av endrede forutsetninger (eventuelt i scenarier).

Tidsbelegg i forbindelse med avgang og ankomst forutsettes som følger:

Belegg i lastegate

- Belegg i ankomstspor: 15 minutter til avkobling av strekningslok og påkobling av skiftelok.
- Lasting eller lossing: 1:30 time
- Margin mellom vognstammer i samme spor: 15 minutter
- Utslipp av luft fra bremses og utløsning av ved ankomst: 15 min.
Kan også skje utenfor lastegate, men da kan det være krav til hvilken ende skifteloket er i. Hvis det er buttspor i lastegatene er det ikke mulig å ha lok fremst i kjøreretningen ved skifting og utslipp av luft kan skje i ankomstspor. Ved supplerende bruk av gaffeltruck og/eller reachstacker vil løftepersonalet som benytter dette kløfteutstyret imidlertid mest hensiktsmessig være ved lastegatene. Slik at utslipp av luft antas å skje der.
Hvis utslipp av luft skjer i ankomstspor vil behovet for lastegater bli redusert men tidsbelegg i og antall ankomstspor øke.
- Kontroll og bremseprøve før avgang: 40 minutter
- Oppmelding som tog og setting av togvei ut ved avgang: 2 minutter
- Det sees bort fra etablering av skiftevei for skifting av skiftelok ut fra lastegate etter ankomst med lastet vogstamme
- Kontroll ved ankomst (utføres etter lossing), inkl. skift av bremseklosser: 30 minutter
- Belegg ved skifting inn: 3 minutter
- Belegg ved skifting ut: 3 minutter

Belegg i lastegate i forbindelse med ankomst er da $00:03+00:15+01:30+00:15+00:03 = 02:06$ timer.

Belegg i lastegate i forbindelse med avgang og lastetid på 1:30 timer er da $00:03+01:30+00:15+00:40+00:02+00:03 = 02:33$ timer.

Ankomstkontroll av vogner (inkl. skift av bremseklosser) skjer i dag etter lossing og på Alnabru i lastegaten, men kan skje andre steder hvis det er atkomst med bil til spor. Det forutsettes i dimensjoneringen at denne operasjonen ikke skjer i lastegaten men påvirker da arealbehov i andre spor når det skal sikres bredde nok til atkomst med bil er ATV.

Frakopling eller påkopling av lok skjer parallelt med lossing eller lasting. Bremsene må være koblet fra ved lasting og lossing (for at bremsene ikke skal bli ødelagt) slik at bremseprøve må utføres etter lasting og lossing. Bremseprøve skjer derfor etter lasting. Tidsbruk avhenger av antall personer som utfører kontroll. Pumping av bremsesystem med luft kan imidlertid utføres under lasting.

Lastkontroll skjer etter lasting og kan skje samtidig med bremseprøve.

Belegg i lastegate i forbindelse med ankomst og lossetid på 1:30 timer er da
 $00:03+00:15+01:30+00:15+00:03 = 02:06$ timer.

Perioden vil variere ut fra hvilke krav det stilles til måte terminalen skal fungere på (om det skal være mange kraner og få lastegater eller om det skal være få kraner men mange lastegater og lange oppholdstider (eventuelt om vognstammer skal stå i lastegate under hele oppholdet), hvilken frekvens biler ankommer med og hvilke mellomlagringsmuligheter det er etc.). Er ikke annet kjent kan det benyttes tidene som omtalt over.

2.11.8.2 Beregning av antall lastespor

I dette avsnittet gjøres det en beskrivelse av hvordan antall lastespor (spor der vognstammer kan stå og bli lastet eller losset) kan bestemmes. Det tas utgangspunkt i frekvenser og døgnfordeling for Alnabru-terminalen men volumer er for et tenkt eksempel for en noe mindre terminal.

For ankomster som skjer i rush fra kl. 17-23 er det nødvendig å anta noe om hvor stor andel av lasten (lastbærere) som skal losses i denne perioden (og retur med bil som har levert gods til terminalen). Det som ikke skal losses vil ikke belaste hverken lastegater eller løfteutstyr i avgangs-rush og forutsettes da å bli håndtert uten for maksbelastningen i rush, slik at det ikke bidrar til dimensjoneringen. Hvis ikke annet er kjent antas det at alle ankomster i rush skal losses ved ankomst (mens transport ut fra terminalen kan skje i samme periode eller etter rush).

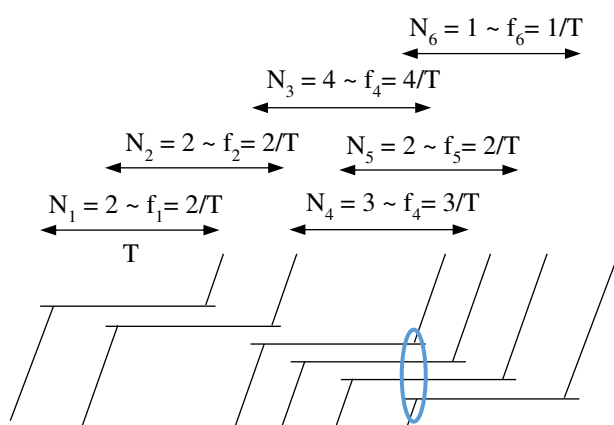
Antall lastegater bestemmes ut fra beleggstiden og gjennomsnittsfrekvens i beleggstiden. Antall spor finnes som:

Antall belagte spor = Antall belagte spor/Periode*Periode, dvs.

$$\text{Antall lastegater} = f_{\text{gjennomsnitt, maks}} * T_{\text{opphold lastegate}}$$

Perioden T er den tiden et spor er belagt, fra det settes skiftevei inn til lastespoet og inntil det kan settes skiftevei for ny vognstamme. Prinsippet for beregning er vist i Figur 80. Skrå streker viser ankomst eller avgang til lastespor og vannrette streker viser belegget av en lastegate. Frekvensen bestemmes ut fra antall tog som opptrer i løpet av perioden T. Her sees det at den største antall samtidige belegg av spor i perioden T oppstår ved N_3 , der $f_3=4/T$. Dvs. at største sporbehov er $4/T*T = 4$ (markert med blå oval i figuren).

Maksimalt antall tog som er inne på terminalen samtidig under drift settes til 90 % av antall avganger per døgn. Med 15 avganger per døgn blir antall tog som er inne på terminalen samtidig ved vanlig drift lik $90 \% \cdot 15 \approx 14$. Antall lastegater kan ikke overstige antall tog som er inne på terminalen samtidig. Med korrekte beregning av frekvens, når denne tilpasses varighet av oppholdstiden i lastegaten, ivaretas dette automatisk.



Figur 80. Belegg i lastegater i tiden T , og antall lastespor. Maksimalt belegg samtidig ved blå oval.

Frekvensen må bestemmes ut fra driftsopplegget for terminalen. Med en kjent ruteplan kan frekvensen finnes direkte og da er det også mulig å gjøre en opptelling av samtidig belegg i lastegater. Er ruteplanen ikke kjent kan det regnes generelt med en andel av døgnavganger i rush over en gitt periode. Se avsnitt 2.11.4.

I ettermiddagsrush/kveldsrush for avganger mellom kl. 17 og 23 er det også en betydelig andel ankomster. Empirisk for Alnabru i 2014 og 2015 er antall ankomster i rush 30 % - 40 % av antall avganger i rush. Med en jevn fordeling av ankomster og avganger tilsier det at det er 30 % - 40 % økt behov for antall spor og løftekapasitet, sammenlignet med antallet når det tas utgangspunkt i bare avganger. Avvik fra helt jevne frekvenser vil påvirke denne andelen og kan øke sporbehovet. Dessuten er belastningen av lastespor rush i forbindelse med ankomster er ikke knyttet 1:1 til frekvensen for ankomster i rush, siden det er forskyvning i tid mellom belastning for avgang. Som en tilnærming kan verdien allikevel benyttes for å finne et estimat for påvirkning fra ankomster.

Beregning av antall belagte lastespor kan enten beregnes empirisk med en bruttofaktor på sporbehov beregnet ut fra gjennomsnittlig avgangsfrekvens, eller det kan beregnes ut fra sporbelegg i forbindelse med avgang og ankomster for seg. Hvis det er hvordan fordelingen er av tog over døgnet og dette avviker fra dagens mønster kan metoden med belegg fra avganger og ankomster være en bedre metode enn å benytte empiriske tall basert på dagens rutetabeller.

Det mest korrekte grunnlaget finnes med en bruttofaktor som er beregnet ut fra belegg i enkeltavganger og enkeltankomster en ruteplan. Dette krever imidlertid mer beregning enn metoden med belegg fra ankomst og avganger.

2.11.8.2.1 Beregning med bruttofaktor for avgangsfrekvens

Med lastetid på 1:30 og totalbelegg ved avgang på 2:33 i lastespor er totalbehovet for antall lastespor en faktor ca. 2,0 så stort som hvis det regnes med sporbehov basert på bare *gjennomsnittsfrekvens* for avganger over hele rush. Med belegg lastetid på 2:30 og totalbelegg på 3:33 er faktoren ca. 1,6. Reduseres lastetiden til 1:00 og totalbelegg til 2:03 er faktoren ca. 2,2.

Tabell 27 viser ved ulike laste-/lossetider bruttofaktoren for antall belagte lastespor og antall samtidig betjente lastespor; sistnevnte benyttes for beregning av løftekapasitet, se avsnitt 2.11.9. Tabellen er beregnet ut fra ruteplan for 2014 og 2015 for Alnabru godsterminal med forutsetning om belegg på 1:03 time ut over selve lastetiden. Det er forutsatt at det er lastbærere å laste i hele laste-/losseperioden slik at løfteutstyr kan utnyttes i hele den angitte lasteperioden. Hvis det lang lastetid krever det større bruk av depot for å kunne utnytte løfteutstyr høyere.

Tabell 27. Bruttofaktor for belagte spor og betjente spor ut fra nominelt antall spor fra gjennomsnittlig avgangsfrekvens i rush.

Lastetid	Faktor belegg av lastespor	Faktor betjening av lastespor med løfteutstyr
01:00	2,2	1,5
01:30	2,0	1,6
02:00	1,9	1,5
02:30	1,6	1,4
03:00	1,5	1,3
03:30	1,4	1,1
04:00	1,3	1,1
04:30	1,2	1,0
05:00	1,1	1,0
05:30	1,0	1,0
06:00	0,9	0,9

Hvis det med lang lastetid er en konsentrasjon av ankomster av lastebiler i en del av perioden stiller det høyere krav til løftekapasitet og tabellen gjelder da ikke. Hvis for eksempel oppholdstiden øker med 1:00 time i lastesporet mens effektiv lastetid fortsatt er 1:30 timer (med totalt 3:33 timers belegg, mot ellers 2:33) endrer faktoren for sporbelegg seg ikke (fortsatt 1,6 siden belegget er det samme), men faktoren for samtidig betjening med løfteutstyr endrer seg til 1,0 (fra 1,4). Se avsnitt 2.11.9.2.

Hvis det er kjent hvordan ruteplanen er for en terminal skal det tas utgangspunkt i ruteplanen, og tilsvarende faktorer kan beregnes eller antall spor kan telles opp direkte. Er det ikke grunnlag nok for å sette oppå en ruteplan for terminalen kan det tas utgangspunkt i Tabell 27.

Med 15 tog per døgn er gjennomsnittsfrekvensen $15 \cdot 75\% / 6 = 1,9$ tog/time. Med belegg lastetid på 1:30 og totalbelegg på 2:33 = 2,55 timer i lastespor for avgang tilsier det et nominelt sporbehov på $1,9 \cdot 2,55 = 4,8$ spor. Med en faktor 2,0 på totalt sporbehov for samtidig belegg ankomst og avgang, på grunn av ikke helt jevn frekvens og på grunn av ankomster, er det dermed behov for $2,0 \cdot 4,8 = 9,6 \approx 10$ lastespor.

Øker lastetiden fra 1:30 til f.eks. 2:30 timer (med totalt belegg på 3,55 timer) endrer forholdstallet seg fra ca. 2 til ca. 1,6. Dette svarer da til et lastesporbehov på $1,6 \cdot (1,9 \cdot 3,55) = 10,8 \approx 11$ spor. Reduseres lastetiden til 1:00 er totalt belegg 2,05 timer og sporbehovet er $2,2 \cdot (1,9 \cdot 2,05) = 8,6 \approx 9$ lastespor.

Til sammenligning gir beregningsmetoden med volum på 450 000 TEU/år og en tog lengde på 450 m og 43 TEU/tog et behov på 14 lastespor. Dette korresponderer med at det i ruteplanen for 2014 og 2015 på Alnabru benyttes ca. 10 lastespor, men til tider har vært behov for ekstra lastegater slik at tog må vente.

2.11.8.2.2 Beregning med avgangsfrekvens og ankomstfrekvens

En annen tilnærming (enn å bruke en samlet bruttofaktor i forhold til gjennomsnittlig avgangsfrekvens) er som nevnt å beregne antall spor ut fra (a) avgangsfrekvens og oppholdstid ved avgang samt (b) ankomstfrekvens og oppholdstid ved ankomst. Det er fortsatt nødvendig å forutsette noe om fordelingen av avganger og ankomster. Det illustreres tre tilfeller med ulike forutsetninger om fordeling over døgnet.

a) Med peak-faktor og ankomster i en del av rush

Basert på data fra 2014 og 2015 regnes det for peak-in-peak i rush over ca. 2,5 time med en faktor 1,4 (frekvensen i 2,5 time er opp til 1,4 ganger høyere enn gjennomsnittet for hele rush). Antall ankomster settes til 40 % av avganger over en periode på halvparten av rushperiode.

Dimensjonerende avgangsfrekvens blir $1,4 \cdot (15 \cdot 75\% / 6) = 2,6$ tog/time. Antall spor blir = frekvens $\cdot$ oppholdstid = $2,6$ spor/time $\cdot 2,55$ time = $6,6$ spor. Ankomst blir $40\% \cdot 15 \cdot 75\% / (6/2) = 1,5$ tog/time. Antall spor blir = $1,5$ spor/time $\cdot 2,1$ time = $3,2$ spor. I sum er dette $9,8 \approx 10$ lastespor (også beregnet til 10 med bruttofaktor).

Beleggstiden per spor er vektet for avganger og ankomster lik $(100\% \cdot 2,55 + 40\% \cdot 2,1) / (100\% + 40\%) = 2,42$ timer. Samlet betjeningsfrekvens per spor er da $1/2,42 = 0,41$ tog/time. Med 10 spor er samlet mulig frekvens $10 \cdot 0,41 = 4,1$ tog/time. Samlet etterspurt frekvens er $2,6 + 1,5 = 4,1$ tog/time. Antall *lastegater* totalt er da dekkende for frekvensen.

b) jevn fordeling av ankomster og avganger i rush

Avgang: $75\% \cdot 15 / 6 = 1,9$ tog/time. Dvs. $1,9 \cdot 2,55 = 4,8$ spor. Ankomst: 40 % av tog: $40\% \cdot 15 \cdot 75\% / 6 = 0,8$ tog/time. Sporbehov er $0,8 \cdot 2,1 = 1,7$ spor. Samlet er det behov for $6,5 \approx 7$ lastespor i bruk samtidig.

c) jevn fordeling over hele døgnet

Det antas 20 timers driftsdøgnet. Siden det er jevnt frekvens hele døgnet må det regnes med både avganger og ankomster samtidig. Ankomst: belegg i 2,1 timer, dvs. $15/20 \cdot 2,1 = 1,6$ spor. Avgang: belegg i 2,55 timer, dvs. $15/20 \cdot 2,55 = 2,0$ spor. Samlet behov er $3,6 \approx 4$ lastespor.

Det sees at forutsetninger om driftsmønster og maksimale frekvenser har stor betydning for antall lastespor.

2.11.8.3 Reservespor og deling i grupper

Det bør i utgangspunktet være ett reservespor i en lastesporgruppe. Deles lastegaten i grupper med hensyn til kraner blir det ett reservespor per gruppe.

Med 10 lastespor kan det tenkes 2 grupper. Med reservespor blir det da $2 \cdot (5+1) = 12$ spor.

2.11.8.4 Deling av tog på grunn av lengre tog enn spor

Hvis det planlegges med deling av tog er det i tillegg nødvendig med et tillegg for å håndtere tog som er lengre enn gjennomsnittet. Se avsnitt 2.11.6.

Antall lastegater er inkludert i antall spor som identifiseres for å håndtere antall tog som er inne samtidig på terminalen ved statisk kapasitet (se avsnitt 2.11.7).

2.11.9 Løftekapasitet

2.11.9.1 Generelt

Mens vognstammer er i lastesporene må de betjenes med kran, reachstacker eller gaffeltruck. Nødvendig løftekapasitet er knyttet til frekvensen av tog inn og ut av terminalen.

En kran kan som tommelfingerregel løfte 24 enheter per time med en utnyttelse på ca. 80 %. En reach stacker løfter som tommelfingerregel 1 enhet per 3 minutter, dvs. effektivt er det $80\% \cdot 60 \text{ min/time} / 3 \text{ min/løft} = 16 \text{ løft/time}$. Gaffeltruck er raskere enn reachstackere men krever også mer areal enn kran. Reachstackere og gaffeltrucker er mer fleksible enn kraner og til dels raskere, men de tar mer plass for å manøvrere og kan komme i veien for hverandre ved store volumer. De krever også en annen type underbygging (på grunn av høyt akseltrykk) i lastegateområdene. Det regnes med ca. 1,5 TEU per enhet som løftes (gjennomsnitt av ulike typer lastbærere med ulik størrelse).

En del enheter løftes to ganger, først fra tog til bakken og siden fra bakken til bil. Det regnes med at dette skjer i lavtrafikkperioder (ankomst om natten), slik at løftekapasitet for kraner eller reachstackere kan dimensjoneres ut fra at det bare ett løft per enhet i maksbelastningen.

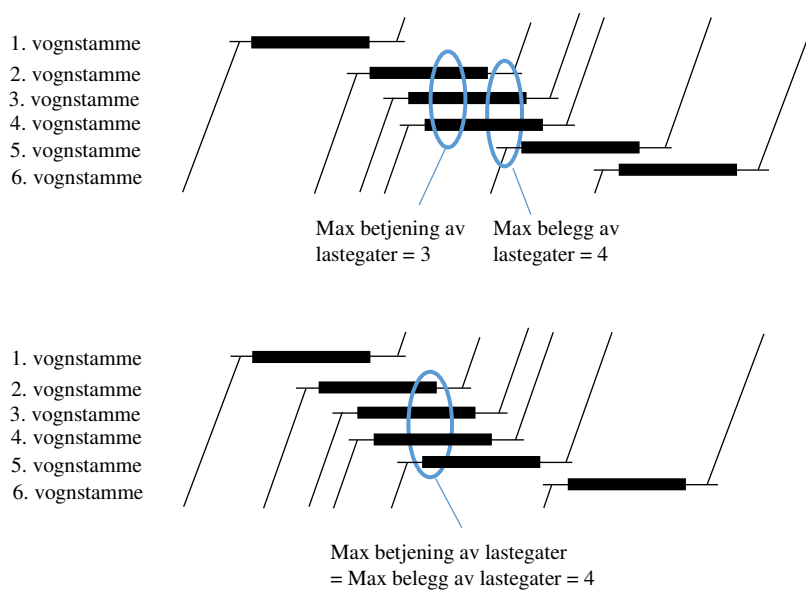
For ankomster som skjer i rush fra kl. 17-23 er det nødvendig å anta noe om hvor stor andel av lasten (lastbærere) som skal losses i denne perioden (og retur med bil som har levert gods til terminalen). Det som ikke skal losses vil ikke belaste hverken lastegater eller løfteutstyr i avgangs-rush og forutsettes da å bli håndtert uten for maksbelastningen i rush, slik at det ikke bidrar til dimensjoneringen. Hvis ikke annet er kjent antas det at alle ankomster i rush skal losses ved ankomst (mens transport ut fra terminalen kan skje i samme periode eller etter rush).

Det tenkes at hver vognstamme betjenes med kran i en andel av beleggstiden for hver lastegate, illustrert ved en svart boks på strekene i Figur 81. De tynne strekene er belegg i lastespor og de svarte boksene er betjening med kran.

Siden tiden en vognstamme betjenes med kran (eller annet løfteutstyr) er mindre enn beleggstiden i lastesporet er det rimelig å forvente at antall samtidig betjente spor er mindre enn antall samtidig belagte spor. Imidlertid gjør det at perioden er kortere at frekvensen av tog kan være høyere og dette

må tas med i betraktningen. Det er i Figur 81 vist to situasjoner med samme antall samtidig belagte spor, men forskjellige antall samtidig betjente spor, avhengig av variasjoner i frekvens innen for *beleggstiden* av lastespor. Peak-in-peak-faktoren for frekvenser må da beregnes spesielt for perioden med betjening av kran.

I tillegg er det samtidige ankomster av tog som må betjenes av løfteutstyr.



Figur 81. Tidsbelegg i lastegater (vannrette streker) og betjeneringer med kran (svarte bokser).

Beregning av antall kraner eller reachstackere kan finnes ut fra (a) en empirisk faktor som multipliseres på sporbehov funnet ut fra gjennomsnittsfrekvens for avgang i rush eller ut fra (b) ankomst- og avgangsfrekvenser av tog. Dette omtales i de følgende avsnittene.

2.11.9.2 Beregning med faktor på gjennomsnittlig avgangsfrekvens

Det sees i dette avsnittet på en beregningsmetode for løftekapasitet der det bestemmes antall lastespor som er under lasting eller lossing samtidig og der antall kraner finnes med utgangspunkt i antall lastespor under lasting eller lossing.

2.11.9.2.1 Beregning med peak-in-peak i rushperioden

Løftebehov i rushperiode

Ut fra ruteplan for 2014 og 2015 og en forutsetning om lastetid på 1:30 finnes forholdstall mellom (i) antall vognstammer som er til lasting eller lossing samtidig (beregnet ut fra ideelle tider før avgang og etter ankomst) og (ii) nominelt antall lastespor basert bare på gjennomsnittlig avgangsfrekvens i rush, til en faktor ca. 1,6. (Med lastetid 1:00 timer er faktoren 1,5 og med en lastetid på 2:30 timer finnes faktoren til ca. 1,4.) Antall vognstammer som betjenes samtidig kan da finnes som antall spor som belegges for avganger multiplisert med faktoren.

Faktoren er vist ved ulike verdier av lastetid i Tabell 27 på side 152 i avsnitt 2.11.8.2 (tabellen er basert på beregninger for Alnabru med ruteplan 2014 og 2015).

Som en kommentar til faktoren 1,6 kan det nevnes at i avsnitt 2.11.8.2 ble det nevnt at antall lastespor kan finnes ut fra gjennomsnittlig avgangsfrekvens med en faktor 2,0 (når beleggstiden er 2:33 timer). Dvs. at det i gjennomsnitt er lasting på $1,6/2 = 80\%$ av lastesporene. Forholdstallet mellom lastetid og beleggstid er $1:30/2:33 = 59\%$. Dvs. at variasjon i frekvens av tog innen for perioden av lastetiden avviker fra gjennomsnittsfrekvensen i beleggstiden, slik at andel av lastespor som betjenes øker fra gjennomsnittlig 59 % til 80 %.

Med 15 tog per døgn er gjennomsnittlig avgangsfrekvens i rush lik $15 \cdot 75\% / 6 = 1,9$ tog/time. Det tilsier da at det er $1,6 \cdot (1,9 \text{ vognstamme/time} \cdot 2,55 \text{ time}) = 7,8 \approx 8$ vognstammer under lasting eller lossing samtidig. (Antall *lastespor* ble i avsnitt 2.11.8.2 funnet til 10. Dette svarer da til en samtidig lasting av 90 % av antall lastespor.)

Gitt at alle vognstammer skal betjenes samtidig, med samme laste- eller lossefrekvens i hele lasteperioden, er det behov for $8 \text{ vognstammer} \cdot 58 \text{ TEU/vognstamme} / 1:30 \text{ time} = 310 \text{ TEU/time}$. Med ca. 1,5 TEU/løft er det $310/1,5 = 207$ løft/time, noe som gir et behov for $207/24 = 8,6 \approx 9$ kraner.

Benyttes det reachstackere kreves det i tilsvarende $207/16 \approx 13$ reachstackere.

Med 2:30 timers lastetid øker belegget til 3:55 timer og faktoren for antall samtidige betjeneringer med løfteutstyr er jf. Tabell 27 lik 1,4. Antall samtidige lastespor under betjening er da $1,4 \cdot 1,9 \cdot 3,55 \approx 10$. Dette gir behov for $10 \cdot 58 / 2,5 / 1,5 / 24 = 6,4 \approx 7$ kraner.

Tilsvarende rush for avgangs er det en rushperiode for ankomst. Det antas ut fra Figur 77 for Alnabru at rushperioden for ankomst ikke er dimensjonerende.

Laste- og lossetid - og annen tidsbruk - avhenger av omfanget av personalressurser, men hvis ikke annet er kjent benyttes det 1:30 timer for lasting henholdsvis lossing. Økt laste- og lossetid vil føre til lavere, dimensjonerende frekvens og behov for færre kraner.

Løftebehov uten om rush

Det antas ut fra Figur 77 for Alnabru at belastning i lastegater og for kraner ved ankomst slutter ca. kl. 10 og at belastning ved rush start kl. 15.

Settes belastning ved ankomst lik avgang er det da en gjennomsnittlig belastning på 25 % av avganger og 25 % av ankomster i løpet av 5 timer utenom rush. Med 15 ankomster og 15 avganger per døgn er det da $15 \cdot 25 \% + 15 \cdot 25 \% \approx 8$ ankomster og avganger fordelt på 5 timer. Med 8 ankomster og avganger fordelt på 10 spor over 5 timer er det en gjennomsnittlig oppholdstid på $10 / (8/5) = 6,3$ timer per spor.

Frekvens av biler antas å være lik frekvens av tog i gjennomsnitt og at 50 % av løft skjer direkte til/fra bil og 50 % via korttidsdepot (50 % av biler er på plass akkurat når relevant lastbærer løftes). Dette øker da antall løft til det det dobbelte og øker kranbehov med en faktor $50 \% \cdot 1 + 50 \% \cdot 2 = 1,5$ i forhold til nominelt antall.

Hvis det regnes med 4 timers tilgjengelig laste- eller lossetid er behov for en løftekapasitet på $1,5 \cdot (10 \text{ spor} \cdot 58 \text{ TEU/spor} / 4 \text{ timer} / 1,5 \text{ løft/TEU} / 24 \text{ løft/kran}) = 6,04 \approx 7$ kraner. Kranbehovet i rush (9 kraner) overstiger dermed kranbehovet over resten av døgnet selv om det er doble løft uten om rush.

Konsentrasjon av lastebilankomster i beleggstiden

Hvis det med lang lastetid er en konsentrasjon av ankomster av lastebiler i en del av perioden stiller det høyere krav til løftekapasitet og Tabell 27 gjelder da ikke. Hvis for eksempel oppholdstiden øker med 1:00 time i lastespor mens effektiv lastetid fortsatt er 1:30 timer (med totalt 3:33 timers belegg, mot ellers 2:33) endrer faktoren for sporbelegg seg ikke (fortsatt 1,6 siden belegget er det samme), men faktoren for samtidig betjening med løfteutstyr endrer seg til 1,0 (fra 1,4). Antall nominelle lastespor er da $1,6 \cdot 1,9 \text{ tog/time} \cdot 3,55 \text{ time} = 10,8 \text{ tog} \approx 11$ spor, som tidligere beregnet. Antall lastspor under betjening er lik $1,0 \cdot 1,9 \text{ tog/time} \cdot 3,55 \text{ timer} = 6,7 \text{ tog} \approx 7$ spor. Dette tilsvarer $7 \cdot 58 / 1,5 / 1,5 / 24 = 7,5 \approx 8$ kraner (med 1:30 timer som både nominell og effektiv lastetid ble antall kraner tidligere i dette avsnittet beregnet til 10 kraner). Dvs. at med samlet belegg på 3:33 timer med konsentrasjonen av lastebiler til en del av lastesporbelegget øker antall kraner fra 7 kraner (beregnet tidligere) til 8 kraner selv om sporbelegget er det samme.

2.11.9.2.2 Jevn fordeling over døgnet

Til sammenligning beregnes det hva en helt jevn fordeling av frekvens over døgnet betyr for behov for løftekapasitet. Det antas 20 timers driftsdøgn. Er det en rushperiode eller også en topp i rushperioden kan det forutsettes at løft av tomme lastbærere skjer utenom rushperioden eller toppen i rushperioden. Ved jevn fordeling over døgnet må det imidlertid tas hensyn til doble løft i driftsdøgnet siden biler må betjenes samtidig med lasting/lossing på vogner.

Frekvens av biler antas å være lik frekvens av tog i gjennomsnitt men at 50 % av løft skjer direkte til/fra bil og 50 % via korttidsdepot (50 % av biler er på plass akkurat når relevant lastbærer løftes). Dette øker da antall løft til det det dobbelte og øker kranbehov med en faktor $50 \% \cdot 1 + 50 \% \cdot 2 = 1,5$.

Frekvens totalt sett er $(15+15)/20 = 1,5 \text{ tog/time}$. Med beleggstid på gjennomsnittlig $(2,55+2,1)/2 = 2,3$ time er antall belagte spor lik $1,5 \cdot 2,3 = 3,5 \approx 4$.

Dette gir et kranbehov på:

$4 \text{ spor} \cdot (1,5 \cdot 58 \text{ TEU/spor}) / 1,5 \text{ time} / 1,5 \text{ TEU/løft} / 24 \text{ løft/time} = 6,4 \approx 7$ kraner. Benyttes reachstackere finnes behovet til 10 reachstackere.

2.11.9.3 Beregning ut fra ankomst- og avgangsfrekvens

Det kan benyttes samme prinsipp for beregning av antall samtidige betjening av antall lastegater som ved bestemmelse av antall belagte lastegater.

Antall kraner kan finnes ut fra ankomst- og avgangsfrekvens for betjening av lastespor som:

$$N_{\text{kraner}} = N_{\text{betjening, spor}} * \text{Volum vognstamme} / \text{Løft}_{\text{per volumenhet}} / T_{\text{betjening}} / \text{Løft}_{\text{kapasitet, kran}} \Leftrightarrow$$

$$N_{\text{kraner}} = f_{\text{betjening, spor}} * \text{Volum vognstamme} / \text{Løft}_{\text{per volumenhet}} / \text{Løft}_{\text{kapasitet, kran}}$$

Det gjøres en beregning med peak-in-peak-faktor.

Ut fra formelen over beregnes antall kraner ut fra summen av avgangs- og avgangsfrekvens. Avgangsfrekvensen har over en periode på 1:30 timer empirisk en peak-in-peak-faktor på ca. 1,8 for avgangsfrekvens. Ankomster belaster lastegater og løfteutstyr forskyvet i tid (senere) enn avganger. Frekvensen for belegg og løft med hensyn til ankomst er senere enn belastningen for avganger. Det regnes forenklet med at ankomster belaster med 40 % av denne frekvensen for samtidige ankomster som betjenes i lastegater.

Samlet, dimensjonerende frekvens er da $1,8 * 1,9 \text{ tog/time} * (1 + 40 \%) = 4,8 \text{ tog/time}$. Antall kraner blir da lik:

$$N_{\text{kraner}} = 4,8 \text{ tog/time} * 58 \text{ TEU/tog} / 1,5 \text{ løft/TEU} / 24 \text{ løft/time/kran} = 7,7 \approx 8 \text{ kraner. (I avsnitt 2.11.9.2 om bruttofaktor ble behovet beregnet til 9 kraner.)}$$

Benyttes reachstacker finnes behovet til $4,8 * 58 / 1,5 / 16 = 11,6 \approx 12 \text{ reachstackere}$. (I avsnitt 2.11.9.2 om bruttofaktor ble behovet beregnet til 13 reachstackere.)

Litt ulike faktorer medfører at det blir litt ulike verdier men resultatene er i samme størrelsesorden. Hvis det foreligger grunnlag for å utføre begge typer beregninger (avsnitt 2.11.9.2 og 2.11.9.3) kan det benyttes største antall kraner henholdsvis reachstackere hvis det er forskjell i resultatene.

2.11.9.4 Inndeling av lastespor i grupper

Siden kraner bare kan betjene spor i sin egen gruppe er det ikke sikkert at løftekapasiteten per gruppe er tilstrekkelig selv om gjennomsnittet over alle sporgrupper er tilstrekkelig. Med inndeling av lastespor i sporgrupper må det sikres at det per gruppe er nok løftekapasitet til å håndtere løftebehovet i hver gruppe.

Eksempel

Antall lastegater er i utgangspunktet 10 (se avsnitt 2.11.8.2.12.11.8.2) og antall kraner er tilsvarende lik 9 (2.11.9.2.1).

Det antas som eksempel at arealmessige utfordringer medfører inndeling i tre lastesporgrupper med henholdsvis 3, 3 og 4 spor.

Antall kraner i gruppen med 3 lastespor er proporsjonalt lik da $(3/10) * 9 = 2,7 \approx 3 \text{ kraner}$.

Antall kraner i gruppen med 4 lastespor er proporsjonalt lik da $(4/10) \cdot 9 = 3,6 \approx 4$ kraner.

Samlet kranbehov er da $2 \cdot 3 + 4 = 10$. Sett under ett (en gruppe) var behovet 9 kraner, mens inndelingen i sporgrupper gjør at samlet antall kraner øker til 10.

2.11.10 Reservespor

Samtidig som det er nødvendig å håndtere tog i en dynamisk situasjon (ankomst, avgang og skift) er det samtidig nødvendig med et antall reservespor og et antall vogner med reservemateriell. Spor til reservemateriellet er i avsnitt 2.11.7 satt til 2 spor.

2.11.11 Avisingsanlegg

Avising antas å gi behov for 2 spor i makstimen. Dette behovet må også analyseres nærmere i en konkret analyse, ut fra frekvens av tog, andel tog som må avises, tidsbruk for avising og behov for samtidig betjening av vognstammer.

2.11.12 Lokspor

Flere lok kan stå i samme spor. Med opp til 15 tog inne samtidig må det også være plass til 15 lok. Det regnes med at dette håndteres på 2 spor.

2.11.13 Dynamisk sporkapasitet

Samtidig som det er f.eks. $90\% \cdot 15 \approx 14$ vognstammer inne på terminalen samtidig må det være spor nok til å foreta ulike skifteoperasjoner. Det dreier seg om skifting til og fra lastegater, skifting for å ta ut vogner med feil, skifting for uttak eller påsett av vognlastvogner og skifting for å skjøte eller dele lange tog.

2.11.13.1 Skifting til og fra lastespor

Belasting av sporforbindelser i forbindelse med skifting til og fra lastespor skjer når vognstammer skiftes til lastespor for lasting eller lossing og når vognstammer skiftes fra lastespor etter lasting eller lossing (eller når tog kjøres fra lastegate). Generelt er det to skiftebevegelser i forbindelse med at en vognstamme kjøres til eller fra lastespor: skifting av vognstamme inn i lastegate og skifting av skiftelok ut fra lastespor, eller motsatt

Løft fra bil til godsvogner i forbindelse med avgang skjer før selve avgangstidspunktet og løft fra godsvogner til bil i forbindelse med ankomst skjer etter selve ankomsttidspunktet. Hvis oppholdstid i en lastegate f.eks. er 2 timer vil en avgang belaste lastegaten fra 2 timer før avgang og ved avgang. Tilsvarende ved ankomst der belastningen er fra f.eks. 15 minutter etter ankomst (frakopling av lok og påkobling av skiftelok) til 2:15 timer etter ankomst når tom vognstamme skiftes ut fra lastegate.

En avgang f.eks. kl. 20:00 belaster da sporforbindelser ved skifting til og fra lastegate rundt kl. 18 og ved skifting før kl.20 og ved avgang kl. 20. En ankomst kl. 20:00 belaster tilsvarende sporforbindelser ca.

20:15 og 22:15. Selv om det er avgang og ankomst på samme klokkeslett er det f.eks. 0,25 og 4,25 time forskyvning på tiden når lastegaten belastes.

Grovt regnet kan antall skift finnes som en faktor 4 av avgangsfrekvensen hvis utstrekningen i tid av maksimalperioden er større enn beleggstiden i lastegaten. I tillegg kommer belastning av ankomster med to skiftebevegelser, men sannsynligvis bare gjør dette en gang i maksperioden for avganger. Summen av antall skift blir da ca. $4 \cdot \text{Avgangsfrekvens} + 40\% \cdot 2 \cdot \text{Avgangsfrekvens} = 4,8 \cdot \text{Avgangsfrekvens}$.

I ruteplan for 2014 og 2015 er det observert at antall skift i en time er en faktor 4 til 5 av avgangsfrekvensen i en time. Hvis ikke ruteplanen er kjent kan det regnes med en faktor 5 som dimensjoneringsgrunnlag.

I eksemplet er det da med nominelt 1,9 tog/time i rush og en peak-faktor på 2 for maksimalfrekvens i en time opp til 3,8 tog/time i avgang, Antall skift er da opp til $3,8 \cdot 5 = 19$ per time.

Sporforbindelser inn og ut av lastegater må da dimensjoneres slik at det er nok kapasitet til denne frekvensen. Med tillatt 75 % utnyttelse og et tidsbelegg på omtrent 3 minutter er det kapasitet til $75\% \cdot 60/3 = 15$ skift per time i en sporforbindelse. Det må da være minst $19/15 \approx 1,3 \approx 2$ uavhengige sporforbindelser mellom lastegatene.

Deles i eksemplet området med lastegater i moduler bør det være minst 2 uavhengige skifteveier inn og ut av lastegatene per modul.

Hvis terminalen har gjennomkjøringsspor i lastegatene trenger skift ikke å være i samme ende av lastespor og dette må da tas i betraktning når det vurderes hvor høy belastningen blir med skiftebevegelser.

2.11.13.2 Skifting for vogner med feil

Det antas at opp til 25 % av alle tog (vinterstid) kan ha feil på vogner som skal skiftes ut av vognstammene. Skifting av nye vogner inne i vognstammene antas å bli foretatt uten om avgangs-rush. Skifting av vogner ut av vognstammene antas å bli foretatt i avgangsrush for de togene som kommer i denne perioden.

Dimensjonerende ankomstfrekvens 80 % av avgangsfrekvens, dvs. $80\% \cdot 3,8 \text{ tog/time} = 3,0 \text{ tog/time}$ (se avsnitt 2.11.4). Med 25 % feil er det ca. 0,8 tog/time med feil.

Hvis det tar en halv time å håndtere (ta ut) vogner med feil - dette må defineres ut fra forutsetninger om skiftelok, personalressurser - kan en skiftegruppe håndtere 2 tog per time. Det er da i utgangspunktet nok med én gruppe.

For å håndtere overlapp regnes det med to grupper. For en gruppe regnes det med at det er nødvendig med opp til 4 ekstra spor. I alt kreves det da 8 spor. Den ene gruppen kan benyttes som reserve i fellesskap med skiftegruppe for vognlast (se avsnitt 2.11.13.3).

2.11.13.3 Skifting for vognlastvogner og deling/skjøting

Det antas at 25 % av alle tog skal skifte vognlastvogner inn eller ut (enten for sammensetning med andre tog eller for lasting og lossing i spor med lasterampe). Avhengig av hvor vogner skal hentes og plasseres i

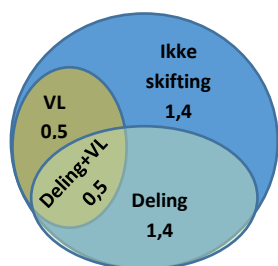
toget kan det kreve opp til 5 spor i skifteprosessen. Det ene sporet er allerede inkludert i beregningen av behov for antall spor når det er tog inne samtidig. Nettobehov er da opp til 4 spor per skiftegruppe.

Dimensjonerende frekvens settes til 3,8 tog/time (se avsnitt 2.11.4).

Det antas at 50 % av togene som krever deling på grunn av toglengde er det (hvis terminalen dimensjoneres etter maksimal toglengde vil dette falle bort):

- $3,8 \cdot (100\% - 25\%) \cdot (100\% - 50\%) = 1,4$ tog/time som ikke krever skifting i det hele tatt
- $3,8 \cdot (100\% - 25\%) \cdot 50\% = 1,4$ tog/time som krever skifting på grunn av bare deling/skjøting
- $3,8 \cdot 25\% \cdot (100\% - 50\%) = 0,5$ tog/time som krever skifting bare på grunn av vognlast
- $3,8 \cdot 25\% \cdot 50\% = 0,5$ tog/time som krever skifting på grunn av både vognlast og deling/skjøting

Fordelingen er illustrert i Figur 82.



Figur 82. Fordeling av antall skifteoperasjoner per time etter kategori. VL=vognlast.

Det må da kunne foretas skifting med hensyn til lengde for $0,5 + 0,5 = 1,0$ tog/time.

Hvis skifting med hensyn til bare deling/skjøting tar 20 min, klares det 3 operasjoner per time med ett uttrekksspor (trekker første del ut i uttrekkssporet og rygger inn og hender andre del).

I alt er det 1,9 skift per time med deling/skjøting. Det er da mulig med å klare skift for bare deling/skjøting med $1,9/3 = 0,6 \approx 1$ spor. I tillegg er det nødvendig med et ekstra spor i reserve for å håndtere overlapp i operasjoner ved forsinkelser. I alt kreves det da 2 uttrekksspor.

Skifting med hensyn til vognlast er mest krevende og krever 4 spor ekstra. Det antas at det klares to skift per time. Det er samlet $0,5 + 0,5 = 1,0$ skift per time på grunn av vognlast. (Halvparten av disse skifter eventuelt også på grunn av deling.) Det kreves da $1,0/2 = 0,5 \approx 1$ skiftegrupper, i alt $1 \cdot 4 = 4$ ekstra spor.

Deling av tog

Hvis det planlegges med deling av tog grunnet tog som er lengre enn gjennomsnittet er det som vist over nødvendig med 2 spor ekstra.

Samlet sporbehov

Samlet sporbehov (uten uten deling og skjøring på grunn av tog som er lengre enn spor) er 4.

Med skjøring og deling på grunn av lange tog er antall spor 2 uttrekksspor + 4 skiftespor = 6 spor.

For å håndtere overlapp bør det være en reservegruppe. For en gruppe regnes det med at det er nødvendig med opp til 4 ekstra spor. Reservegruppen kan benyttes som reserve i fellesskap med skiftegruppe for uttak av vogner med feil (se avsnitt 2.11.13.2).

2.11.13.4 Ankomst og avgangsspor

Når det gjelder ankomstspor- og avgangsspor er frekvensen i sporene knyttet direkte til nettet uten for terminalen. Avgangsspor må da kunne håndtere nok tog til å gi avgangsfrekvensen og ankomstspor må kunne ta imot nok tog svarende til ankomstfrekvensen (ankomstfrekvens til avgangsspor og avgangsfrekvens fra ankomstspor kan reguleres gjennom oppholdstid). Antall spor bestemmes ut fra gjennomsnittlig avgangs- eller ankomstfrekvens i beleggperioden. Denne vil variere og det kan være et *valg* ut fra måten terminalen skal fungere på.

Ved ankomst regnes det med at strekningslok må kobles fra og skiftelok kobles på slik at vognstamme kan skyves eller trekkes til lastegate (som ikke har kontaktledning). Dette belegger ankomstspor.

Ved avgang er det ikke alltid nødvendig med skiftelok før avgang, men det regnes med at det er fordelaktig med et avgangsspor som uansett kan benyttes som bufferspor før avgang hvis det er forsinkelser på linjen.

Belegg av lastegater begynner når det setets skiftevei til lastegate og slutter når skiftevei oppløses etter at vognstamme er skiftet ut av lastegate igjen.

Tidsbruk i lastegate avhenger av lengde på vognstamme og løftekapasitet, men hvis ikke annet er kjent kan det regnes med følgende verdier som tommelfingerregel:

Samtidig med en topp i avgangsfrekvens er det også ankommende tog. Avgående tog og ankommende tog belaster imidlertid lastegater til forskjellige tider selv om de har avgang og ankomst på samme tid. Nettovirkningen er uansett at det er behov for flere lastegater enn det som bare avgående tog tilsier.

Det forutsettes hvis ikke annet er kjent at det i spissbelastinger er like mange ankomster som avganger (en ruteplan og sporbeleggsplan vil vise nøyaktig hvor mange spor det er behov for).

Det antas at det er 20 minutters belegg av ankomstspor og avgangsspor. Et avgangsspor klarer da 3 ankomster eller avganger per time. (Hvis bremseprøve foretas i avgangsspor vil oppholdstiden øke og sporbehovet bli større enn det som vises her.)

Sum av avgangs- og avgangsfrekvens i lastegater settes til $2 \cdot 3,8 = 7,6$ tog/time (se avsnitt 2.11.4). Antall avgangs- og ankomstspor er da lik $7,6/3 = 2,5 \approx 3$ spor. 3 spor håndterer da inntil 9 ankomster og avganger per time.

2.11.13.5 Samlet sporbehov for dynamisk kapasitet

Samlet sporbehov for dynamisk kapasitet er:

Antall spor for tog inne på terminal samtidig (herav lastegater 10, resterende 5 er hensetting)	15
Ekstra spor på lastegater (2 grupper)	2
Ankomst og avgangsspor	3
Skiftespor ved deling og vognlast	4
Skiftespor for å håndtere feil	4
Reserveskiftegruppe	4
Reserve	2
Avising	3
Spor til lok	2
Sum antall spor	39

Deling av tog på grunn av lengre tog enn spor

Planlegges det med deling av 50 % av tog er det nødvendig med flere spor. Tillegg for lengre tog enn gjennomsnittslengde er da $50 \% \cdot 39 = 20$ tog ekstra (ved like mange tog over som under gjennomsnittslengden). I alt kreves det da omtrent 59 spor.

2.11.14 Dimensjonerende sporbehov

Det dimensjonerende sporbehovet med tanke på *antall spor* på terminalen sees å stamme fra den dynamiske kapasiteten, da med 39 spor (størst av 39 og 28), eller 59 ved deling av tog (størst av 59 og 42).

Sporplan må utformes ut fra behov for dynamisk kapasitet, dvs. behovet for å kunne motta og sende tog samt skifte tog til og fra lastegater og håndtere skift av vogner for vognlast og verksted.

Dvs. at spor må plasseres i forhold til hverandre slik de funksjonene som er omtalt i avsnitt 2.11.13 kan utføres på en rasjonell måte. Det innebærer at det ikke er unødig lange skifteveier på terminalen og at det er tilstrekkelig sporkapasitet (uavhengige tog- og skifteveier) mellom sporgrupper til at det ikke er flaskehalser.

Det er altså ikke i de 39 sporene i avsnitt 2.11.13 tatt med *sporforbindelser* mellom sporområder

2.11.15 Areal

Arealbehov kommer fra

- Spor
- Utbredelse vekselgrupper (vifter)
- Korttidspot for lastbærere (ved kran og mellom lastegategrupper)
- Langtidsdepot for lastbærere
- Kontorbygg
- Atkomstveier
- Areal mellom lastespor for å kjøre reach stackere eller gaffeltruck

Det må i hvert tilfelle sees på arealbehov ut fra hvilke typer atkomstveier etc. som benyttes og hvilken type løfteutstyr som benyttes.

2.12 Kjøretidsberegning

2.12.1 Akselerasjoner og retardasjoner

Et forhold som det må tas hensyn til ved beregning av kjøretider er komfort for de reisende om bord i toget. Hvis det bremses eller akselereres for hardt er det ubehagelig og vanskelig å bevege seg om bord med bagasje.

Ved beregning av teoretisk kjøretid (stram kjøring uten tillegg) legges det derfor til grunn et tak for togets akselerasjon og retardasjon. Disse maksimalverdiene er vist i Tabell 28. Verdiene gjelder både akselerasjon (dvs. akselerasjon fra stående) og retardasjon for følgende togkategorier (er et gitt materiells faktiske maksimalytelse lavere benyttes laveste verdi):

Ved beregning av den teoretiske kjøretiden benyttes også en regel om at det ikke akselereres til en hastighet hvis denne ikke kan holdes en viss tid før det igjen må bremses. Denne tiden er også angitt i Tabell 28.

Tabell 28. Grenser for akselerasjon og minste tidsperiode for å akselerere.

Togkategori	Maks akselerasjon og retardasjon	Minste tidsperiode med konstant hastighet mellom akselerasjon og retardasjon
Fjern ekspress	0,50 m/s ²	30 s
Fjern	0,50 m/s ²	30 s
Region ekspress	0,65 m/s ²	30 s
Region	0,65 m/s ²	20 s
Flytog	0,65 m/s ²	30 s
Lokaltog	1,00 m/s ²	10 s
S-tog	1,00 m/s ²	10 s
Godstog	Akselerasjon begrenset til kraft på maks. 600 kN på konv. kopling	30 s

Energieffektiv kjøring kan også tas med i beregning av teoretisk kjøretid uten tillegg.

Alle disse forholdene gir eller kan gi en lavere topphastighet enn det toget teknisk kan prestere og er derfor en del av robusthetstillegget.

2.12.2 Om beregning av gjennomsnittshastigheter

Hastighetene v_1 og v_2 på ny trase henholdsvis gammel trase, er gjennomsnittshastigheter beregnet ut fra samlet kjøretid på den aktuelle avstanden s_{11} og s_2 . v_1 vil typisk være konstant og kjent hvis det bygges en ny bane. Hastigheten v_2 på gammel bane vil derimot kunne variere ganske mye med strekningen og resulterende v_2 vil derfor avhenge av hvor og hvor lang s_2 er. Før det er kjent hvor lang s_2 blir må det antas en hastighet v_2 . Hvis hastigheten varierer langs banen vil v_2 kunne bli en annen når s_2 er beregnet og s_2 er kjent. Beregningen må da gjennomføres på nytt med den nye verdien av v_2 . Denne iterasjonen må gjentas inntil s_2 og v_2 ikke endrer seg (mer enn en spesifisert toleranse).

Gjennomsnittshastigheten beregnes ut fra samlet avstand og samlet tid, ikke som et vektet gjennomsnitt av hastigheter. Et eksempel viser forskjellen over en strekning med to delatrekniger, a og b:

$s_a=10$ km, $v_a=100$ km/t, $s_b=20$ km, $v_b=160$ km/t.

Samlet tid = $(10 \text{ km}/100 \text{ km/t} + 20 \text{ km}/160 \text{ km/t}) \cdot 60 \text{ min/t} = 13,5 \text{ min}$.

Korrekt gjennomsnittshastighet er da lik $(10 \text{ km} + 20 \text{ km}) / (13,5 \text{ min}/60 \text{ min/t}) = 133,3 \text{ km/t}$.

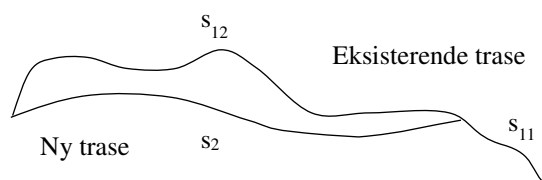
Vektet hastighet ut fra avstand er lik $100 \cdot 10 / (10+20) + 160 \cdot 20 / (10+20) = 140 \text{ km/t}$, hvilket er forskjellig fra korrekt gjennomsnittshastighet. Kjøretiden (uten akselerasjonstap) m vektet hastighet er lik $30/140 \cdot 60 = 12,9 \text{ min}$, hvilket er da 0,6 minutter feil.

2.12.3 Kjøretidsbesparelse ved innkorting av trase

Hvis kjøretid skal forkortes med en viss tid ved å bygge en ny og kortere samt raskere bane kan det beregnes hvor lang den nye banen skal være for å oppnå den ønskede tidsbesparelsen.

Det vises her hvordan lengde av ny trase beregnes, gitt at hastighet på dagens trase, hastighet på ny trase og en lengdefaktor som angir lengdeforhold mellom ny og erstattet trase.

Figur 83 viser en skisse av dagens trase som er delt opp i to deler s_{11} og s_{12} . Hastighet økes til v_2 på s_2 (ny strekning). s_{11} er urørt. Strekning s_{12} er trase som erstattes med s_2 . Ny trase har en lengde som er lik s_2 . Lengdefaktoren kalles λ , dvs. $\lambda = s_2/s_{12}$. v_2 settes lik av_1 , der a er hastighetsfaktoren.



Figur 83. Lengder av eksisterende og ny trase.

Den faktiske lengdefaktoren og hastighetsfaktoren og gjennomsnittshastighet på banen som erstattes vil variere med strekningen som erstattes.

Lengdefaktoren og v_1 er ikke kjent før ny strekning s_2 er definert og det må da gjettes på en verdi som startpunkt i en iterasjon der det finnes en lengde av s_2 som gir ønsket kjøretidsreduksjon.

Besparelse i kjøretid bestemmes som:

$$\begin{aligned}\Delta T &= \frac{s_{12}}{v_1} - \frac{s_2}{v_2} \Leftrightarrow \\ \Delta T &= \frac{s_2/\lambda}{v_1} - \frac{s_2}{av_1} \Leftrightarrow \\ \Delta T &= s_2 \frac{a-\lambda}{a\lambda v_1} \quad \text{eller} \\ s_2 &= \Delta T \lambda a v_1 / (a - \lambda)\end{aligned}$$

Eksempel

En kjøretid ønskes redusert med 3 minutter. Opprinnelig gjennomsnittshastighet er 79 km/t og opprinnelig banelengde er 88 km. $\lambda=0,84$. Gjennomsnittshastighet på ny bane er 160 km/t, dvs. $a=160/79=2,02$.

$s_2=10/60*0,84*2,02*79/(2,02-0,84) = 18,9$ km. Kjøretiden på ny bane er da $18,9/160*60=7,1$ min. Opprinnelig bane s_{11} var da $18,9/0,84=22,5$. Kjøretiden er her $22,5/79*60=17,1$ min. Dvs. at besparelsen er 10 minutter som forutsatt.

2.12.4 Framføringstillegg

2.12.4.1 Formål med framføringstillegg

Når det konstrueres ruteplaner må det på den ene siden søkes en så rask framføringstid som mulig, mens det på den andre siden må sikres en robust kjøreplan der mindre forsinkelser for et enkelt tog kan absorberes slik at forsinkelser ikke overføres fra ett tog til et annet. Framføringstillegg er et påslag til kjøretiden benyttes for å ha en reserve mot variasjon i kjøretid for det enkelte toget.

Prinsipielt hviler balansen mellom høy robusthet og punktlighet og lav framføringstid på en samlet samfunnsøkonomisk vurdering av fordeler og ulemper og sammenligning av attraktivitet av togtilbudet som sådan med andre transportformer. For å unngå å skulle foreta slike analyser hver gang det skal planlegges endringer i infrastrukturen og/eller togtilbudet er det nødvendig med retningslinjer som sikrer robusthet i framføringen.

Framføringstillegg skal primært sikre at en forsinkelse for det enkelte toget kan bygges ned fram mot neste stasjon eller til større knutepunktstasjoner. I tillegg kan framføringstillegget delvis benyttes til å kompensere for overførte, mindre forsinkelser fra et forangående tog. For å ta høyde for potensiell overføring av større forsinkelser benyttes buffertid (se nærmere omtale i avsnitt 2.12.4.2).

2.12.4.2 Framføringstillegg og buffertid

Jo større framføringstillegg det er desto raskere vil absorpsjonen av en overført forsinkelse være. Når tidsutbredelse av overført forsinkelse går ned blir sannsynligheten for sammenfall av overført og egen forsinkelse også mindre, og muligheten til å utnytte kjøretidstillegg til å redusere overført forsinkelse går opp. En økning i framføringstillegg ville da medføre at behovet for buffertid ville gå ned, men det ville uansett være en like stor initiell overføring av forsinkelse fra første tog og kjøretiden for hvert enkelt tog ville gå kraftig opp. Framføringstillegget kan derfor bare i liten benyttes til å hindre spredning av forsinkelser.

Bruk av framføringstillegg for å hindre overføring av større forsinkelser vil imidlertid medføre lange framføringstider for alle tog og er derfor uhensiktsmessig.

For å hindre spredning av forsinkelser fra ett tog til et annet er det buffertid mellom togene. Buffertiden hindrer ikke at enhver forsinkelse kan overføres men sikrer balanse mellom antall tog som kan framføres og reduksjon av forsinkelsesutbredelse.

2.12.4.3 Typer framføringstillegg

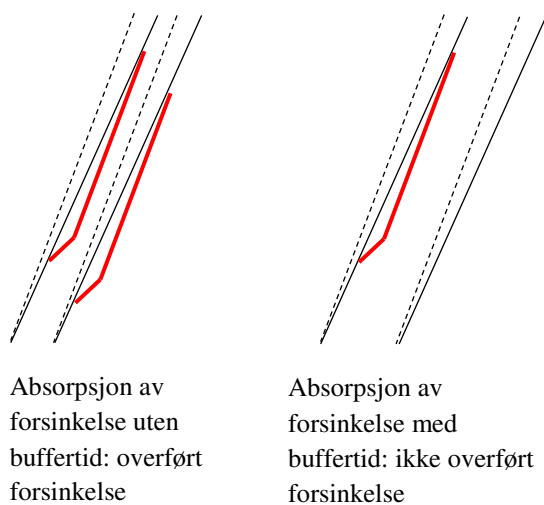
Kjøretiden for et tog kan variere selv om det i utgangspunktet er samme materiell og ruteleie. Variasjonene kan ha forskjellig størrelse og forskjellig sannsynlighet for å forekomme.

Noen variasjoner er små og skyldes f.eks. variasjon i traksjonsforhold i sporet fra dag til dag (værforhold, løv på skinner etc.), forskjeller på ytelse mellom tog og variasjoner i kjøremønster for den enkelte lokføreren. Slike små, men hyppige, variasjoner må kunne fanges opp slik at toget ikke blir forsinket i urimelig grad og det må derfor på forhånd bygges en som *toleranse* inn i minste tekniske kjøretid (stram kjøring) i form av et *grunntillegg* til kjøretiden.

I tillegg er det litt større forsinkelser som ikke opptrer fullt så ofte men som det allikevel må tas hensyn til, f.eks. feil signalbilde (og behov for nedbremsing med påfølgende tidstap), forlengede oppholdstider, balisefeil etc. Disse forsinkelsene tas det hensyn til gjennom et *robusthetstillegg*. Robusthetstillegget etableres ved å supplere et togs minste, teknisk mulige kjøretid med en margin for å håndtere mindre variasjoner og forsinkelser i det enkelte togs kjøretid slik at det allikevel kan holde ruten.

I tillegg til framføringstilleggene er det en *buffertid mellom tog* (se avsnitt 2.12.4.2) som skal sikre at det ikke er overføring av forsinkelser (både små variasjoner og større forsinkelser).

I Figur 84 er det illustrert at en liten forsinkelse kan tas igjen ved at toget i en tid kjører med maksimal hastighet (uten kjøretidstillegget). Er det ikke buffertid vil forsinkelsen overføres til neste tog, som imidlertid kan ta igjen forsinkelsen etter en tid, med mindre toget selv blir forsinket. Med buffertid unngås det at forsinkelsen overføres til det etterfølgende toget og det er også rom for at begge tog kan ha en forsinkelse.



Figur 84. Bruk av framføringstillegg for absorpsjon av forsinkelse.

Framføringstillegget eliminerer ikke enhver forsinkelse ved neste stasjon eller ved endestasjonen. Verdien av framføringstillegget er imidlertid empirisk bestemt slik at det er en fornuftig balanse mellom lavest mulig kjøretid og robusthet mot forsinkelse.

I tillegg til framføringstillegget langs strekningen (grunntillegg og robusthetstillegg) bør det være tillegg til kjøretiden ved

- Innfasing av tog i et nett med tett togtrafikk
- Arbeider som medfører langvarig hastighetsnedsettelse

Driftstillegg legges inn for:

- Markedsmessig opphold (passasjerutveksling, skifting, godshåndtering)
- Personalbytte
- Ruteteknisk opphold (kryssing og/eller forbikjøring)
- Kjøring i avvikespor.
- Utveksling av ankomst- og avgangsmelding på ikke-fjernstyrte stasjoner: ett minutt.

Framføringstillegget skal *ikke* dekke store tekniske feil eller brudd på linjen. De forsinkelsene som grunntillegget og robusthetstillegg til kjøretiden er ment å håndtere er i all hovedsak *ikke* feil som skyldes slitasje på banen eller gamle komponenter. Standarden av banen er derfor ikke viktig for beregning av framføringstillegget. Graden av vedlikeholds- og fornyelsesarbeid på banen er imidlertid

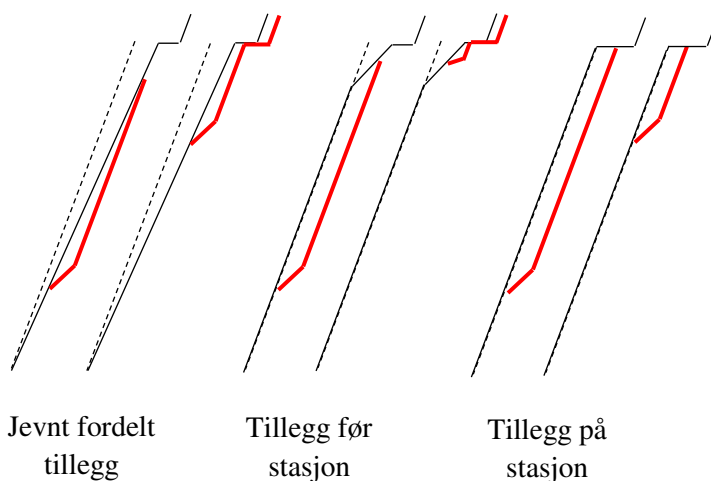
relevant for beregning av tillegg for arbeider som fører til nedsatt hastighet, men dette er et eget tillegg i tillegg til robusthetstillegget, som nevnt over.

2.12.4.4 Plassering av framføringstillegg

Framføringstillegget kan fordeles på forskjellige måter:

- jevnt fordelt over strekningen
- samlet inn mot viktige stasjoner eller kryssinger
- på stasjoner som et tillegg til oppholdstid
- kombinasjon av disse

Måten å fordele tillegg på og betydningen for mulighet til å absorbere forsinkelser er illustrert i Figur 85, der det for hvert tilfelle er vist to steder hvor forsinkelser oppstår.



Figur 85. Plassering av framføringstillegg.

Det sees at hvis det er jevn fordeling av tillegget vil det kunne forekomme at forsinkelsen ikke kan tas helt igjen og at det da blir forsinket avgang. Dette skyldes at fullt tillegg er bare tilgjengelig i begynnelsen av strekningen. I gjennomsnitt er halvparten av robusthetstillegget tilgjengelig for å redusere forsinkelse.

Med plassering av tillegg inn mot stasjon kan forsinkelse også forekomme, men siden strekningen uten fullt tilgjengelig tillegg er kortere og sannsynligheten for forsinket ankomst derfor lavere.

Med tillegg på stasjonen er tillegget fullt tilgjengelig hele tiden og det vil ikke bli overføring av forsinkelse.

Ulempen med å samle robusthetstillegget mot slutten av strekningen er at det ikke er noen gevinst for de reisende *underveis* men bare for de reisende som skal helt fram. Det betyr da at det i så fall bør legges robusthetstillegg der hvor det er flest reisende som får nytte av bedre punktlighet.

Med et tillegg til oppholdstid (på stasjonen) vil toget som regel (når det ikke er forsinket) komme *før* annonsert ankomsttid i ruteplanen. Hvis toget er litt forsinket og ankommer til annonsert til vil reisende (som er vant til å reise på strekningen) kunne *oppfatte* dette som en forsinkelse. Den oppfattede forsinkelsen trenger derfor ikke å bli mindre. Et annet forhold er at reisende som skal videre kan oppleve en ekstra lang oppholdstid som en belastning (selv om oppholdstiden er annonsert i ruteplanen) og reisende som kommer til stasjonen kan oppfatte det som at de har dårlig tid hvis toget allerede er ved plattform. I tillegg er det ikke noen gevinst av framføringstillegget for de reisende underveis langs strekningen. Økt oppholdstid kan også medføre større sporbehov på stasjonen. Et annet forhold er at en konsentrasjon av robusthetstillegget i en eller noen få blokker vil medføre vesentlig større økning i togfølgetiden enn ved jevn fordeling av tillegget. Dette kan delvis kompenseres ved at hele tillegget ikke legges i siste blokk, men fordeles over flere blokker (se avsnitt 2.12.4.5).

Når framføringstillegget plasseres inn mot stasjonen eller på stasjonen er det tilgjengelig stort sett hele veien eller hele veien. Med plassering jevnt fordelt er det i gjennomsnitt bare halvparten som er tilgjengelig. Det tilsier at framføringstillegget med jevn fordeling burde være ca. dobbelt så stort som i de to andre tilfellene for å gi samme effekt på absorpsjon av forsinkelser.

For en mer utførlig diskusjon av plassering av framføringstillegg på punktlighet vises det til [30].

2.12.4.5 Virkning av framføringstillegg på togfølgetid

Med økt kjøretid fra framføringstillegg øker også togfølgetiden. Virkning av dette avhengig av plasseringen av framføringstillegget kan illustreres med noen eksempler:

Det tenkes at det er trafikk med tog som har samme kjøretid som er på 30 minutter. framføringstillegget settes til 10 % i eksemplet. Togfølgetiden settes til $T_f = 2$ min. Buffertiden $T_{b \min}$ settes til 2 minutter, men maks utnyttelse er samtidig 60 %, slik at buffertiden er minst 40 % av totalbelegg. T_b settes da til $\text{MAX}(2; T_f/60\%*40\%)$.

Med jevn fordeling av robusthetstillegget er 10 % av kjøretiden er tillegget $10\%*30=3$ minutter. $T_b=\text{MAX}(2; 2/60\%*40\%)=2$. Jevn fordeling av tillegget gir at $T_{m \text{ tillegg}} = 2*(1+10\%)=2,2$. Kapasiteten er da $60/(2,2+2)=14,3$ tog/time

Samles framføringstillegget mot slutten over de to siste blokkene er $T_{m \text{ tillegg}} = 2+3 = 5$ minutter. Buffertiden er da $\text{MAX}(2; 5/60\%*40\%)=3,33$ minutter. Det gir en kapasitet på $60/(5+3,33)=7,2$ tog/time.

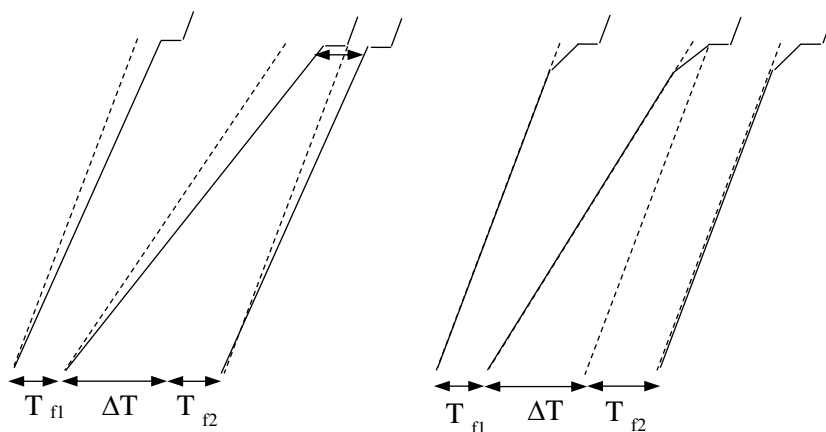
Hvis tillegget fordeles over dobbelt så lang avstand (f.eks. de fire siste blokkene) er økning i stedet på 1,5 min, $T_{m \text{ tillegg}} = 2+1,5=3,5$ minutter og $T_b = \text{MAX}(2; 3,5*60\%/40\%)=2,33$ minutter, hvilket gir en kapasitet på $60/(3,5+2,33)=10,3$ tog/time.

Med tillegg i oppholdstid på stasjonen er kapasiteten lik $60/(2+2)=15$ tog/time.

Det sees at plassering av framføringstillegget kan ha stor betydning for kapasiteten. Forskjellen i kapasitet mellom plassering av framføringstillegget inn mot stasjonen sammenlignet med jevn fordeling er $(7,2-14,3)/14,3 = -50\%$.

Framføringstillegget må sees i sammenheng med at effektiv reduksjon i forsinkelse med jevn fordeling bare er omtrent halvdelen av reduksjonen inn mot slutten av strekningen. I utgangspunktet burde framføringstillegget derfor være ca. dobbelt så stor for jevn fordeling, dvs. ca. 20 %, og effektiv togfølgetid hadde da vært $2 \cdot 1,2 = 2,4$ minutter. Kapasiteten er da $60/(2,4+2)=13,6$ tog/time. Forskjellen mellom jevn fordeling og konsentrasjon inn mot stasjoner er da likevel betydelig, drøyt 3 tog/time eller ca. 30 % høyere, eller ca. 50 % ved sammenligning med plassering på stasjonen.

Hvis det er forskjell i kjøretid og denne tas med i beregning av togfølgetiden er situasjonen som vist i Figur 86.



Figur 86. Virkning av framføringstillegg på togfølgetid: jevn fordeling eller på stasjon.

Et eksempel kan illustrere virkningen. Kjøretid settes til 40 henholdsvis 30 minutter. Togfølgetid rask-langsom $T_{f1}=3$ min. Kjøretidsforskjell $\Delta T=10$ minutter.

Jevn fordeling av tillegg

Togfølgen rask-langsom: $T_{f1 \text{ m. tillegg}} = 3 \cdot 1,1 = 3,3$ minutter. Togfølgetid langsom-rask: $T_{f2 \text{ m. tillegg}} = 2,2$ minutter. $\Delta T_{\text{m tillegg}} = 10 \cdot (1 + 10\%) = 11$ minutter. Gjennomsnittlig togfølgetid $= \frac{1}{2} \cdot (3,3 + 11 + 2,2) = 8,3$ minutter.

Buffertid er $\text{MAX}(2; 8,3/60\% \cdot 40\%) = 5,5$ minutt. Kapasiteten er $60/(8,3 + 5,5) = 4,4$ tog/time.

Tillegg inn mot stasjon

Togfølgetid for rekkefølge rask-langsom ved start $T_{f1}=3$ min. $T_{f1\text{ m. tillegg}} = 3$ minutter. Togfølgetid for rekkefølge langsom-rask ved slutten $T_{f2} = 2$ min. $T_{f2\text{ m. tillegg}} = 2+10\%*40 = 6$ minutter. Kjøretidsforskjell $\Delta T=10$ minutter, $\Delta T_{\text{m tillegg}}=10$ minutter.

Gjennomsnittlig togfølgetid $= \frac{1}{2}*(3+10+6)=9,5$ minutter. $T_b=\text{MAX}(2;9,5/60\%*40\%)=6,3$ minutter. Kapasiteten er da $60/(9,5+6,3)=3,8$ tog/time.

Forskjellen i kapasitet mellom plassering av framføringstillegget inn mot stasjonen sammenlignet med jevn fordeling er $(3,8-4,4)/4,4 = -14\%$, hvilket er mye mindre enn i situasjonen med ensartet trafikk.

Tillegg på stasjon

Gjennomsnittlig togfølgetiden beregnes nå uten tillegg og er lik $\frac{1}{2}*(3+10+2)=7,5$ minutt. $T_b=\text{MAX}(2;7,5/60\%*40\%)=5$ minutter. Kapasiteten er $60/(7,5+5)=4,8$ tog/time.

Anbefaling om plassering av tillegg

For å få størst effekt på absorpsjon av forsinkelser anbefales det normalt å fordele grunntillegget langs hele strekningen (grunntillegget er å oppfatte som en *toleranse*), mens robusthetstillegget gjerne plasseres foran, eller på, større stasjoner der nytten er størst av å redusere forsinkelse.

På stasjoner med tett togfølge og der sporkapasitet på stasjonen er (eller kan bli) en utfordring kan det vurderes å legge tillegget jevnt fordelt på strekningen. Dette vil også gi mindre økning av togfølgetiden og være i mindre konflikt med målet om tett togfølge.

På enkeltspor bør tillegg ikke bare plasseres der det er stopp for passasjerutveksling, men også der det er kryssing uten passasjerutveksling. Ellers vil det innebære risiko for forsinkelse til kryssinger der det ikke er stopp.

Inn mot tett trafikkerte strekninger (typisk på dobbeltspor) bør det være et ytterligere tillegg for å sikre margin mellom toget som kommer ute fra strekningen og skal fases inn i det tett trafikkerte systemet. Det bør regnes med 1 minutt ekstra tillegg på slike steder. Med dagens nett vil det primært dreie seg om Ski, Lillestrøm, Asker, Drammen, Sandnes.

2.12.4.6 Kjøretid og framføringsstillegg

Framføringstillegget beregnes på bakgrunn av teoretisk kjøretid som finnes ved kjøring av tog men maksimal ytelse, uten tillegg, men med begrensning av maksimal akselerasjon og retardasjon av komforthensyn jf. avsnitt 2.12.1

Framføringstillegg deles i

- Grunntillegg
- Robusthetstillegg
- Øvrige tillegg (kryssingstillegg, innfasingstillegg mm.)

Tilleggene og kvantifisering omtales i avsnitt 2.12.4.7.1.

Basiskjøretid er definert som summen av teknisk kjøretid, grunntillegg og oppholdstid. Basiskjøretiden er basert på restriksjon i akselerasjon og retardasjon (ut fra komfortsyn) jf. avsnitt 2.12.1.

Basiskjøretid =

Teknisk kjøretid

+ Grunntillegg

+ Oppholdstid (= minste oppholdstid + oppholdstidstillegg)

Framføringstiden som benyttes i en ruteplan er da sammensatt slik:

Framføringstid =

Basiskjøretid

+ Robusthetstillegg (på teknisk kjøretid)

+ Øvrige tillegg (kryssingstillegg, innfasingstillegg mm.)

Grunntillegg og robusthetstillegg beregnes på bakgrunn av teknisk kjøretid.

Eksempel:

Teknisk kjøretid mellom A og C inkl. akselerasjons- og retardasjonstap på B er 1000 s.

Oppholdstid er 60 inkl. oppholdstidstillegg.

Grunntillegg er 3 % teknisk kjøretid: $3 \% * 1000 = 30$ s.

Hastighet settes til 200 km/t. Robusthetstillegg settes til 7 %

2.12.4.7 Kvantifisering av framføringstillegg

Kjøretidspålaget betraktes dels for en situasjon der infrastruktur er kjent og en situasjon der den er ukjent.

2.12.4.7.1 Framføringstillegg ved kjent infrastruktur

Grunntillegget legges til en «stram kjøretid» med maksimal ytelse, slik at det tas høyde for *gjennomsnittlige* verdier for, jf. UIC leaflet 451-1 OR [14] (s. 3):

- “the style of driving of the engineer manning the motive power unit,
- motive power unit performance,
- traction current power supply,
- adhesion,
- the inherent resistance of hauled stock and of line sections.”

Robusthetstillegget omtales i OR [14] (s. 3) som «Recovery margin» som to-delt:

«1. periodical maintenance work which might be planned and modulated, including works sections with speed restrictions;

2. random journey-time requirements due to:

- technical incidents in operations,
- operating constraints linked with outside influences such as weather conditions or action by third parties,
- constraints resulting from operating difficulties such as forwarding operations for example or cascaded delays,
- over-lengthy stopping times or congestion as a result of heavy traffic.»

Bane NORs ruteplankontor opererer med et *minimum* standard grunntillegg på kjøretider på 4 % i forhold til teoretisk kjøretid (“stram kjøring”). (I tillegg til grunntillegget brukes det ekstra tillegg inn mot sterkt trafikkerte strekninger fra enkeltsporstrekninger, f.eks. inn mot Drammen og Lillestrøm).

Grunntillegget legges inn for å kompensere for:

- Midlertidig hastighetsnedsettelse av kort varighet (planlagt, ikke planlagt).
- Ulik kjøreatferd, ulike adhesjonsforhold og variasjon av de kjøredynamiske egenskapene innenfor planforutsetningene.
- Andre mindre, uforutsette hendelser i togframføringen.

Et grunntillegg for *variasjoner i kjøretid* mellom enkelttog under ellers like forhold kunne være en toleranse på f.eks. 0,5 minutt per 15 minutter. Dette svarer til 3 % tillegg. Det virker rimelig å sette dette som et *grunntillegg* jf. definisjonen i UIC leaflet 451-1 OR [14]. Den siste 1 % av dagens tillegg kan da regnes som en del av robusthetstillegg.

I praksis er dagens framføringstillegg større enn dette og i UIC leaflet 451-1 [14] anbefales det et fast robusthetstillegg («recovery margin» som kommer i tillegg til grunntillegget) med (for motorvognsett):

- minst ett minutt per 100 km og i tillegg følgende
- prosentvise tillegg for elektrisk motorvognsett, avhengig av hastigheten, se følgende tabell fra [14] (side 8)

Hastighet (km/t)	≤ 140	141-160	161-200	201-250	> 250
Framføringstillegg	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %

Den andre delen av tilleggget som skal kompensere for små forsinkelser er jf. UIC 451 som nevnt angitt todelt som en prosentandel av kjøretiden og et fast tillegg på minst 1 minutt per 100 km. Det siste bidraget kan regnes om til et prosentvis tillegg. Ved f.eks. 100 km/t er kjøretiden på 100 km lik 60 minutter og tilleggget er da $1/60=1,7\%$. Med 160 km/t er kjøretiden på 100 km lik 37,5 minutter og tilleggget er $1/37,5=2,7\%$.

Når de tre bidragene (grunntillegg, hastighetsavhengig tillegg og strekningsavhengig tillegg) adderes til basiskjøretid (stram kjøring) fås f.eks. ved 160 km/t et tillegg på $3\% + 4\% + 2,7\% = 10\%$ (avrundet). Dette gir følgende tabell der verdiene er avrundet opp og hastigheten er inndelt i intervaller som vist i

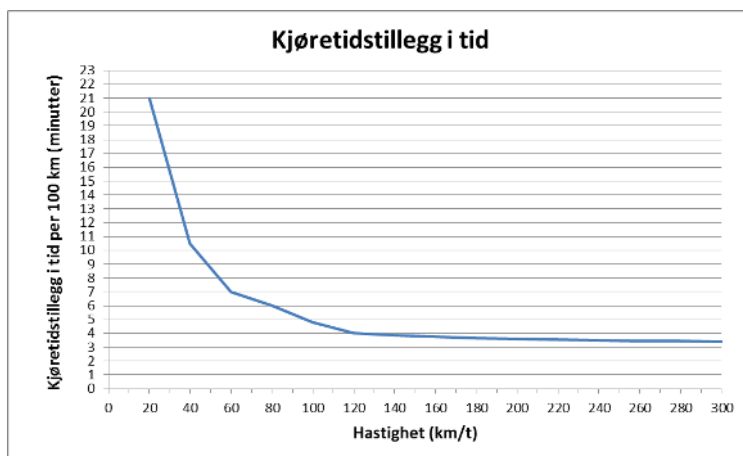
Det er ikke ved utarbeidelsen av tilleggene tatt hensyn til akselerasjon- og retardasjonsforskjeller mellom ulike togslag (jf. avsnitt 2.12.1). Tog med samme makshastighet kan (spesielt over korte strekninger) ha forskjellig basiskjøretid og dermed få forskjellig framføringstillegg målt i absolutt tid.

Tabell 29. Resulterende framføringstillegg ved ulik hastighet.

Hastighet, v (km/t)	Samlet grunntillegg og robusthetstillegg til teoretisk kjøretid (stram kjøring)
≤ 60	7 %
$60 < v \leq 80$	8 %
$80 < v \leq 100$	8 %
$100 < v \leq 120$	8 %
$120 < v \leq 140$	9 %
$140 < v \leq 160$	10 %
$160 < v \leq 180$	11 %
$180 < v \leq 200$	12 %
$200 < v \leq 220$	13 %
$220 < v \leq 240$	14 %
$240 < v \leq 260$	15 %
$260 < v \leq 280$	16 %
$280 < v \leq 300$	17 %

Grunntillegget utgjør 3 % av disse tilleggene.

Verdien av framføringstillegget fra Tabell 29 kan omregnes til framføringstillegg i absolutt tid per 100 km. Resultatet er vist grafisk i Figur 87. Beregningen er generell og omfatter ikke akselerasjons- og retardasjonstap. Årsaken til at verdien av tilleggget faller med hastigheten er at det tidsavhengige bidraget (tid på strekning) faller når hastigheten øker.



Figur 87. Framføringstillegg (grunntillegg + robusthetstillegg) i absolutt tid per 100 km (minutter/100 km) avhengig av hastighet.

I tillegg til framføringstillegget langs strekningen bør det være tillegg til kjøretiden ved:

- Innfasing av tog i et nett med tett togtrafikk
Dette kan være et fast tillegg på 1 minutt.
- Anleggsarbeider som medfører langvarig hastighetsnedsettelse; dette bidraget til framføringstillegg bør beregnes og inkluderes hvis de er mer enn 3 måneder, bør inkluderes hvis de er mer enn 1-3 måneder. Passasjerer unngår da forsinkelser, men det blir unødvendig lang kjøretid når det ikke er arbeid. Ved varighet mindre enn 1 måned må det aksepteres forsinkelser som kan kommuniseres som en midlertidig endret ruteplan til de reisende.

Gods

For gods vil det være større variasjoner i etterhengt vekt og det må regnes med større variasjon i kjøretiden. Tas det utgangspunkt i tillegget for hastigheter inntil 100 km/t er tillegget 8 %. Siden det forventes større variasjon i etterhengt vekt og bremseegenskaper (bremseprosent samt lengre løsetider for bremses) for godstog enn for persontog bør tillegget være høyere enn 8 %.

Iflg. UIC 451 er det ikke en entydig måte å regne tillegg for godstog, men bør det regnes med inntil 3 min per 100 km. Med 100 km/t er det lik $3/60=5\%$. Sammen med et grunntillegg på 3 % er det et tillegg på 8 %, men dette er ikke mere enn tillegget for persontog.

I denne håndboken anbefales det et standardtillegg på 10 % på kjøretider for godstog.

2.12.4.7.2 Framføringstillegg ved ukjent infrastruktur

For planlegging i rutemodeller og til bruk i verifikasjon av at driftsopplegg er gjennomførbare, er det fram til og med det tidspunktet hvor jernbaneteknisk hovedplan er godkjent nødvendig med et ytterligere tillegg. Dette skyldes følgende:

- Detaljnivået på foreliggende infrastrukturdata for nye strekninger kan være for lavt eller usikkert, slik at forutsetninger i digital infrastrukturmodell kan være for optimistiske.
- Før utarbeidelse av detaljplan er det usikkerhet rundt den nøyaktige utformingen av det fremtidige anlegget. Rutemodeller må være robuste nok til å ikke "rakne" dersom det gjøres endringer i prosjektene (f.eks. lavere hastighet ved innføring i tettbygd strøk, endret linjeføring) som øker kjøretid utover det som tidligere er forutsatt.
- Kostnadsøkninger uten at det bevilges penger for å dekke merkostnadene kan føre til en teknisk-økonomisk tilpasning av prosjekter, enten kortere dobbeltsporparseller, lavere hastighet i byområder eller mindre innkorting av strekninger (eksempler fra utbygging i nyere tid er Venjar-Eidsvoll, Sandbukta-Moss, Tønsberg nord, Porsgrunn stasjon). Dette kan øke kjøretider.

I situasjoner der det ikke er kjent hvilken type materiell det benyttes og hvordan infrastrukturen er utformet må det regnes med et tillegg på ytterligere 3 % i alle intervaller i Tabell 29.

2.12.5 Skjøting og deling

I perioder av driftsdøgnet med lav etterspørsel vil det være ønskelig å redusere tog lengden ved å koble togsettene fra hverandre. Dette reduserer behovet for ombordpersonale og øker produktiviteten. I tillegg vil det være mulig å utføre renhold og enkelt vedlikehold på de togsettene som midlertidig tas ut av drift.

Skjøting og deling av tog kan i prinsippet skje både i togspor og i hensettingsanlegg.

Deling er vanligvis enklere enn skjøting da det vanligvis ikke krever noe ekstra signal- eller sporanlegg. Skjøting er en mer komplisert operasjon som vanligvis utføres i et vende- eller hensettingsanlegg.

Dersom skifteveger/togveger til hensettingsanlegg belegger togspor for andre tog enn dem som skal vendes eller skjøtes kan det være hensiktsmessig å skjøte tog i plattformspor. Årsaken til dette er at skjøting i hensettingsanlegget krever to operasjoner (til og fra hensetting), mens skjøting ved plattform bare krever en operasjon (fra hensetting til plattform). Dersom det i tillegg er tilstrekkelig vendekapasitet i plattformsporet vil det være kapasitetsmessig fordelaktig å utføre skjøtingen ved plattform.

Skjøting ved plattform vil normalt også gå raskere enn skjøting i vende- eller hensettingsanlegg slik at det i noen tilfelle kan gi mindre materiell- og personellbehov. Dette vil da i utgangspunktet kreve høyere sporkapasitet på stasjonen. Skjøting i plattformspor kan også kreve ekstra signaler (kort og lang togvei, flere skiftevier, m.m.) som øker anleggsomfanget.

Ideelt sett vil det derfor være gunstig å klargjøre de togene som er tenkt kjørt som dobbelt- eller trippelsett i morgenrushet i hensettingsanlegget. Når togtilbudet skal oppskaleres (togene forlenges) i forbindelse med ettermiddagsrushet vil det, gitt at det er tilstrekkelig vendekapasitet i plattformsporet, være mest effektivt å skjøte togsett i togspor ved plattform.

Hensettingsanlegg bør utformes med rettspor. Dette gir betraktelig bedre oversikt og letter kommunikasjon mellom personell som utfører ulike arbeidsoppgaver på og ved det hensatte materiellet. For å kunne skjøte eller dele to togsett er det sportekniske krav om en strekning på 75 meter (38 meter under hvert togsett) som helst skal være rettlinjet, men hvor radius på minst 300 meter kan godtas.

2.12.6 Oppholdstider

Oppholdstider vil variere med størrelse på stasjon (antall reisende) og med materiell (tidsbruk til dørlåsing etc.).

Tidsbruk for avgangsprosedyre (se [1] og [3], §6-8 og §6-9 for konvensjonelt signalanlegg), som må utføres før et tog kan kjøre fra en stasjon, må som nevnt inkluderes i oppholdstiden når det skal beregnes kapasitet.

Ved strategisk ruteplanlegging er det viktig å gjøre en analyse av om disse oppholdstidene fortsatt skal gjelde eller om det er passasjermengder og materiellegenskaper som tilsier endrede oppholdstider.

En del av oppholdstidene på betjente stasjoner er tid til å sette togvei for togekspeditør. Dette må tas med i beregningen. Til gjengjeld er det på betjente stasjoner ikke krysslåsingstid som på fjernstyrte stasjoner.

Type 74 og 75 og har høyere minste teknisk tid for å åpne og lukke dører enn for tidligere materielltyper og det benyttes en annen avgangsprosedyre (med bruk av telefon) enn ved annet materiell. En gjennomgang av oppholdstider som NSB har observert tilsier at det er nødvendig å sette av minimum 40 sekunder til oppholdstid i ruteplan for å sikre at minst 90 % av togene klarer å ha avgang innenfor denne tiden.

I Tabell 30 til Tabell 33 er det vist noen tommelfingerregler for oppholdstider slik bildet er per 2015. Tidsbruk ved opphold må vurderes ut fra antall reisende, materiell, utforming og atkomst til plattform etc. Tidene er total oppholdstid fra stopp til start inkludert avgangsprosedyrer og dørlåsing.

Tabell 30. Generelle oppholdstider.

Generelle regler	Minste oppholdstid (sek)	Anmerkning
Stopp av type 74/75/øvrige regiontog	40	
For alle InterCity-stasjoner skal det for regiontog og regionekspresstog generelt brukes minst 60 sekunders oppholdstid. Unntatt er strekningene utenfor Lillestrøm-Drammen, se Tabell 32.	60	Tommel-fingerregel

Tabell 31. Tommelfingerregler for oppholdstider for Østlandet. Gjelder ikke fjern tog.

Passasjertall på stasjon	Eksempler	Oppholdstid (sek)	
		Lokaltog	Regiontog
Lavt	Bryn, Nerdrum	30	40
Middels	Strømmen, Årnes	40	50
Høyt	Hauketo, Ås	50	60
Svært høyt	Moss, Drammen	n/a	120

Tabell 32. Oppholdstider for Strekningen Lillestrøm-Asker.

Oslo-navet	Minste oppholdstid (sek)
Lillestrøm	60
Oslo S	Se egen tabell
Nationaltheatret	50 *
Skøyen	50 *
Lysaker	60
Sandvika	60
Asker	60

* 50 sekunders opphold er mindre enn behov men med dagens infrastruktur og togantall gjør kapasitetsutfordringer det nødvendig å begrense oppholdstiden.

Tabell 33. Oppholdstider på Oslo S. Inkludert buffertider.

Oslo S	Oppholdstid (sek)
Fjern tog	n/a, ender og starter
Regiontog	180
Lokaltog	120
Tilbringertjeneste til lufthavn, retning lufthavn	180
Tilbringertjeneste til lufthavn, retning bysentrum	120

2.12.7 Tillegg for kjøring i avvik

Tidstap ved å kjøre i avviksspor på en stasjon vil variere med hastighet i veksel og lengde fra veksel til stopp.

Det regnes som standardverdi med 1 minutt som standardverdi, hvis ikke det gjøres egne beregninger.

3 Verktøy og datagrunnlag

Dette kapitelet omtaler kort ulike verktøy som Trafikk og kapasitet benytter. Verktøyene benytter proprietære dataformater. Men stort sett støtter alle verktøy det åpne utvekslingsformatet railML. For de fleste verktøy for tiden i versjon 2.2. Det jobbes med å validere datasettene opp imot hverandre for godkjente verktøy i Trafikk og kapasitet i railML2.3NO. Leveranse av inngangs og utgangsdata skal være i dette formatet så lenge det er formålstjenelig.

Godkjente verktøy i Trafikk og Kapasitet er, inndelt på leveransetype.

Kjøretidsberegning

- Treno Pluss (per 6.6.2017 i versjon 3.0.15)
- LUKS (per 6.6.2017 i versjon 2.11.4)
- OpenTrack (per 6.6.2017 i versjon 1.8.4)

De tre verktøyene skal gi tilnærmet samme resultat ved lik infrastrukturmodell. Det jobbes i 2017 med å lage en enhetlig infrastrukturmodell for alle tre verktøy.

Ruteplanlegging

- Treno Pluss
- LUKS-K
- Viriato

Treno Pluss brukes aktivt til å utarbeide og presentere rutemodeller og ruteplaner, inkludert sporbruk på stasjoner.

LUKS-K og Viriato for tiden ikke aktivt i Jernbanedirektoratet til dette formålet.

Kjørbarhetsanalyse/konfliktidentifikasjon

- LUKS-S
- OpenTrack

LUKS og OpenTrack er program laget for å modellere og simulere operasjoner i en jernbaneinfrastruktur. Programmet beregner og visualiserer togenes bevegelser med utgangspunkt i detaljert informasjon om både infrastrukturen, ruteplanen og det rullende materiellet.

Simulering/robusthetsanalyse

- LUKS-S
- OpenTrack

Disse benyttes sammen med:

- Treno Analyse

LUKS og OpenTrack utfører stokastiske simuleringer. Treno Analyse benyttes til analyser av forsinkelsesnivået på observerte, planlagte og simulerte rutetider.

Identifikasjon av minste tekniske togfølgetid

- LUKS-A
- Treno Pluss
- Opentrack

Identifikasjon av utnyttelse av sporområder

- LUKS-A/S

Test av signalkonsept

- OpenTrack
- LUKS-S

Kapasitetsutnyttelse av strekning

- Treno RNC
- LUKS-A

Oppbygging av digitale infrastrukturmodeller

- NorRailView
- OpenTrack

OpenTrack benyttes ikke lenger aktivt i Jernbanedirektoratet til dette formålet.

3.1 Verktøy

Det omtales i det følgende enkelte av verktøyene.

3.1.1 OpenTrack

OpenTrack er et program laget for å modellere og simulere operasjoner i en jernbaneinfrastruktur. Programmet beregner og visualiserer togenes bevegelser med utgangspunkt i detaljert informasjon om både infrastrukturen, ruteplanen og det rullende materiellet.

OpenTrack brukes til:

- kjørbarhetsstudier av en ruteplan
- robusthetsanalyser av en ruteplan
- kapasitetsstudier av planlagt og gjeldende infrastruktur
- test av signalkonsept
- kjøretidsanalyser

Kapasitetsseksjonen har bygget opp og vedlikeholder en modell i OpenTrack av jernbanenettet i Norge. Denne brukes til å simulere ruteplaner på dagens infrastruktur, eller som utgangspunkt for å modellere framtidige infrastrukturkonsepter. For å kunne bygge opp og kjøre en simulering er det viktig med korrekt og tilstrekkelig informasjon om ruteplanen, inkludert valg av rullende materiell og minste oppholdstider på stasjonene, og om infrastrukturen og kjøreegenskapene til det rullende materiellet.

Gjeldende ruteplan kan hentes inn fra Treno. For andre ruteplaner og for ny infrastruktur eller nytt rullende materiell, må denne informasjonen legges inn i OpenTrack på en av de følgende måtene. Med utgangspunkt i arbeidsmengden dette krever, er det tre prioriterte måter å levere info

1. Plandata i railML 2.2 eller 1.0 filformatet.
2. Plandata i elektroniske tabeller (Excel).
3. Plandokumenter og tegninger i pdf.

3.1.2 Treno

Beskrivelse av verktøy:

Treno er bredt verktøy for kapasitetsanalyser på strategisk nivå.

Treno består av tre moduler: Analyse, Export og Plus.

Hva brukes verktøyet til?

- Treno Analyse brukes til analyser av observerte, planlagte og simulerte rutetider.
- Treno Export brukes som styringsverktøy for simuleringsverktøyet Opentrack.
- Treno Plus er et strategisk ruteplanleggingsverktøy.

Hvordan brukes verktøyet i Jernbanedirektoratet?

- Treno Analyse brukes til analyser av forsinkelsesnivået på observerte, planlagte og simulerte rutetider.
- Treno Export brukes som styringsverktøy for simuleringsverktøyet Opentrack.
- Treno Plus brukes til ad-hoc kjøretidsberegning for strategisk ruteplankonstruksjon, selve konstruksjonen og via Teno Export til Opentrack for verifisering.

Krav til inngangsdata:

Observerte tider kan hentes inn via en databasedump ifra TIOS for en definert periode. Planlagte eller simulerte rutetider kan lastes via RailML 1.0 (og snart 2.2)

For planlegging på nye strekninger se krav til infrastruktur inngangsdata i OpenTrack.

3.1.3 Viriato

Beskrivelse av verktøy:

Viriato er et brukervennlig grafisk verktøy for ruteplanlegging. Verktøyet er i utstrakt bruk også utenfor Jernbanedirektoratet, og brukes også av NSB.

Hva brukes verktøyet til?

Viriato brukes til å utarbeide og presentere rutemodeller og ruteplaner, inkludert sporbruk på stasjoner. Rutene kan presenteres i tabellform, som grafiske ruter og nettgrafer og i form av statistiske sammendrag.

Krav til inngangsdata:

- Kjøretider: For dagens infrastruktur og rullende materiell importeres disse fra Treno.
- Eventuelle endringer i infrastruktur og kjøretider sammenliknet med i dag.
- Linjekonsept.

3.2 Datakilder

I Tabell 34 er det vist en oversikt over datakilder for data som benyttes i det kapasitetsfaglige arbeidet.

Tabell 34. Samletabell med datakilder.

Datakilde	Funksjon/bruksområde	Innhold	Kommentar
ProArc, Bane NOR	Teknisk arkiv	Dokumenter Tekniske tegninger	ProArc er Bane NORs dokumentar kiv. Dokumenter og tegninger med dokument- eller

Datakilde	Funksjon/bruksområde	Innhold	Kommentar
			tegningsnummer skal ligge i ProArc.
BaneData, Bane NOR	BaneData er Bane NORs vedlikeholdsstyringssystem for infrastrukturen. BaneData er et system for enkel og effektiv styring av vedlikeholdet. Systemet håndterer blant annet forebyggende vedlikehold, feilmeldinger, ras, dyrepåkjørsler og objektinformasjon. BaneData har også informasjon om infrastruktur.	Fysiske objekter i infrastrukturen	Problemer med manglende nøyaktighet og informasjon
Digital infrastrukturmodell for OpenTrack, Jdir	Kjøretidsberegning Simulering Utteksling av infrastrukturinformasjon	Relevante objekter for simulering	Oppdateres kun årlig
Digital infrastrukturmodell i Treno, Jdir	Enkel kjøretidsberegning Rutemodellarbeid Analyse av observerte data eller simuleringer	Mesoskopisk infrastrukturmodell	Oppdateres i takt med OpenTrack-modellen
TIOS, Bane NOR	TIOS er Bane NORs trafikkinformasjons- og oppfølgingssystem.	Data for tog mht. lengde, vekt, planlagte rutetider og faktiske rutetider	Ankomsttider til stasjon måles i TIOS ved passering av innkjørsignal og ikke ved stopp ved plattform. Seksjon Kapasitet har utarbeidet et datasett der tider er kalibrert til stopp ved plattform
Dilax, NSB		Tidsregistreringer fra NSB	
Ruteplandata, diverse	Diverse kilder • railML fra Ruteplan, Trafikk og marked • TDEF fra Ruteplan, Trafikk og marked • Trainplan-XML fra Ruteplan, Trafikk og marked • NSBs rutetabeller • Materiellturneringsgrafer • Skifteplaner • Tognummerlister • Rutebestillinger		

Datakilde	Funksjon/bruksområde	Innhold	Kommentar
	Tjenesterutebok		
Ruteplan (grafisk) Bane NOR	http://www.banenor.no/kundeportal/ruter-og-sportilgang/grafiske-togruter/		En variant av grafiske ruter viser omløpsplaner for materiell. Disse planene er bare tilgjengelige internt.
Ruteplan (tabell) Bane NOR			
Ruteplan (railML) Bane NOR			
Network Statement Bane NOR	http://networkstatement.jbv.no/doku.php?id=2018	Beskrivelse av Bane NORs nett	
Tognummerserier Bane NOR		Gruppering av tognumre etter operatør og strekning	
Tjenesterutebok	http://www.banenor.no/kundeportal/ruter-og-sportilgang/tjenesteruteboker/		
Regelverk for operativt personell i Kunde og trafikk (ORV), Bane NOR	http://orv.jbv.no/orv/doku.php		
Teknisk regelverk Bane NOR	Bane NORs tekniske regelverk er en samlebetegnelse for normaler innenfor de ulike jernbanetekniske fagområder.		Regelverket fritar imidlertid ikke fra å gjennomføre vurdering av risiko for hvert enkelt anlegg, det vil si sannsynligheten for at en uønsket hendelse kan opptre med

Datakilde	Funksjon/bruksområde	Innhold	Kommentar
			tilhørende konsekvenser.
Strekningsbeskrivelse for Bane NORs nett	Strekningsbeskrivelse for Bane NORs nett beskriver jernbanenettets inndeling, infrastruktur (plassering av stasjoner, blokkposter, sidespor, strekninger med ATC, aksellast, stigning og fall, rasutsatte strekninger etc.), spesielle forhold ved skift mm. http://orv.jbv.no/sjn/doku.php		
TS-sirkulærer	TS-sirkulærer er interne sirkulærer i Bane NOR (tidligere Jernbaneverket) for, jf. [27] å: «...informere medarbeidere som utøver sikkerhetsfunksjoner i Jernbaneverket om endringer i: • Trafikkregler for Bane NORs nett-interne bestemmelser • opplysninger om endringer av sikkerhetsmessig betydning i instruks, eller annen styrende dokumentasjon» Endringer kan ha betydning tidsbruk ved togframføring og dermed påvirke kapasiteten. http://orv.jbv.no/sjn/doku.php?id=sirkulaerer:ts_sirkulaerer_start		
S-sirkulærer	Bane NOR utgir S-sirkulærer som bekjentgjørelse av endringer i infrastrukturen, i Strekningsbeskrivelse for Bane NORs nett (SJN), i Trafikkregler for Bane NORs nett (TJN) eller for sikkerhetsmessige forhold på jernbanen [28]. Endringer kan ha betydning tidsbruk ved togframføring og dermed påvirke kapasiteten. Plassering: S-sirkulærer publiseres internt i Bane NOR på Arbeidsrom og distribueres til togselskapene. http://orv.jbv.no/sjn/doku.php?id=sirkulaerer:s_sirkulaerer_start		

4 Dimensjoneringsgrunnlag

4.1 Generelle krav og føringer

4.1.1 Punktlighets-, sikkerhets- og miljøkrav

4.1.1.1 Punktlighet

Punktlighetskrav defineres for togkategorier. Målet for persontog er en punktlighet på 90 % og for Flytoget til og fra Gardermoen er målet 95 % [34]. Et persontog regnes som punktlig hvis det ankommer til endestasjonen innen for 3:59 minutter etter rutetiden, unntatt fjerntog som har grense på 5:59 minutter, se [35]. Godstog har samme punktlighetsgrense som fjerntog.

4.1.1.2 Sikkerhet

Fremføring av tog skal skje på en sikker måte. Ved planlegging av togtilbud er det derfor viktig å ta hensyn til eventuelle sikkerhetsmessige krav som påvirker måten togtrafikken kan tilrettelegges eller dimensjoneres på.

Sikkerhetskrav for dimensjonering av *spesifikke anlegg* i infrastrukturen ivaretas gjennom Bane NORs Teknisk regelverk o.lign. I tillegg finnes det krav til togenes konstruksjon.

Sikkerhetskrav til *jernbanen som transportsystem* er og i tillegg et aspekt som er viktig å ta med i planleggingen av transport- og trafikktilbud og infrastruktur.

Slike sikkerhetsrelaterte dimensjoneringskriterier, eller føringer, kan benyttes til en generell dimensjonering av trafikken i en tidlig fase, *før* det er en konkret ruteplan, *før* det finnes konkrete spesifikasjoner for infrastrukturen og *før* det kan utarbeides risikoanalyser.

Hvis det finnes generelle prinsipper som per tema eller for kombinasjon av temaer (i en matrise) sier om trafikkering er mulig/forsvarlig kan dette benyttes som kontroll av foreslåtte driftsopplegg på en gitt eller foreslått infrastruktur.

Resultatet fra en slik kontroll (fra en matrise) kan benyttes til å identifisere behov for revisjon av trafikkmengde (fordele antall reisende i flere tog), behov for hvilken togfølge det er meningsfullt å dimensjonere for, behov for alternative baner, strekninger eller punkter med behov for kapasitetsforsterkning etc.

Det er en rekke krav i form av bl.a. Teknisk regelverk i Bane NOR, TSI, Trafikkregler for Bane NORs nett etc. som er med på å utforme infrastrukturen med tanke på sikker togframføring, sikkert opphold på stasjoner etc. Det er imidlertid ikke ved utarbeidelsen av denne håndboken funnet generelle som kan benyttes som retningslinjer for dimensjonering av trafikken som system eller restriksjoner for trafikk på generelt grunnlag, *før* prosjektering av spesifikke infrastrukturløsninger.

NSB opererer ikke med noe maksimalt belegg på togene ut fra et sikkerhetssynspunkt bortsett fra bæreevne i togets gulv. Denne er uansett så høy at det i praksis ikke er en begrensning for antall reisende. Det er ingen begrensninger på tetthet av tog. NSB forholder seg i planlegging til den tettheten som er mulig signalteknisk.

Det er i det følgende satt opp en liste med forhold som ut fra sikkerhetsmessige aspekter kan ha betydning for muligheten til å framføre tog og som det må tas stilling til. Forholdene er:

- Fordeling av raske og langsomme tog på ulike baner
- Antall tog samtidig i tunnel
- Antall passasjerer per tog
- Antall passasjerer samtidig i tunnel
- Hastighetsbegrensninger til tog i tunnel
- Godstog i tunnel – hastighetsbegrensninger ut over vanlig begrensning
- Blanding av persontog og godstog i tunnel

Det er bl.a. viktig å undersøke om det er restriksjoner for godstrafikk eller visse typer godstrafikk på noen baner (spesielt Gardermobanen og i Oslotunnelen).

Hvis det finnes generelle føringer på en eller flere av disse områdene kan det ha betydning for

- hvilke baner tog kan benytte,
- hastigheten på banene for ulike togkategorier,
- tetthet mellom tog,
- nødvendig antall tog for å frakte ønsket mengde passasjerer og
- mulighet til å foreslå nybygging av baner på spesifikke steder

Dette vil igjen ha betydning for trafikken og utforming av ruteplaner og for behovet for infrastruktur, både trasémessig og mer spesifikt per bane.

Det kan være verdt å nevne at ulike designparametrer påvirker hastigheten på banen, og dermed kapasitet og ruteplan. Begrensninger eller føringer for slike forhold kan påvirke hvor og hvordan det er mulig å utforme ny infrastruktur. Eksempler på dette er:

- Plassering av plattformer langs spor (plattform til hovedspor eller fire spor og tilbaketrukket plattform)
- Traseprofil (kurveradier)
- Tunnelprofil

Disse forholdene er imidlertid ikke relatert til sikkerhetsforhold for driftsopplegg *som system*, men påvirker framføringsmuligheter for enkelttog (og eventuelt samtidigheter av disse). De er derfor å regne som infrastrukturbegrensninger på linje med skiltet hastighet, antall plattformer ved en stasjon, lengde av kryssingsspor etc. som også har betydning for muligheten for (sikker) togframføring og passasjerutveksling. Forholdene er derfor ikke omtalt i dette avsnittet.

4.1.1.3 Miljø

Bygging og drift av jernbanen påvirker miljøet. Følgende elementer er det viktig å tenke på ved bygging og drift av jernbane, samtidig som alternativene til jernbane også må analyseres tilsvarende:

- energi- og materialforbruk
- støy og vibrasjoner
- dyrepåkjørsler
- inngrep eller reduksjon naturmangfold for eksempel ved utbygging av ny jernbanetrasé
- bygging av drift av anlegg i nærheten av kulturminner og kulturmiljø
- forurensning av grunn, vann og luft
- håndtering av avfall og masser

Miljøstyring skal sørge for at det tas miljøhensyn når jernbanetiltak planlegges, bygges og driftes.

4.1.2 Vedlikehold

4.1.2.1 Generelt om vedlikehold

Formålet med en jernbanestrekning er å kjøre tog på strekningen for å betjene et marked. Samtidig er det nødvendig å vedlikeholde banen for å kunne opprettholde driften. Det oppstår da en konflikt i visse tidsperioder mellom ønsket om å trafikkere banen med tog og å disponere banen for vedlikehold. Tiden som avsettes til vedlikehold reduserer døgnkapasiteten for togframføring. Vedlikeholdsperioder uten togtrafikk kalles "hvite tider".

Denne gjennomgangen skisserer noen forhold som påvirker behov og mulighet for vedlikehold og den beskriver noen generelle prinsipper for hvordan det anbefales å inkludere effekten av vedlikehold i kapasitetsberegninger. Framstillingen er ment som et generelt grunnlag ("tommelfingerregel") for bruk i kapasitetsberegninger. Det kan være spesielle forhold på ulike baner som gjør at vedlikehold i praksis må avvikes på en annen måte enn den skisserte i denne håndboken. Disse forholdene må da tas i betraktning i mer detaljerte analyser.

Gjennomgangen omhandler effekt av vedlikehold som utføres regelmessig og der effekten inngår som et fast element i det vanlige driftsdøgnet. Større arbeidsoppgaver som har mer preg av å være fornyelse og som krever lange brudd, f.eks. bygging av snøoverbygg eller bytte av veksler eller KL-anlegg, er ikke omfattet her.

Det er en rekke forhold som er viktige og som påvirker mulighet for og effekt av vedlikehold. Forholdene kan gi begrensninger for vedlikehold, men motsatt er innsats på disse områdene viktig for å til mest mulig effektivt vedlikehold. Det dreier seg bl.a. om:

- *Seksjonering av KL*

Etter at et tog har passert grensen for et vedlikeholdsområde kan det ta tid før vedlikeholdsarbeid kan påbegynnes. Hvis det skal jobbes med kontaktledningsanlegget eller utføres andre typer arbeid som krever utkopling, må strømmen koples ut etter at siste ordinære tog har passert seksjoneringsstedet. Med lange seksjoner vil det ta lang tid fra siste ordinære tog har passert grensen for vedlikeholdsområdet til strømmen kan koples ut. Tilsvarende må vedlikeholdet avsluttes lenge før første ordinære tog passerer grensen for vedlikeholdsområdet.

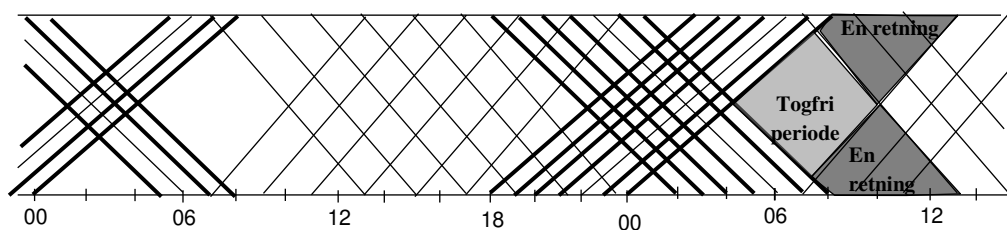
Den effektive vedlikeholdstiden blir da redusert ved lange seksjoner over grensen for vedlikeholdsområdet.

- **Regelverk**
Siste ordinære tog må ha kommet ut av planlagt arbeidsområde og inn på neste stasjon før området kan disponeres for arbeidsmaskiner. Er det langt til neste stasjon vil det ta tid fra passering av grensen for vedlikeholdsområdet til sporet kan frigis til arbeidstog.
- **Punktlighet**
Forsinkede tog oppleves i dag som en stor hindring. Er et tog forsinket får hovedsikkerhetsvakt ikke tillatelse av togleder til å etablere arbeidsområde før det forsinkede toget har passert. Dette kan ofte medføre at den resterende tiden blir for kort til å utføre planlagte oppgaver. Det kan vurderes å la forsinkede tog vente utenfor vedlikeholdsområdet.
- **Koordinering og tilgjengelighet**
Bemanning må være tilstrekkelig stor og riktig koordinert når arbeidet skal utføres, slik at den tilgjengelige tiden utnyttes best mulig.
- **Ny teknologi**
Videre kan det være interessant å analysere virkning av nytt materiell og utstyr som gjør det sikrere å jobbe sporet (f.eks. mobile avskjerminger etc., utvidet bruk av Bane NORs vedlikeholdstog) og utforming av atkomstveier til sporet.

4.1.2.2 Vedlikehold på enkeltspor

Enkeltspor må stenges helt ved vedlikehold. Stenging av et enkeltspor får da stor konsekvens for trafikken, men samtidig er det en grense for hvor stor trafikk det kan være på enkeltspor slik at virkningen har en naturlig begrensning.

På enkeltsporede fjernstrekninger kan det være en naturlig togfri periode mellom persontogene. Det er da en potensiell kapasitetsreduksjon for godstog. Figur 88 viser et eksempel på et driftsopplegg med persontog (totimersfrekvens begge veier fra kl. 7 til 17 med 6 timers kjøretid pluss et nattog med 8 timers kjøretid). Godstog kan f.eks. kjøres i puljer fra kl. 18 til ca. midnatt. Dette gir en naturlig, togfri periode med varighet som avhenger av sted på strekningen som vist i Figur 88.



Figur 88. Eksempel på driftsopplegg på fjernstrekning. Totimersintervall og 6 timers kjøretid. Det blir en naturlig, lengre, togfri periode. Tynn strek=persontog, fet strek=godstog.

Tabell 35 viser hvilke tidsperioder og kapasiteter det kan regnes med i vedlikeholdsperioder på enkeltspor.

Tabell 35. Vedlikeholdsmuligheter på enkeltspor.

Enkeltspor		
	Sentralt rundt store byer	Ute på fjernstrekning
Periode	Natt (driftspause for persontog)	Kan være natt eller dag, avh. av sted og ruteplan. Periode kan evt. deles av passerende tog. Må undersøkes.
Varighet	4 timer	Ca. 4 timer Varighet vil variere med sted og ruteplan og evt. deling av periode. Må undersøkes.
Virkning for	Gods	Person og gods
Kapasitet	0 tog/time/retning, evt. 1 tog per 2 timer	0 tog/time/retning, evt. 1 tog per 2 timer

Ved høyt belastede baner der det ikke er naturlig togfrie eller svakt trafikkerte periode må det vurderes å stenge banen i en periode for da å samle vedlikeholdsoppgaver i denne perioden. Persontrafikk må da kjøres med buss og godstrafikk kan om mulig kjøres på andre baner, eventuelt med lengre framføringstid.

4.1.2.3 Vedlikehold på dobbeltspor

4.1.2.3.1 Generelle prinsipper

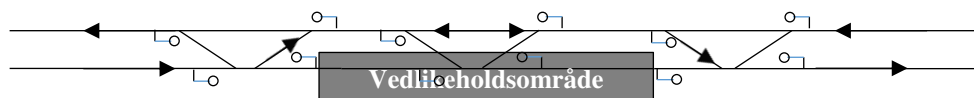
Det kan generelt etableres enkeltsporsseksjon på en dobbeltsporsstrekning. Som dimensjonerende, generell begrensning for kapasitetsanalyser, når banens hastighet og struktur ikke er kjent, må det regnes med at banen er stengt i en periode for å legge ut eller fjerne baliser eller å etablere eller fjerne barriere.

Persontrafikk må ha samme ruteplan for alle hverdager. Etablering av baliser/barriere og sperring av begge spor vil derfor dimensjonere alle hverdager for persontog selv om arbeidet ikke utføres mer enn første og siste dag (natt). Økt bruk av vedlikeholdstog vil gjøre vedlikehold mer effektivt, men det forutsettes behov for spersperring ikke vil bortfalle helt. Resulterende, dimensjonerende sportilgang med hensyn til utforming av ruteplan blir derfor den samme også med økt bruk av vedlikeholdstog.

4.1.2.3.2 Etablering av enkeltsporsseksjon

På dobbeltsporsstrekninger kan det prinsipielt etableres en enkeltsporsseksjon forbi stedet der det foretas vedlikehold, som vist i Figur 89. Vedlikeholdsområdet vil flyttes geografisk fra dag til dag avhengig av behovet for vedlikehold og i henhold til framdriftsplan.

Når det arbeides i veksler blir enkeltsporsstrekningen dobbelt så lang som avstanden mellom overkjøringsforbindelser.



Figur 89. Enkeltsporsseksjon ved vedlikehold på dobbeltspor.

Avstand mellom forbikjøringsforbindelser bør diskuteres ut fra krav om kapasitet ved enkeltsporet drift. Avstand avhenger av hvilken hastighet som er mulig i nabospor og hva som kan gjøres hvis ønsket kapasitet ikke kan oppnås (f.eks. legge arbeidet i veksler i ytterperioder med redusert trafikk eller sperre og kjøre buss etc.)

Seksjon Kapasitet regner med at det skal kunne avvikles lavtrafikk eller halvparten av grunnrute ved enkeltsporsdrift. Tenkes et IC-område med grunnrutetrafikk med 4 tog/time/retning på indre område og 2 tog/time/retning på ytre område fås:

Indre IC: Kapasitetsbehov = $2 \cdot (1/2 \cdot 4) = 4$ tog/time begge retninger

Ytre IC: Kapasitetsbehov = $2 \cdot (1/2 \cdot 2) = 2$ tog/time begge retninger

Nødvendig tilgjengelig tid kan da bestemmes som:

Indre område med 1 stopp på arbeidsstrekning: $60/4$ - Opphold 2 min - margin 1 min = 12 min. Med f.eks. 10 % kjøretidstillegg blir maksimal kjøretid uten opphold lik $12/1,1 = \text{ca. } 11$ minutter.

Ytre område med 2 stopp på arbeidsstrekning: $60/2$ - Opphold $2 \cdot 2$ min - margin 1 min = 25 min. Med 10 % margin er kjøretid ca. 22,5 min.

Arbeid i veksler i sporforbindelse medfører at det belegges to avsnitt. Avstanden mellom tilgjengelige veksler blir da med 130 km/t ca. 20 km og 42 km. Avstanden mellom veksler totalt sett blir det halve av dette, dvs.:

Indre område: Avstand ca. $20/2 = \text{ca. } 10$ km.

Ytre område: Avstand ca. $42/2 = \text{ca. } 21$ km.

Med fast 10 km mellom overkjøringsforbindelser er det reservekapasitet på ytre IC-strekning.

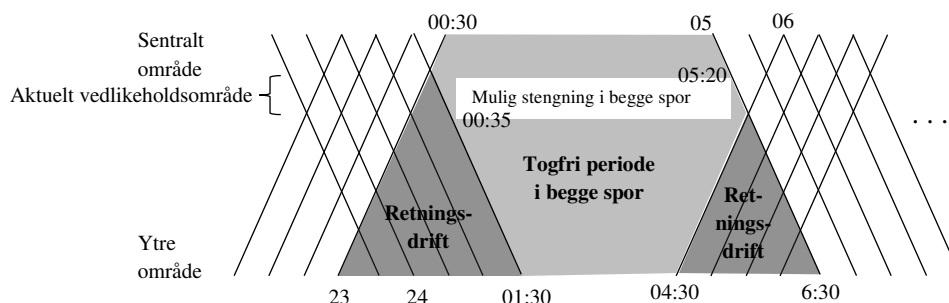
Hvis denne avstanden ikke kan opprettholdes bør vedlikehold av veksler i sporforbindelser legges til perioder der det er trafikk en vei eller det må regnes med (større) forsinkelser.

Kan det holdes 200 km/t blir avstandene ca. 28 km henholdsvis ca. 60 km, dvs. ca. 14 henholdsvis ca. 30 km mellom forbikjøringsforbindelser.

4.1.2.3.3 Tilgjengelig tid på dobbeltspor

Når det etableres et vedlikeholdsområde kan sporet først stenges etter at siste tog er kjørt ut av seksjonen og det må åpnes igjen før første tog kjører inn i en seksjon. Det betyr at den effektive togfrie perioden for vedlikeholdsområdet blir kortere enn tidsintervallet ved et punkt (én km-verdi) på strekningen der det ikke er tog. Dette er illustrert i Figur 90. Her er kjøretiden gjennom et vedlikeholdsområde satt til 15 minutter og den effektive, togfrie perioden er da redusert fra 5 timer til 4 timer og 45 min i hele vedlikeholdsområdet.

Den effektive *arbeidstiden* vil være kortere enn dette igjen. Lokale forhold som tid til kjøring til vedlikeholdsområdet, seksjoneringsinndeling for KL (tog må ut av seksjonen før strømmen kan koples ut) etc. vil avgjøre hvor lang tiden er og effektivt den tilgjengelige tiden utnyttes.



Figur 90. Effektiv lengde av vedlikeholdsperiode i vedlikeholdsområde.

Perioden som er helt togfri i begge spor er i Figur 90 ned til 3 timer. Hvis det er for liten tid til vedlikehold kan det muligvis kjøres tog i det ene sporet i perioden merket med "retningsdrift" mens det jobbes i det andre sporet. Det forutsetter imidlertid at det ikke er nødvendig å legge ut baliser for å redusere hastighet i sporet eller sette opp barriere, dvs. at det må benyttes vedlikeholdstog, være separate tunneløp for hvert spor eller at linjehastigheten er så lav at det ikke er nødvendig med utlegging av baliser.

4.1.2.3.4 Tilgang til enkeltsporsparsell på dobbeltspor

Det er i praksis mange måter å få sportilgang på for vedlikehold. Tidspunkter, hyppigheter og varigheter vil variere med lokale forhold, type arbeidsoppgaver, mulighet for å samle oppgaver etc.

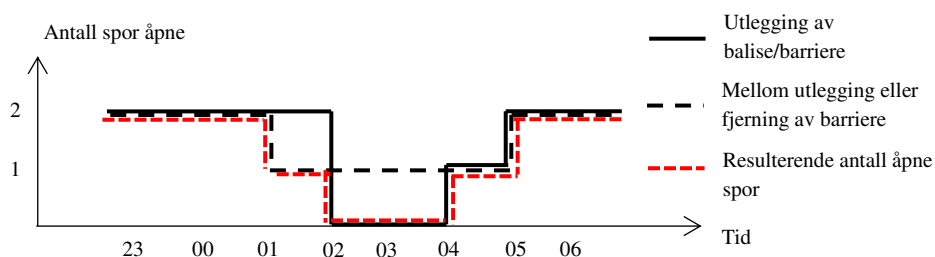
For den generelle planleggingen er det nødvendig å gjøre en forenkling og en generell forutsetning om sportilgang og hva det betyr for trafikkering av sporet.

Som dimensjonerende, generell begrensning for kapasitetsanalyser, når banens hastighet og struktur ikke er kjent, må det med konvensjonelle signaler regnes med at banen er stengt i en periode for å legge ut eller fjerne baliser eller å etablere eller fjerne barriere. Selv om begge disse operasjonene neppe vil forekomme hver dag blir dette en generell dimensjonerende begrensning. Persontrafikk må ha samme ruteplan for alle hverdager. Etablering av baliser/barriere og sperring av begge spor vil derfor

dimensjonere alle hverdager for persontog selv om etablering eller fjerning av baliser ikke utføres mer enn første og siste dag (natt).

For å få minst mulig forstyrrelse av persontrafikken forutsettes det at sperringen av begge spor skjer i midten av driftspausen for persontrafikken, dvs. i hovedsak midt mellom kl. 01 og 05 - mellom kl. 02 og 04. Det forutsettes at det for kan ta inntil 2 timer å etablere eller fjerne baliser/barriere (for oppgaver som dels skjer hyppig og dels ikke krever at begge spor stenges). Første natt kan det da jobbes en time etter etablering av baliser/barriere og siste natt kan det jobbes en time før fjerning av baliser/barriere.

Figur 91 illustrerer resulterende antall spor som er åpne med konvensjonelle signaler. Denne verdien er minste verdi totalt sett av antall åpne spor for (i) natt for stengning av spor ved utlegging eller fjerning av baliser/barriere og (ii) natt ved vedlikehold uten utlegging eller fjerning av baliser/barriere. I Figur 91 er det bare vist antall åpne spor ved *etablering* av baliser/barriere; ved fjerning av baliser/barriere er bildet speilvendt (om akse kl. 03).

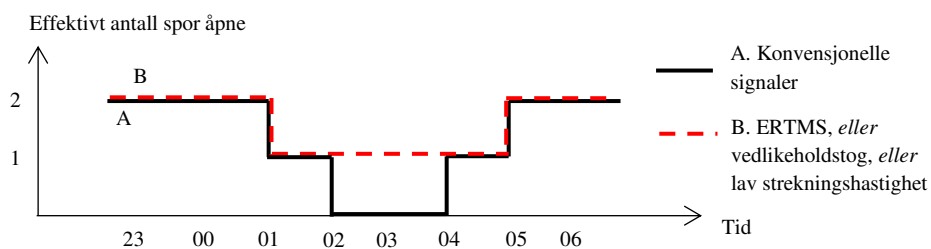


Figur 91. Generelt prinsipp for stengning av spor for vedlikehold på dobbeltspor med konvensjonelle signaler. Prinsipp vist ved etablering av balise/barriere (situasjon er speilvendt ved fjerning av balise/barriere).

Med ERTMS kan hastigheten overvåkes uten utlegging av baliser og det er da mulig å holde ett spor åpent hele vedlikeholdsperioden. Dette gjelder tilsvarende ved bruk av vedlikeholdstog eller ved så lav linjehastighet at det ikke er nødvendig å redusere hastighet i nabospor.

Den resulterende tiden banen er stengt til utlegging eller fjerning av baliser/barriere antas å være som vist i Figur 92. Det er vist to situasjoner:

- A. konvensjonelle signaler
- B. opprettholdt linjehastighet: ved ERTMS, ved bruk av vedlikeholdstog eller ved lav strekningshastighet (ikke er nødvendig med utlegging av baliser)

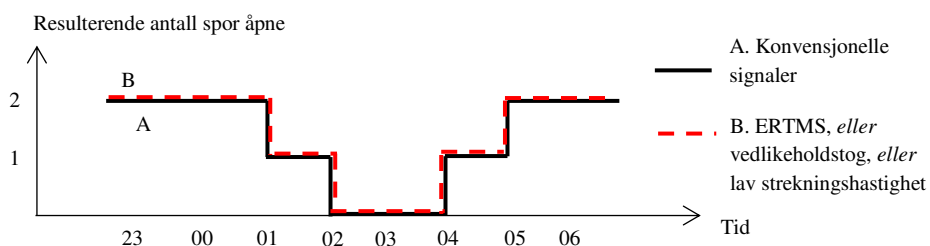


Figur 92. Effektivt antall åpne spor ved vedlikehold på dobbeltspor.

Ved redusert hastighet i nabosporet vil togene måtte regne med lengre framføringstid. Det kan da være nødvendig med egne rutetider for tog i ytterperioden av driftsdøgnet.

Det kan forekomme spesielle typer vedlikehold som krever at begge spor er stengt i vedlikeholdsperioden. Stenging av begge spor er mer sjelden enn etablering av enkeltsporsparseller og det bør vurderes om slike stengninger kan samles til egne brudd-perioder (f.eks. i ferier eller helger) der det kan arrangeres alternativ transport, slik at situasjonen derfor ikke opptrer i det regelmessige vedlikeholdsarbeidet som påvirker den daglige ruteplanen.

Imidlertid kan det ikke tas for gitt at det er mulig og i beregning av resulterende sportilgjengelighet og kapasitet er det derfor hensiktsmessig å ta utgangspunkt i at det i en periode er sperring av begge spor. Dette stemmer med anbefaling fra UIC (om vedlikehold av høyhastighetsbaner) [41]. Denne perioden kan da benyttes til å utføre vedlikehold som krever at begge spor er sperret. Det resulterende antall åpne spor i denne situasjonen er vist i Figur 93.



Figur 93. Resulterende antall åpne spor ved vedlikehold på dobbeltspor når det tas høyde for perioder med behov for stengning av begge spor.

Det sees i Figur 93 at det er samme resulterende antall åpne spor i både tilfelle A og B.

Fordelen med situasjon B er at hvis det ikke er nødvendig å sperre begge spor, f.eks. hvis større arbeider samles i bruddperioder, kan det etableres enkeltsporsdrift i hele vedlikeholdsperioden alle dager, slik at f.eks. godstog kan få ruteleier også mens det er vedlikehold. I situasjon A vil det på de dagene det plasseres ut baliser eller fjernes baliser være helt stengt i begge spor i en viss tid, jf. Figur 92. I situasjon A kan det fortsatt kjøres tog på de dagene det ikke er helt stengt, men dette gjør at ruteplanen blir annerledes over uken enn i situasjon A og dermed mer restriktiv. Hvis det i situasjon A skal opprettholdes minst enkeltsporsdrift trafikk i alle timer alle dager er det nødvendig å samle alt vedlikehold i bruddperioder som større arbeider.

Det er ikke sikkert at det er nødvendig med vedlikehold hver natt. Tabell 36 viser hvordan stenging av banen for vedlikehold som eksempel kan fordeles over uken.

I eksemplet i Tabell 36 er det tre netter per uke der begge spor er åpne. I disse nettene kan det utarbeides egne godsruteleier som er forskjellige for de nettene der det er stengning. Persontog er avhengige av å ha samme ruteplan mandag til fredag og kan derfor ikke ha varierende ruteplan over uken.

Tabell 36. Fordeling av tid til vedlikehold over uken.

Dag	Spor 1	Spor 2
Mandag	01:00-05:00	02:00-04:00
Tirsdag		
Onsdag	02:00-04:00	01:00-05:00
Torsdag		
Fredag	01:00-05:00	02:00-04:00
Lørdag		
Søndag	02:00-04:00	01:00-05:00

Som en generell forutsetning for *persontog* er effekten som om banen stenges hver natt, etter som det er nødvendig med like ruteplaner uavhengig av ukedag. For *godstog* kan det utarbeides egne godsrouteplaner for de nettene det ikke er vedlikehold (forutsatt at det ikke er begrensninger på andre deler av banen).

Tabell 37 viser oppsummerende hvilke tidsperioder og kapasiteter det kan regnes med for vedlikehold på dobbeltspor.

Tabell 37. Vedlikeholdsmuligheter på dobbeltspor.

Dobbeltspor, sentralt rundt store byer og ytre del av IC-område	
Periode	Natt
Varighet	4 timer (omtrent; i hovedsak i driftspause for persontog)
Virkning for	Person (Pt) og gods (Gt)
Kapasitet	2 t (1 time i begynnelsen + 1 time i slutten): ett spor åpent. Retningsdrift. For Pt kan det være nødvendig å redusere tilbudet i ytterperioder av driftsdøgnet eller å samle noe vedlikehold til helger. Kapasitet for godstog avhenger av frekvens på persontog. Med halvtimesintervall på persontog og 8 min belegg for godstog på enkeltsporsparsell kan det være ca. plass til 2 tog/time/retning. 2 t (midt i perioden): begge spor stengt, 0 tog/time/retning

4.1.2.4 Tilrettelegging av infrastruktur for vedlikehold

Når infrastrukturen skal dimensjoneres må det finnes en optimal avstand mellom overkjøringsforbindelser mellom sporene. Mange overkjøringsforbindelser øker kapasiteten ved enkeltsporsdrift, men vil også øke feilraten og behov for vedlikehold. Når det først planlegges vedlikehold på et avsnitt vil det være hensiktsmessig å utnytte den tilgjengelige tiden fullt ut og det er da heller ikke hensiktsmessig med for korte avsnitt; lengden av et avsnitt bestemmes da av hvor mange

meter bane et arbeidslag kan dekke per time og av lengden på hvite tider (spordisponering for vedlikehold).

Disse forholdene må balanseres mot hverandre slik at infrastrukturen på best mulig måte kombinerer hensyn til gjennomføring av vedlikehold og færrest mulig komponenter som genererer feil og som i seg selv krever vedlikehold.

Plassering av driftsbaser eller sidespor og resulterende kjøretid for arbeidsmaskiner til arbeidssted vil påvirke hvor stor andel av disponibel tid som kan brukes til å jobbe.

Hvis arbeidsmaskiner skal fremføres (fra en driftsbasis til arbeidssted) mellom de siste togene på driftsdøgnet vil det kunne være krav til forbikjøring, grunnet hastighetsforskjeller mellom arbeidstog og ordinær trafikk. Med få forbikjøringsmuligheter kan det være nødvendig å begrense ordinær trafikk for å få arbeidstog fram til arbeidssted. Motsatt kan frekvens og framføringshastighet av ordinær toggang stille krav til forbikjøringsmuligheter mellom ordinær trafikk for å sikre nok tid til vedlikehold. Behov for forbikjøring for vedlikeholdstog bør koordineres med eventuelt behov for forbikjøring av godstog.

Plassering av overkjøringsforbindelser må også dimensjoneres ut fra behovet for kapasitet ved avvik (f.eks. havarert tog i det ene sporet). Sporforbindelser bør plasseres med så kort (tids-) avstand at det er nominell kapasitet til å avvike grunnrutetrafikk på den resulterende enkeltsporsseksjonen, mens det ikke er nødvendig å tilfredsstille vanlige krav til buffertid for forsinkelseshåndtering.

4.2 Transportkapasitet - etterspørsel

4.2.1 Transportmarked

Transportmarked er det økonomiske «stedet» tilbud og etterspørsel av transporttjenester møtes, dvs. den delen av transportetterspørselen som blir realisert. Transportmarkedet kan deles i transport av personer og transport av gods.

Transportmarkedet generelt omhandler transport uavhengig av transportform, dvs. om det benyttes lastebil, budsykkel, tog, fly, båt, pipeline etc.

4.2.2 Relevant transportmarked

Den delen av transportmarkedet som er relevant å betjene med tog kalles i denne sammenhengen for relevant transportmarked.

Ikke alle deler av markedet er relevant å betjene med tog. Årsaken kan være samfunnsøkonomiske argumenter, konkurransemessige forhold ut fra transportens egenskaper eller praktiske forhold.

Bane NOR har definert delmarkeder for transport på jernbane i kategorier basert på om det transporteres personer eller gods. Disse markedene spiller på jernbanens fortrinn til effektivt å transportere store mengder personer eller gods som skal til samme sted til samme tid. Jernbanens

fysiske energifortrinn gjør den energieffektiv for tungt gods samtidig som en robust og sterk jernbaneinfrastruktur gir stordriftsfordeler som muliggjør større og tyngre kjøretøy enn det som er praktisk på veinettet. Kostnadene per passasjer eller gods reduseres med økende antall passasjerer eller godsmengde.

4.2.2.1 Relevant marked for persontrafikk

F.eks. er transport av bare en håndfull reisende med tog ikke relevant ut fra et samfunnsøkonomisk perspektiv. Derimot vil samlet transport av mange reisende ofte være lønnsomt og dermed være et relevant marked.

Transport av feriereisende fra Norge til Sørspania med tog er ikke et relevant marked grunnet tidsbruken sammenlignet med fly. Samtidig er det andre relasjoner som f.eks. den Transsibirske Jernbane som tar lengre tid men allikevel er et relevant marked for turister som nettopp ønsker å reise med tog på denne strekningen. Turisttrafikk med tog til områder som ellers ikke er tilgjengelig uten tog eller er scenisk attraktive kan også være et relevant marked.

Individuell transport med jernbane fra folks bolig helt fram til døren på folks arbeidsplasser er heller ikke et relevant transportmarked siden det er praktisk umulig å anlegge så nye jernbane (i tillegg til at det ville bli samfunnsøkonomisk ulønnsomt). Derimot er togtransport mellom et opptaksområde via oppsamlingspunkter (stasjoner) og fordelingspunkter (stasjoner) i et fordelingsområde et relevant marked for jernbane. Transporten til og fra stasjoner skjer da til fots, med sykkel, buss eller bil.

4.2.2.2 Relevant marked for godstrafikk

For gods er det tislvarende ikke relevant å drive varelevering til detaljhandelen med tog, siden det ikke er mulig å bygge jernbane fram til alle butikker, mens det kan være et relevant marked å transportere gods direkte mellom en fabrikk og en grossist.

Godstransport med tog over korte avstander som f.eks. 40 km mellom to nabobyer, er typisk heller ikke et relevant marked selv om det er godsterminaler begge steder. Omlastingskostnadene vil da overstige den avstandsavhengige besparelsen på jernbane sammenlignet med transport på lastebil. Derimot er godstransport på lengre strekninger som 400 km - 500 km ofte konkurransedyktig og vil da utgjøre et relevant marked. Jernbanen er et mye brukt transportmiddel for gods mellom Oslo og de store byene, med høyest jernbaneandel på relasjonene til/fra Nord-Norge og til/fra Bergen.

De viktigste transportkorridorene er Oslo – Trondheim, Trondheim – Bodø, Oslo – Gøteborg, Oslo - Bergen og Oslo – Stavanger (Ganddal). Andre viktige korridorer er Oslo-Kongsvinger-Sverige-Narvik og Oslo-Åndalsnes og Ofotbanen for malm.

4.2.3 Geografiske markeder

Et *geografisk marked* er et den delen av det relevante transportmarkedet som faktisk betjenes med tog eller som ønskes betjent med tog. Et geografisk marked kan tenkes som transporten mellom et opptaksområde og et sluttområde (typisk mellom regioner og sentralt område/storby). De geografiske markedene får ofte betegnelse etter de geografiske opptaksområdene uten for et sentralt område.

Inndelingen i geografiske markeder benyttes for å gi markedsetterspørselen etter transport en inndeling og struktur som kan benyttes som grunnlag for å utarbeide tilbudskonsepter.

I samme geografiske område som dekker opptaksområdet til ett geografisk marked kan det være andre geografiske markeder. F.eks. er det ett geografisk marked fra østfoldbyene til Oslo, mens det er et annet geografisk marked mellom Østfoldbyene sør for Moss og til Moss.

Avgrensningen av geografiske områder vil ikke være entydig, men kan gjøres etter hvor det er naturlige større sprang i etterspørselen. Ofte vil etterspørselen være rettet mot transport til og fra et sentralt område som fungerer som et «gravitasjonspunkt» for transport.

Den transportetterspørselen som blir generert i et geografisk område må omsettes til trafikkvolum (antall tog) som kan møte etterspørselen i antall reiser. De ulike geografiske markedene kan overlappe med tanke på transportkorridor og de kan da betjenes med ulike tilbud (linjer) eller med samme tilbud. Oppbyggingen av et tilbudskonsept med toglinjer som tilbyr nok transportkapasitet en sentral aktivitet i kapasitetsplanleggingsprosessen.

Der det i et geografisk marked er størst etterspørsel må det være høy nok transportkapasitet (antall seter) til å møte markedets behov. Dette gir da – med visse forutsetninger om togtyper og toglengder – en tilsvarende et behov for en gitt trafikk, som infrastrukturen må kunne håndtere.

Der de ulike geografiske markedene går gjennom samme korridor og eventuelt på samme bane kan de betjenes i fellesskap av flere linjer. Hvis en linje som dekket ett geografisk marked på denne måten også betjener et annet geografisk marked (f.eks. stopp lengre inn mot det sentrale området) må transportkapasiteten for hver linje være stor nok til å dekke etterspørselen av både det «primære» geografiske området og ekstra etterspørsel fra det andre geografiske markedet.

Ulike geografiske områder utgjør ulike transportmarkeder som transporttilbudet må tilrettelegges for. Geografiske markeder for persontransport på jernbanen er ikke avgrenset til områder hvor det allerede er lagt jernbanespor. Et relevant transportmarked kan identifiseres i et nytt geografisk område. Et eksempel på dette er transport mellom Ringerike og Oslo (som vil bli realisert med et framtidig togtilbud via Ringeriksbanen).

4.2.3.1 Persontrafikkategorier

Transportmarkedet mellom et sentralt område og omliggende regioner utgjør hovedmarkedet for persontransport på jernbanen. Inndelingen av regioner med hensyn på transportbehov behøver ikke å falle sammen med administrative avgrensninger av regioner. I en analyseprosess vil det være spesielt interessant å se på stasjoner som ligger på grensen mellom to geografiske markeder, for å dimensjonere tilbudet ut fra etterspørselen, og samtidig unngå overkapasitet i den ytre delen av det geografiske markedet.

Ut fra *typen geografisk marked* som et togtilbud skal betjene kan togtilbudet deles inn i kategorier som beskrevet i Jernbanedirektoratets Begrepskatalog [18].

Kategoriene er:

- Lokaltog (L) Transport mellom sentrum og forsteder i storbyområder. Lokaltogtilbud som videreutvikles med bl.a.
- S-tog (storbytog) er lokaltog med T-bane-liknende materiell og høy frekvens.

- Regiontog (R) Transport mellom sentrum i storby og regionalt omland
- Regionekspresstog (RE) ved redusert stoppmønster og kortere fremføringstider eller særlig lang linjelengde. Regionekspresstog på Intercity-strekningene kan omtales og markedsføres som Intercity-tog (IC).
- Regiontog i distriktene (RD) for togtilbud der hovedoppgaven er å transportere personer mellom regioner utenom storbyer. Kategori er for internt arbeid i direktoratet.
- Fjerntog (FJ) Transport mellom storbyregionene, storbyregioner og andre regioner og mellom Norge og utlandet.
- Fjernekspresstog (FJE) ved redusert stoppmønster eller ved høyere hastighet.
- Nattog (N) ved sovevognstilbud.
- Tilbringertjeneste til lufthavn: Persontogtilbud for transport til og fra lufthavn.

4.2.3.2 Godstrafikkategorier

For godstrafikken kan det gjøres en kategorisering ut fra type lastbærere. I motsetning til persontrafikken (avsnitt 4.2.3.1) er kategorier for godstrafikk ikke delt inn etter typen geografisk marked. Godstrafikken på jernbane er tradisjonelt inndelt i systemtog, kombitog og vognlasttog. Figur 94 viser inndelingen av de ulike godstrafikkategoriene som er beskrevet nærmere etter figuren.

Systemtog	Kombitog	Vognlasttog
		
Store volumer. én kunde, én godstype.	Intermodal transport av lastbærere.	Små volumer. Flere kunder og godstyper.
Malm, flybensin, tømmer, biler, kalkstein, syre ol. transporteres i heltog mellom to stasjoner, f. eks. gruve, fabrikk eller tanklager.	Containere, vekselflak og trailere transporteres med tog i faste vognstammer over lange distanser mellom kombiterminaler*.	Ulike godstyper, minste sendeenhet er én godsvogn. Vagner kan bytte tog på skiftestasjoner for å komme til destinasjon.
3-4 tonn/meter.	2 tonn/meter.	?

Figur 94. Markedsinndeling for godstransport. * Kombitog kan suppleres med vognlasttog. Slike tog betegnes av noen jernbaneforetak som "fleksitog". Figuren er hentet fra POU-00-A-00119 Rutemodell 2027. Fase 2 Utvikling og anbefaling av tilbudskonsepter.

Systemtog

Systemtog består av lok med vogner spesialisert for bare en type gods, for eksempel tømmer, malm, flis eller industrigods. Lasten transporteres fra varesender til mottaker uten stopp underveis. Da transportbehovet for denne type last av store volumer oftest er forutsigbart og langsiktig får kunden et spesialtilpasset togtilbud. Utviklingen av transportbehovet er særlig styrt av næringsutviklingen, som avhenger av et fåtall industribedrifter. Kapasitetsutnyttelsen er gjerne høy den ene veien, men lav (tom) den andre. Malmtransporten på Ofotbanen eller på Nordlandsbanen er et godt eksempel på systemtog som frakter en type vare fra et produksjonssted til en bestemt destinasjon året rundt. Togene er spesielt egnet til å frakte denne tunge lasten og en kontinuerlig utvinning av malm gjør at det er en forutsigbar etterspørsel etter transporten.

Kombitog

Kombitog som også kalles intermodal transport, frakter varer som er pakket i en standardisert lastebærer som enkelt kan flyttes mellom et annet transportmiddel (typisk lastebil) og jernbane på en godsterminal. Lastebærer og kjøretøy er adskilte enheter og lastebæreren er gjerne en kontainer, et vekselsflak eller en trailer/semihenger. Toget kan stoppe underveis dersom det finnes markedsmessige grunner til dette. Kapasitetsutnyttelsesgraden varierer, men er normalt preget av retningsubalanse. Kombitog i regelmessig pendeltrafikk mellom Oslo-området og de øvrige store byene i Sør-Norge og Bodø og Narvik er en suksess.

Transportkapasitet for kombitransport måles gjerne i TEU (Twenty feet Equivalent Unit), som er en standardenhet for lastebærere. En TEU tilsvarer en 20-fots container. Til sammenligning tilsvarer ett vogntog i gjennomsnitt ca. 1,7 TEU.

Kombitog kan også føre andre vogner enn vogner for intermodaltransport, f.eks. bilvogner og bulkvogner (tørrbulk, det vil si løst tørrstoff som for eksempel korn, tømmer og malm; våtbulk, varer som er i flytende- eller gassform, for eksempel kjemikalier, råolje og naturgass).

Vognlasttog

Vognlasttog frakter enkeltvogner med ulike varegrupper i små volum mellom vognlastterminaler eller fra et sidespor tilrettelagt for vognlast. Minste sendeenhet er én godsvogn. Togsammensetningen kan endres på stasjoner med skiftemulighet, slik at vogner kan komme til andre endestasjoner med andre tog. Denne type transport er den tradisjonelle jernbanetransporten av gods, men utgjør i dag en mindre del av det totale trafikkbildet på bane.

4.2.4 Transportkapasitetsmål

For å beregne det markedsmessige grunnlaget for transporten utføres det markedsanalyser og transportmodellberegninger. På bakgrunn av disse beregningene eller prognosene utarbeides et

transportkapasitetsmål som sikrer at transportkapasiteten er tilstrekkelig dimensjonert for den planlagte etterspørselen.

Billettpriser, frekvens av avganger, reisetid sammenlignet med konkurrerende transportformer, komfort og framføringstider er forhold som påvirker etterspørsel etter reiser med jernbanen. Da ikke alle bor i umiddelbar nærhet til en togstasjon vil jernbanen komme flere til nytte hvis det utvikles knutepunkter rundt togstasjoner (eller togstasjoner bygges lett tilgjengelig i eksisterende knutepunkter) slik at det dannes et nettverk av kollektivtransport hvor toget er den kapasitetssterke ryggraden.

4.2.5 Transportmodeller

Som grunnlag for å beregne transportetterspørsel kan det benyttes såkalte transportmodeller. Det finnes transportmodeller for både persontransport og godstransport.

For persontrafikken er det etablert en nasjonal transportmodell (NTM) som ser på reiser over 70 km på landsplan. Det er tilsvarende etablert regionale transportmodeller (RTM) som ser på reiser under 70 km. De regionale transportmodellene brukes ikke for hele landet men tilpasses et delområde.

Transportmodellene (RTM og NTM) er beregningssystemer som baserer seg på befolkningsmengde, befolkningssammensetning, arbeidsplassstrukturer, tilgjengelig infrastruktur for transport, tilgang til bil og kollektivt rutetilbud mm. Det geografiske området deles inn i soner som reisene skjer mellom.

Ofte benyttes det en fire-trins-metodikk for å beregne etterspørselen:

1. Turgenerering: Det bestemmes antall reiser fra en sone til en annen sone
2. Turfordeling: Reisene fra en sone fordeles til relevante soner
3. Transportmiddelfordeling: Det velges transportmiddel for en gitt reise
4. Rutevalg: Det velges rute for reisen med transportmidlet

Ut fra denne metoden beregnes det antall reiser per dag på alle lenker (vei- eller banelementer) som utgjør infrastrukturen.

Transportmiddelfordeling og rutevalg i modellen baserer seg på parameterverdier som estimeres på reisevanedata (ofte reisevaneundersøkelser, RVU) slik at modellens resultater stemmer med observerte data.

De regionale transportmodellene og den nasjonale transportmodellen er strategiske modeller som gir et godt bilde av reisestrømmer på et overordnet nivå. Resultater som f.eks. antall på- og avstigende på enkeltstasjoner vil imidlertid som regel være for detaljerte til å gi pålitelige resultater.

Transportmodellen for godstrafikk (nasjonal godsmodell, NGM) fungerer i prinsippet som transportmodellen for persontrafikk. Transportvolum (netto, uten lastbærer) beregnes imidlertid ikke internt i modellen, men legges inn som en inngangsparameter for transport mellom ulike soner. Etterfølgende fordeles godsmengdene etter transportruter og transportmiddel (sjø, vei, bane) ut fra det som for vareeier er billigste rute og transportmiddel.

Den grunnleggende, framtidige strukturen av bosetting, arbeidsplasser og bedrifter kan endres som følge av utbygging av infrastruktur. Dette er ikke inkludert i modellen i utgangspunktet med mindre

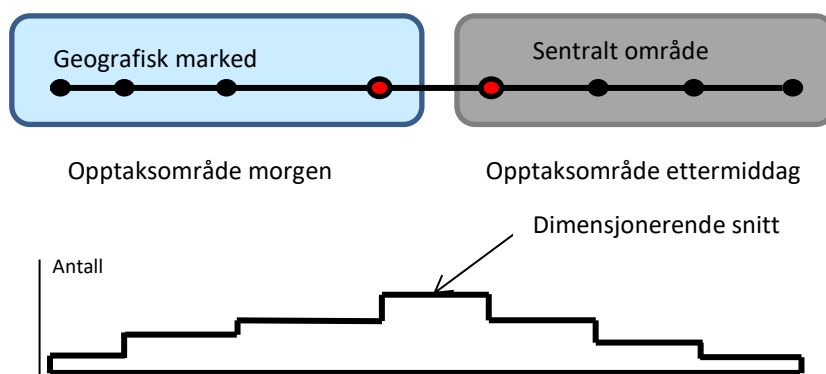
modellen endres. Det kan derfor være nødvendig med supplerende betraktninger eller alternative grunnlagsmatriser for å få med virkningen av større endringer i infrastrukturen og tilbudet.

Datakilder for transportmarkedsanalyser kan i hovedsak skilles mellom direkte observasjoner og beregnet transport. Som direkte observasjoner av persontrafikk (på tog) brukes som regel ombordtelling og billettstatistikk. Til beregnet transport brukes samme datakilder som i samfunnsøkonomiske persontransportmodeller, som reisevaneundersøkelser som grunnlag for reiseatferd, data om bosetning og arbeidsplasser, samt tilbudsdata som veinettet og nettverket av kollektivtilbud. Når framtidige transportbehov skal estimeres benyttes prognoser for befolkningsvekst og arealbruk.

4.2.6 Dimensjonerende snitt

Interessant for dimensjoneringsprosessen er togtilbudet mellom det sentrale området og det aktuelle geografiske markedet, jf. Figur 95, spesielt delstrekningen mellom de siste stasjonene i hvert område. Inndelingen av de geografiske markedene er korrekt når grensen indikerer det dimensjonerende avsnittet, dvs. delstrekningen med den største etterspørselen på den aktuelle relasjonen.

Hovedfunksjonen i regionaltrafikk er persontransport mellom det sentrale området og regionen. Normalt er det derfor tilstrekkelig å dimensjonere tilbudet i henhold til etterspørselen via det dimensjonerende avsnittet samt å finne egnede stasjoner der togtilbudet skaleres ned for å unngå overkapasitet i den ytre delen av det geografiske markedet. I tilfelle at det skulle vise seg en stor andel interne reiser innenfor ett geografisk marked og en strekning med størst passasjerbelegg innenfor et geografisk marked, må det lages mer detaljerte analyser for å etablere et markedsrettet togtilbud.



Figur 95. Prinsippkisse for passasjerbelegg over linjeveien. Geografisk marked, sentralt område og dimensjonerende avsnitt.

4.3 Trafikkapasitet

4.3.1 Innledning

For å dimensjonere infrastrukturen korrekt er det for persontrafikkens del nødvendig å omregne ønsket transportkapasitet (etterspørsel) til en ekvivalent *trafikk forstått som antall tog per time med stoppmønster, materiellegenskaper etc.*

I fasen med å utforme trafikkapasiteten er målet å skape tilstrekkelig setekapasitet ut fra en kombinasjon av linjer slik at transportkapasiteten blir ivaretatt på en tilstrekkelig måte og der materiellet utnyttes best mulig med tanke på setekapasitet. Dette gjøres under hensyntagen til mål om kjøretider og frekvens. Både linjen og stasjoner samt vendeanlegg og hensettingsanlegg må kunne ha tilstrekkelig kapasitet til å avvike den nødvendige trafikken.

For godstrafikkens del er det tilsvarende nødvendig å utforme infrastrukturen slik det er mulig å realisere en trafikk som sikrer nok transportkapasitet på ønskede tider. Dette gjelder både linjen og terminaler.

4.3.2 Persontrafikk

4.3.2.1 Linje, linjevei og korridor

En linje er et togtilbud som (med få unntak) kjører mellom samme endestasjoner, og har likt stoppmønster og framføringstid. (Begrepet må ikke forveksles med *linjen*, som betegner infrastrukturen mellom to stasjoner.) En linje faller under en markedskategori (som beskrevet i avsnitt 4.2.3.1) basert på geografisk beliggenhet for endestasjoner, samt dens stoppmønster, togkategorier og standardtog. Stasjoner i geografisk nærhet til hverandre utgjør ofte et markedsområde, og transportbehovet i et geografisk marked betjenes med en eller flere linjer.

Infrastrukturen som benyttes av en linje fra utgangs- til endestasjon kalles linjevei. Alle de aktuelle linjeveiene gjennom et område, eller mellom to områder, utgjør en korridor. Eksempelvis omtales Østfoldbanen (Østre og Vestre linje) ofte som Sørkorridoren. Drammensbanen og Askerbanen er parallelle strekninger mellom Lysaker og Asker og er begge en del av Vestkorridoren. Lengere strekninger, som forbindelsen mellom Trøndelag og Østlandet, omtales også som en korridor.

4.3.2.2 Stoppmønster og togkategorier

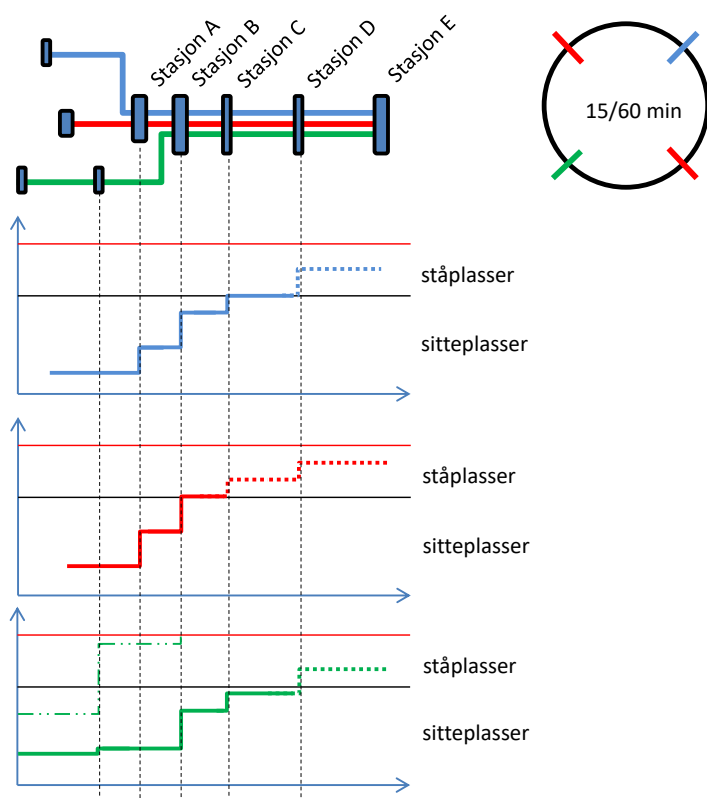
Stoppmønster angir hvilke stasjoner, samt hvilket nivå av stasjoner, en linje betjener. Dette påvirker framføringshastighet og den totale kjøretiden, og dermed hvordan en ruteplan kan legges. Stoppmønster hos de ulike togkategoriene omtales i mer detalj i avsnitt 4.2.3.

4.3.2.3 Linjekonsept

Definisjonen på linjekonsept er et sett med linjer som sammen betjener ett eller flere geografiske markeder. Et linjekonsept beskriver linjestrukturen som har blitt satt opp i et område for å dekke transportbehovet, og hvordan disse linjene samvirker for et velfungerende transporttilbud. Figur 96

viser hvordan tre linjer kombineres i et konsept hvor det fra stasjon B til stasjon E er avgang hvert 15. minutt. Blå og grønn linje har avgang en gang per time, og rød to. Systemet fungerer likt i begge retninger mellom stasjon B og stasjon E. Passasjerkapasiteten for hver linje som kommer inn i systemet må være tilpasset kapasitetsbehovet ved stasjon B hvor hele konseptet blir aktivt. Når avganger langs en linje blir fylt opp, må passasjerkapasiteten økes ved enten å øke antall vogner/togsett eller å innpasse et økt antall avganger på denne linjen i linjekonseptet.

Figur 96 viser hvordan tre ulike linjer kan planlegges slik at det er avgang hvert 15. minutt fra stasjoner langs linjeveien i sentrale strøk og hvordan setekapasiteten utnyttes i større grad når togene nærmer seg bysentrum.



Figur 96. Linjestruktur med kombinasjon av tre linjer til samlet 15-minuttersintervall på fellesdel.

4.3.2.4 Strekningskapasitet og separering av togkategorier

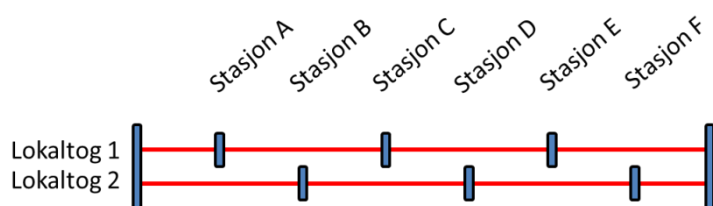
Særlig inn mot større byer kjører ofte flere ulike typer av togkategorier som har forskjellig stoppmønster parallelt på samme bane. Hvis alle skal kjøre med sin optimale hastighet må det være tilstrekkelig lang avstand mellom tog med ulikt stoppmønster, slik at et tog med få stopp ikke blir liggende bak et med mange, og dermed blir hindret. Lange avstander mellom tog spiser opp mye tid og fører til lav strekningskapasitet.

Den beste løsningen for å øke kapasiteten er å separere trafikken på flere spor, slik at det er et spor per togkategori med likt stoppmønster. Hvis det ikke er en mulighet, kan tvangsharmonisering benyttes.

Tvangsharmonisering

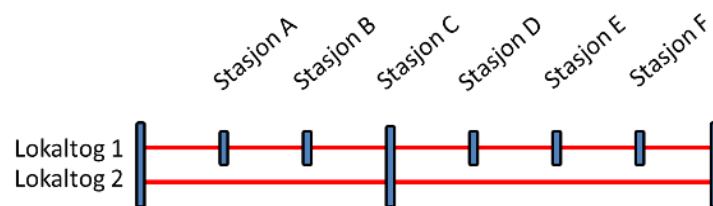
Tvangsharmonisering øker strekningskapasiteten på en bane ved å forandre linjenes stoppmønster. Dette vil si å øke antall stopp for region- og fjerntog, og minke antall stopp for lokaltog slik at framføringstiden for alle togene på den gitte strekningen blir mer lik. Fordelen med dette er at strekningskapasiteten blir høyere, men det fører også med seg flere ulemper. Hvis framføringstiden for regiontog blir lengre vil dette føre til store ulemper for pendlere ved at de må stå opp tidligere og kommer hjem senere. Et resultat av økt framføringstid for fjerntog kan være at enda flere velger bil eller andre transportformer for den aktuelle strekingen. Likeledes vil minking av antall stopp langs en lokaltogrute kunne føre til at dette markedet ikke dekkes på en tilfredsstillende måte, og at kunder dermed må benytte andre fremkomstmidler.

En mulig løsning på dette problemet er et «skip-stop»-system, hvor det går minst to lokaltoglinjer langs en lokaltogstrekning som stopper på annenhver stasjon, og dermed øker framføringstiden. Se Figur 97. Dette gir (tilnærmet) samme framføringstid og reduserer kjøretidsforskjellen slik at kapasiteten øker.



Figur 97. Skip-stop, alternativ 1.

Et annen «skip-stop»-alternativ er vist i Figur 98. Her er det økt antall stopp for det som er kalt «Lokaltog 2» slik at framføringstiden øker. Dette alternativet jevner ut kjøretidsforskjeller men ikke like mye som alternativet i Figur 97.



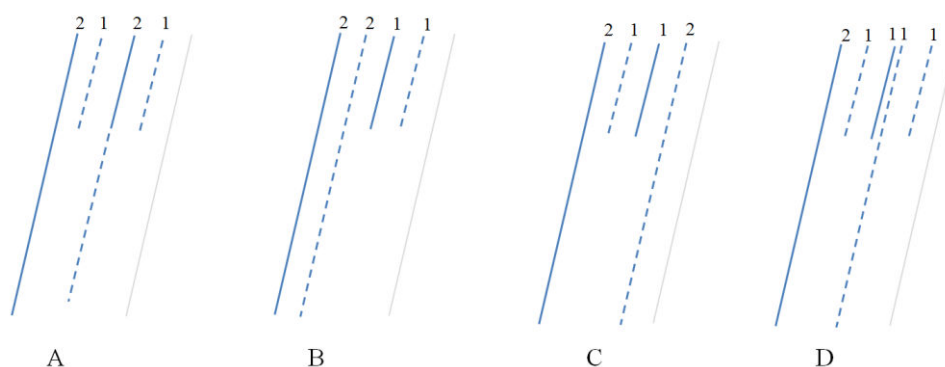
Figur 98. Skip-stop, alternativ 2.

Ulemper med «skip-stop»-alternativer er at togtilbudet kan virke både dårligere og forvirrende for brukerne.

Tvangsharmonisering kan også benyttes uten å forandre stoppmønsteret til en linje eller en togkategori. Da kjører tog med lavere frekvens stoppmønster saktere enn det de kunne gjort for å øke strekningskapasiteten. Ulempen er at togtilbudet til reisende med region-, regionekspress- og fjerntog blir dårligere på grunn av lengre framføringstid.

4.3.2.5 Etablering av Innsatstog

Det er vanlig å sette inn innsatstog i rushtiden slik at intervallene mellom grunnrutetog blir halvert. Kortere pendler kan også forlenges, og lengre togsett kan benyttes for å utvide tilbudet til å ta unna økt pågang i morgen- og ettermiddagsrush. Fire forskjellige alternativer for å oppnå dette er vist i Figur 99.



Figur 99. Fire alternative måter å bygge opp rushtidstilbud på. Stiplede linjer illustrerer innsatstog og tallene 1 og 2 viser antall togsett.

Alle alternativene i Figur 99 benytter tilsammen seks togsett, men:

- B og C har ujevnt utnyttelse av setekapasitet med 1/4 av de reisende fra ytterstasjonene på det ene toget og 3/4 av de reisende på det andre toget (intervallene utgjør 1/4 henholdsvis 3/4 av tiden mellom grunnrutetogene).
- B og C har lavere etterspørsel siden frekvensen oppfattes lavere enn den nominelle frekvensen (oppfattet 1,6 tog per time mot nominelt 2 tog/time)
- D beslaglegger mer sporkapasitet enn A, B og C (5 mot 4 tog per time).

For å illustrere skjevfordelingens betydning for antall reisende på togene kan det tenkes følgende, forenklete eksempel:

Hvis det på ytterstrekingen er 500 reisende per time vil de reisende på ytterstrekingen fordele seg med 125 henholdsvis 375 per time i de to togene. Hvis det på innerstrekingen og på innerstrekingen er 1000 reisende per time vil de fordele seg med 250 reisende per tog. Det ene av de lengste togene vil da på innerstrekingen ha 375 reisende og det andre 625 reisende.

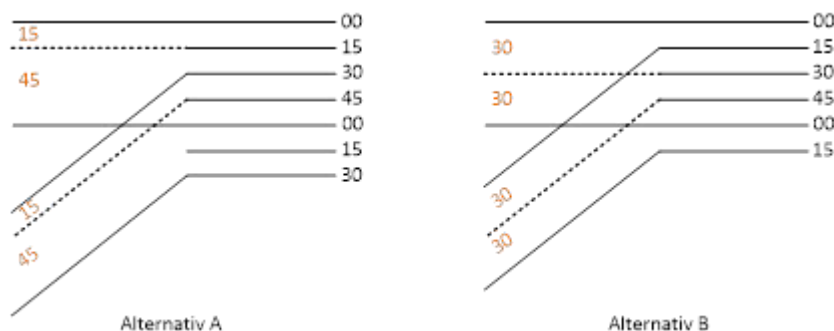
Samlet etterspørsel i konsept B vil også være større siden det er en jevnere frekvens og tilbudet derfor oppfattes bedre.

I B og C kan den ujevne fordelingen (delvis) kompenseres med raskere kjøretid for innsatstogene enn for grunnrutetogene. Det betyr til gjengjeld at stoppmønster og tilbud samt intervaller mellom tog langs linjen vil variere. Hvis innsatstogene skal dele intervallet mellom grunnrutetog likt vil det bli ujevne intervaller ved stasjonen der den korte pendelen starter.

Alternativ A er totalt sett det mest fordelaktige.

Når to linjer møtes på en felles strekning er det ønskelig å få til jevne intervaller mellom avganger både på fellesstrekingen og på hver gren for seg. I Figur 100 vises to ulike alternativer for forlengelse av pendler i rush på en slik strekning.

Det er imidlertid ulike konsekvenser av hvilke pendler som forlenges i rush. I Figur 100 er det i situasjon A jevne intervaller på fellesstrekingen men ikke på hver gren. I situasjon B er det jevne intervaller både på fellesstrekingen og på hver gren.

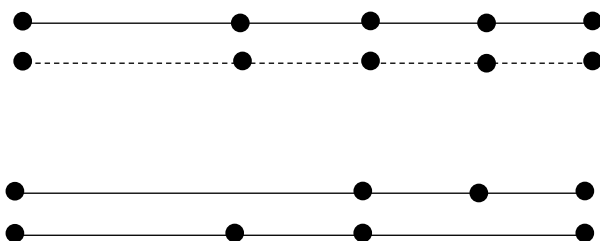


Figur 100. To alternativer for distribusjon av innsatstog og rushtidsforlengelse av linjer som kommer fra to ulike linjeveier som møtes på vei inn mot en by. (Rette streker = gren 1, knekte streker = gren 2).

Alternativ B vil gi et bedre togtilbud til de reisende og bedre utnyttelse av setekapasitet.

4.3.2.6 Kapasitetsøkning i rush med linjestruktur

For å øke setekapasitet kan det som alternativ til å benytte innsatstog innføres en ekstra linje slik at de to linjene i sum betjener alle stasjoner, men ikke har samme stoppmønster. Dette er vist i Figur 101.



Figur 101. Dublering av linje som alternativ til innsatstog.

På denne måten spares det tid på framføring hvilket kan gi økt etterspørsel. Til gjengjeld er det lavere frekvens i rush på små stasjoner, hvilket kan redusere etterspørselen.

På store stasjoner der det er stopp på begge linjer vil frekvens være høyere også i grunnrute og ikke bare i rush.

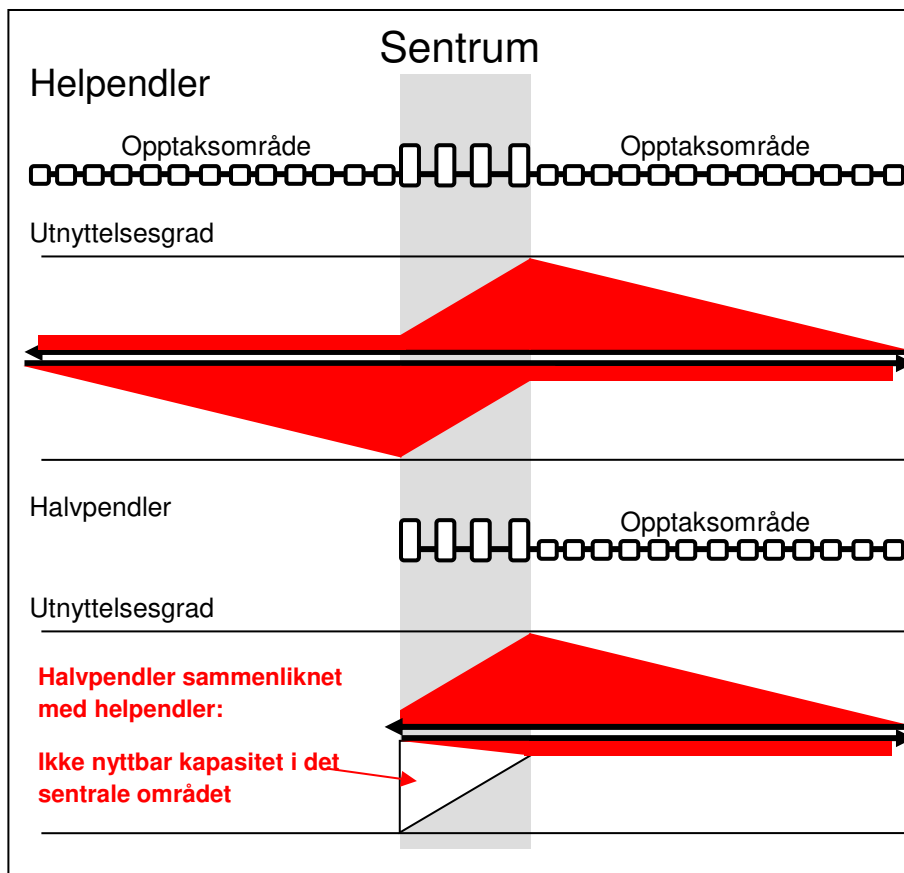
I visse tilfeller kan det økte materiellbehovet fra økt grunnrute frekvens kompenseres ved lavere framføringstid.

4.3.2.7 Hel- og halvpendler

En helpendel går fra en endestasjon i en region, gjennom et bysentrum til en annen endestasjon på motsatt side av byen. En halvpendel går kun mellom endestasjon i region og bysentrum. Generelt ansees helpendler som bedre utnyttelse av ressurser, særlig hvis linjen har noenlunde lik etterspørselsvekst på hver side. Da kan rullende materiell tilpasses bedre til etterspørselsnivået.

Halvpendler som går gjennom det sentrale området for å sette av reisende på de sentrale stasjonene har kun opptaksområde på den ene siden av det sentrale området. Se Figur 102. Dermed vil returnerende tog gå for det meste tomme gjennom det sentrale området, som er der trafikkapasiteten gjerne er presset.

En slik trafikk med uutnyttet setekapasitet krever da at det i tillegg kjøres andre tog som betjener markedet på den andre siden av det sentrum, noe som belaster infrastrukturen.



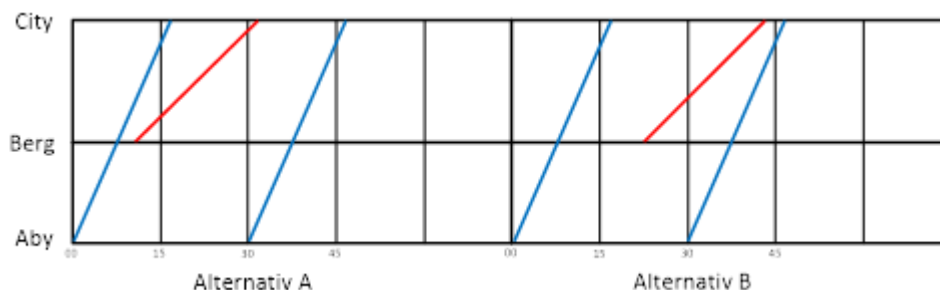
Figur 102. Belegg ved hel- og halvpender.

4.3.2.8 Fordeling av pendler i tid med tanke på togtilbud og fyllingsgrad

Et togtilbud fra en gitt stasjon vil fremstå som mest optimalt for de reisende hvis avgangene i en gitt retning er så jevne som mulig fordelt utover hver time. Kjøretidsforskjeller vil medføre at det ikke er mulig å opprettholde samme tidsintervall mellom avganger langs en gitt strekning. En viktig del av ruteplanleggingsprosessen er å tilrettelegge hvordan tog kjøres i forhold til hverandre og fordele intervaller slik at det blir en så jevn fyllingsgrad som mulig på togene.

Årsaken til kjøretidsforskjeller er typisk ulikt stoppmønster. Siden det ikke alltid kan oppnås en jevn fordeling fra samtlige stasjoner inn mot et bysentrum, vil hensyn til en mest mulig jevn fordeling av intervaller på de største stasjonene vil være et viktig kriterium. Dette sikrer et best mulig tilbud for flest mulig reisende, samt størst etterspørsel. Fordelingen av intervaller mellom togene vil i kombinasjon med forskjeller i kjøretid påvirke hvor mange reisende hvert tog får og hvor fullt hvert tog blir.

For å illustrere dette prinsippet vises et forenklet scenario med to ulike alternativer (A og B) i Figur 103, der det langsomste toget er plassert på forskjellig måte mellom to raskere tog. Togene går fra Aby via Berg til storbyen City, og det langsomme toget stopper på samtlige stasjoner mellom Berg og City.



Figur 103. To alternative måter å plassere tog på i forhold til hverandre.

Alternativ A har kortere overgangstid fra region- til lokaltog; bedre korrespondanse mellom linjer. Til gjengjeld medfører den ujevne tidsavstanden ved Berg at toget fra Aby får mange flere reisende og lokaltog fra Berg gir ikke samme avlastning av regiontog som i alternativ B. Alternativ B gir en mer lik utnyttelse av linjene og dermed en bedre setekapasitetsutnyttelse.

Eksempel på beregning av antall reisende på hvert tog i alternativ A og B

Hvis det regnes med et 30-minuttersintervall mellom regiontog og 500 reisende/time fra Aby, samt 1000 reisende/time fra Berg. Beregningen er basert på at pågangen av reisende som ønsker å ta toget fra en gitt stasjon er jevnt fordelt over timen.

Alternativ A: 5/25-delning av en halvtime ved Berg.

Fra Aby går regiontoget hvert 30. minutt som gir 500 passasjerer/time delt på 2 avganger/time = $500/2 = 250$ passasjerer per tog.

Når lokaltog fra Berg har avgang 5 minutter etter regiontoget får dette toget fra Berg $5/30 \cdot (1000/2) = 83$ reisende, mens regiontoget som kommer 25 minutter senere får $250 + 25/30 \cdot (1000/2) = 667$ passasjerer.

Alternativ B: 15/15-delning ved Berg

Fra Aby er det 250 passasjerer på hvert tog som i alternativ A.

Når lokaltog fra Berg har avgang 15 minutter etter regiontoget får dette toget $15/30 \cdot (1000/2) = 250$ reisende, og regiontoget som har avgang 15 minutter etter lokaltog igjen får $250 + 15/30 \cdot (1000/2) = 500$ passasjerer.

Av dette eksempelet sees det at 15/15-delning gir bedre fordeling av reisende på togene enn 5/25-delning hvis det går ut ifra at passasjerene strømmer jevnt til stasjonen i løpet av en time.

4.3.2.9 Omregning fra transportvolum til trafikkapasitet

Årlig transportvolum skal omregnes til et trafikkvolum i antall togsett per time.

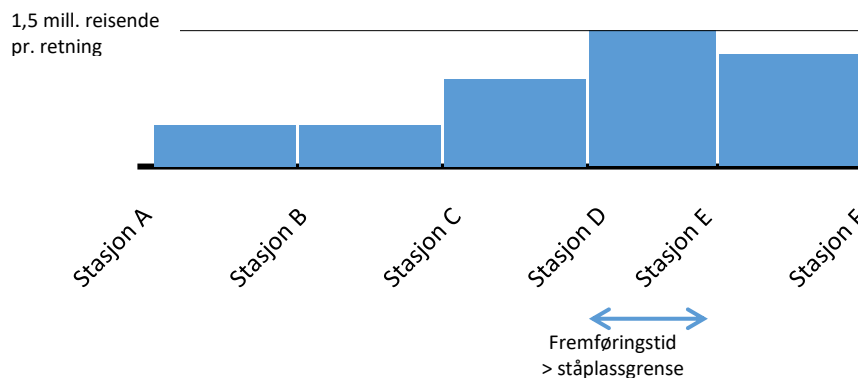
Transportmengde omregnes fra år til virkedøgn ved å dele på 310 døgn/år. Dimensjonerende transportvolum i makstimen settes til 20 % av døgntrafikken (60 % av transport i rush over 3 timer).

For å beregne nødvendig plasstilbud på togene, som tar høyde for variasjon i reisende på hvert tog, deles prognosen for dimensjonerende time på 0,65 (standardverdi for en prognose som gjelder én time).

Eksempel

På en linje tenkes det at det årlig over det mest belastede snittet er 1,5 millioner reisende om bord på togene. Linjen går fra stasjon A til stasjon F. Underveisstasjonene kalles B, C, D og E. Alle plattformer kan håndtere doble togsett. Det kjøres i rush et regiontogtilbud med NSBs type 75, med 295 seter per enkelttogsett.

Belastningen er over en så lang framføringstid (> 15 minutter) slik at ståplasser ikke kan regnes med i dimensjoneringen. Belegget er illustrert i Figur 104.



Figur 104. Belastning langs strekning.

Beregning av antall togsett ut fra transportvolum gjøres da slik:

- Døgnvolum = $1\,500\,000 / 310 = 4839$ reisende/døgn
- Timevolum = $4839 * 20\% = 968$ reisende/time
- Dimensjonerende timevolum = $968 / 0,65 = 1489$ reisende/time

- Med 295 sitteplasser per enkeltsett er det behov for $1489/295 = 5$ enkeltsett. Med hvert tog som dobbeltsett er det da behov for $5/2 = 2,5$ avganger per time i makstimen med dobbeltsett. Dette rundes da opp til 3 avganger med dobbeltsett per time i rush. Dette kan da f.eks. realiseres med dobbeltsett i 20 minutters-intervall.

Hvis reisestrekningen D-E hadde vart i *mindre* enn 15 minutter kunne det tillates å benytte ståplasser. Hvis det regnes 3 personer/m² er det i NSBs type 75 i alt 487 plasser. Transportvolumet kunne da avvikles med $1489/487 = 3$ enkeltsett, eller 2 avganger med time med dobbeltsett. Med 2 avganger med dobbeltsett hadde det vært setekapasitet til $2 \cdot 2 \cdot 295 = 1180$ reisende. Anslagsvis $(1489 - 1080)/1489 = 20\%$ måtte regne med ståplass.

Andre materielltyper med andre antall seter vil gi andre resultater for frekvens, antall sett og andel ståplasser. Materiell bør velges med en slik komfort (setebredde, benplass etc.) som samsvarer med forventninger i markedet ut fra reisens karakter.

4.3.2.10 Normative krav for lokal- og regiontrafikk

Normative krav gir en minimumsfrekvens og denne kan overstyre resultatet fra en beregning av nødvendig frekvens for å frakte en gitt mengde passasjerer per time med et gitt materiell.

F.eks. er kan det være å sette krav til to avganger per time som minimum i en lavtrafikkperiode, selv om antall reisende i visse perioder hadde fått plass i ett enkeltsett hver annen time. Med så lav frekvens som en avgang hver fjerde time hadde etterspørselen vært redusert siden tilbudet blir for dårlig til å kunne fungere som et reelt transportalternativ.

Som tommelfingerregel kan det tas utgangspunkt i at frekvens ikke skal være lavere i grunnrute enn det halve av frekvensen i rush, og at frekvens i lavtrafikk ikke skal være lavere enn det halve av frekvensen i grunnrute.

Jernbaneverkets perspektivanalyse (2050-perspektiv) omtaler normative krav slik [25]:

«Jernbaneverkets minimumsfrekvenser for kollektivtransportens stamnett må på plass for å realisere Jernbaneverkets perspektiv for antallet reisende i byområdene.

Behovet for infrastruktur i et 2050 perspektiv er basert på minimumsfrekvenser i en rutemodell inndelt etter by/forstad, omland og ytre omland.

For by/forstad innenfor 20 km fra sentrum bør det være minimum 6 avganger per time. Dette vil i et 2050 perspektiv gjelde for strekningene:

- Oslo-Ski (dagens Østfoldbane)
- Asker-Oslo-Lillestrøm
- Stavanger-Sandnes
- Bergen-Arna
- Melhus-Trondheim-Malvik

For omland innenfor 20-50 km fra sentrum bør det være minimum 4 avganger per time. Dette inkluderer flyplassen på Værnes, og flere strekninger på Østlandsområdet.

For ytre omland, innenfor 50-100 km fra sentrum, bør det være minimum 2 avganger per time. Byene Hønefoss, Voss og Steinkjer regnes som del av ytre omland.

Der det finnes et marked for det, bør frekvensen i ytre omland være høyere enn 2 avganger per time. For jernbanen gjelder dette byer som:

- Hamar
- Tønsberg
- Fredrikstad
- Kongsberg

I tillegg bør områder utenfor ytre omland ha 2 avganger per time der trafikkgrunnlaget er tilstrekkelig, for eksempel i:

- Skien
- Lillehammer
- Halden»

4.3.2.11 Døgnfordeling

I tillegg til å beregne setekapasitet og frekvens av tog i rush og grunnrute samt lavtrafikk (se avsnitt 4.3.2.9 og 4.3.2.10), må det også defineres hvilke perioder de identifiserte frekvensene gjelder for.

Fordelingen av frekvenser over døgnet kalles døgnfordeling.

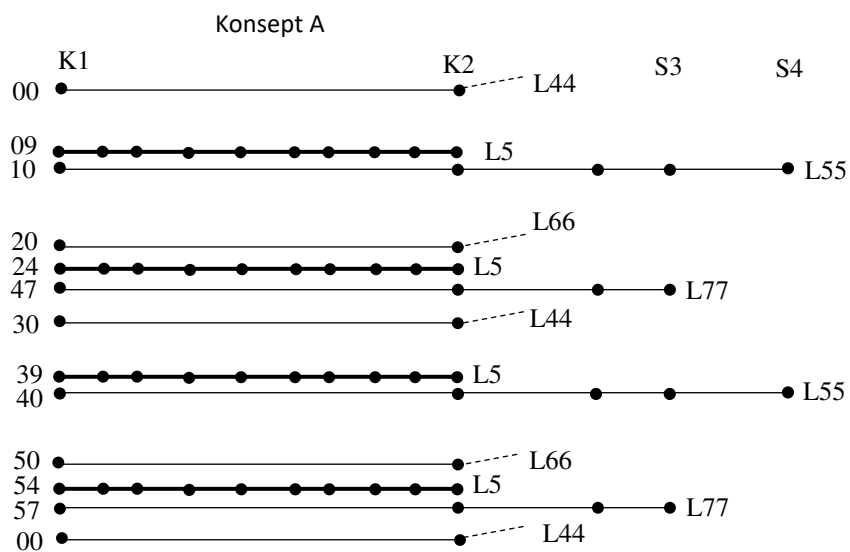
4.3.2.12 Separate linjer eller forlengelser av korte linjer

I dette avsnittet diskuteres det hvordan endringen av et linjekonsept kan påvirke antall reisende, frekvens og materiellbehov.

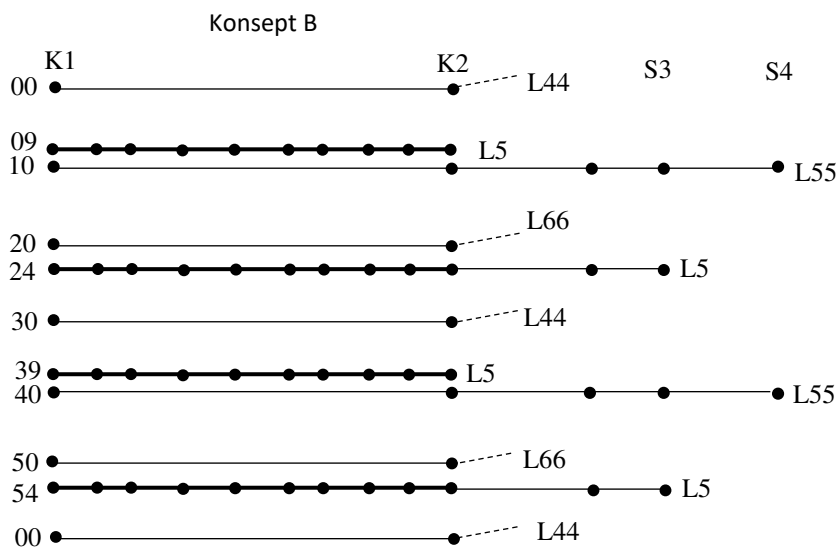
Et driftskonsept A er vist i Figur 105. Det er fire linjer L44, L55 og L66, som kjører uten stopp mellom knutepunktene K1 og K2. Til sammen har disse linjene 10-minuttersintervall. Kjøretiden tenkes å være 10 minutter. I mellom avgangene i 10-minutterssystemet er det en linje L5 som utgjør et 15-minutters system som kjøres på en egen bane. Takting og kjøretidsforskjeller gjør at L44, L55, L66 og L77 ikke kan kjøres på samme bane som L5.

I tillegg er det behov for en innsatslinje L77 som kjøres som supplement til L5 slik at det er kvartersintervall på en del av strekningen som trafikkeres av L5, nemlig mellom stasjon S3 og knutepunkt K1.

Som et alternativ til L77 er det i Figur 106 vist et konsept med forlengelse av L5.



Figur 105. Linjekonsept med separate linjer.



Figur 106. Linjekonsept med forlengelse av linje L5 i stedet for L77.

Fordelene med en slik forlengelse i konsept B er at det krever færre ruteleier på strekningen med 10-minutterssystemet og at det dermed vil være lavere kapasitetsutnyttelse og bedre punktlighet. I

grensetilfellet der det er helt fullt på strekningen mellom knutepunkt K1 og knutepunkt K2 på den banen der L44, L66 og L55 går, slik at det ikke er mulig å øke trafikken og den eneste muligheten for å øke frekvensen ved S3 er å redusere annen trafikk eller bygge en ny bane.

Ulempen med en løsning som i konsept B er at det er lengre reisetid for de reisende fra stasjon S3 og det kan forventes at en del av de reisende bytter på K2 til L44. Hvis de bytter har de 6 minutters ventetid, men bare 10 minutters kjøretid. Tidsbesparelsen er da på 14 minutter, men det er også ulemper med å bytte (må avbryte aktiviteter om bord, usikkerhet om sitteplass videre) slik at ikke alle kan forventes å bytte.

Antall ledige plasser på de enkelte avgangene vil variere, men det må i utgangspunktet antas at det ikke er mye reservekapasitet (sitteplasser eller ståplasser), ellers ville tilbudet vært overdimensjonert.

Hvis det antas at f.eks. halvparten av de reisende blir sittende og halvparten bytter til L44, samt at halvparten av setene opptatt når toget kommer til knutepunkt K2, er det $\frac{1}{2} * \frac{1}{2} * 600 = 150$ passasjerer som bytter og belaster avgangen for L44. Hvis avgangene på L44 i utgangspunktet er nesten fulle fra knutepunkt K2 kan det bli trengsel og avvisning av de reisende. Disse vil da enten fordele seg på andre avganger der det måtte være plass, subsidiært mindre trengsel, (til tider der de ikke optimalt hadde reist) eller la være å reise med i det hele tatt (finner annen transportform).

Også på L5 må det forventes at det er relativt få ledige plasser til å ta opp reisende fra stasjon S3, slik at både de som er om bord fra før og reisende som går på toget inn mot K1 vil oppleve mer trengsel. Alternativt vil det være en avvisningseffekt for reisende på innerstrekningen mot K1.

Uansett hva som konkret blir resultatet av antall reisende og omfordeling mellom avganger er det et *nyttetap* for de reisende av å forlenge L5 fram for å etablere L77.

- Økt trengsel på L44 (for reisende som ellers reiser med L44 samt de som bytter fra forlenget L5)
- Økt trengsel på andre avganger ved omfordeling av reisende fra L44
- Økt trengsel for reisende på L5 på innerstrekningen
- Nyttetap av bytte eller lengre reisetid for reisende fra S3 på L5 sammenlignet med L77.

En forlengelse av en fullstoppende pendel kan gi lavere materiellbehov sammenlignet med å kjøre en separat pendel, men det er ikke alltid tilfellet som vist i det etterfølgende eksemplet.

Det kan tenkes at (a) L55 har en kjøretid på 1:15 mellom K1 og S4, en snutid på 00:15 dermed og en omløpstid på 3:00 timer, (b) L77 har en kjøretid på 00:30 mellom K1 og S3 og en omløpstid på 1:30 timer (avgang på minuttall 00 henholdsvis for L55 vil alltid gi minuttall på 00 henholdsvis 30; avgang på minuttall 15 henholdsvis 45 for L77 vil gi avgang på minuttall 45 eller 15) og (c) at L5 har en kjøretid mellom K1 og K2 på 00:30 og en omløpstid på 1:30 timer. Dette gir et materiellbehov på $2 \text{ tog/time} * 3 \text{ timer/tog} + 2 \text{ tog/time} * 1,5 \text{ time/tog} + 4 \text{ tog/time} * 1,5 \text{ time/tog} = 15$ dobbeltsett (forutsetter dobbeltsett på hver avgang i rush).

I konsept B kan det tilsvarende tenkes at (a) L55 har en kjøretid på 1:15 mellom K1 og S4 og en omløpstid på 3:00 timer, (b) L5 forlenget og har en kjøretid på 00:50 mellom K1 og S3 og en (justert) omløpstid på 2:30 timer for å passe inn på K2 i riktig takt mellom avganger for korte L5 og (c) L5 kort har en kjøretid mellom K1 og K2 på 00:30 og en omløpstid på 3:00 timer for samme minuttall, men da med to avganger i perioden (f.eks. samme sett avgang fra K1 til tidene 07:15, 08:45 og 10:15). Dette gir et

materiellbehov på $2 \text{ tog/time} \cdot 3 \text{ timer/tog} + 2 \text{ tog/time} \cdot 3 \text{ timer/tog} + 2 \text{ tog/time} \cdot (1/2 \cdot 3 \text{ timer/tog}) = 15$
dobbelsett (forutsetter dobbeltsett på hver avgang i rush).

Dvs. materiellbehovet er akkurat det samme i konsept A og B i dette eksemplet.

Oppsummering

Før det besluttet å forlenge fullstoppende pendler som konsept for å øke frekvensen i geografisk marked må det undersøkes nøye hvilke fordeler og ulemper det er sammenlignet med en separat, rask linje. Fordelene og ulempene må veies opp mot hverandre.

4.3.3 Godstrafikk

Til forskjell fra persontrafikk dimensjoneres transportkapasiteten per godstog ikke etter rush- og lavtrafikkperioder. Det er uansett interessant å kjøre så lange tog som mulig.

Det som må dimensjoneres er kapasitet for nok tog av den ønskede lengden.

Godstrafikk har ofte en rush-periode, mens det uten om rush ikke er en fast frekvens men mer som ad-hoc-kjøring. I forbindelse med utarbeidelse av rutemodeller for annen trafikk vil resultatet som regel bli at det vil være et sett faste ruteliefer per time til godstog. Dette antallet må da fastsettes slik at det er nok kapasitet til godstog uten om rush.

4.3.3.1 Etterspørselsfordeling for godstrafikk over uke og døgn

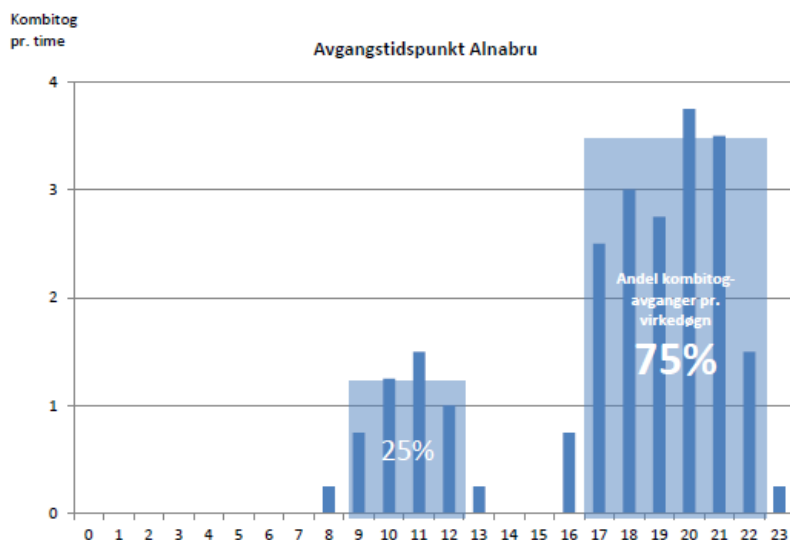
Markedet for godstransport styres av transportkjøpernes behov for å motta leveransen samt driften av godsterminalene. Etterspørsel etter godstransport på jernbane er dermed ikke likt fordelt gjennom året eller gjennom døgnet, og godstransporten har i tillegg en annen døgnfordeling enn persontransporten.

For å justere produksjonsinnsatsen etter markedsmessig etterspørsel reduserer godsselskapene transporttilbudet på tider med forventet lav etterspørsel, slik som i helger og ferier. For Bergensbanen er trafikken eksempelvis fordelt over uken med 80 prosent mandag til torsdag og 20 prosent over de tre gjenværende dagene.

Kombitrafikken er også avhengig av bestemte laste- og lossetider i løpet av døgnet for å være konkurransedyktig. For visse typer gods er ankomsttidspunktet til terminalen kritisk for godsselskapene, slik at varene kommer frem til sluttkunden på et markedsmessig gunstig tidspunkt. Dette gjelder spesielt komitransport. Attraktive tider for godstransport er ut fra terminalene i tidsrommet mellom kl. 17-21 og ankomst på endestasjon mellom kl. 04-06. For å oppnå konkurransefortrinn må godstogselskapene utnytte togmateriellet ved å transportere ikke tidskritiske varer til et lavere kostnadsnivå utenom de ovennevnte tidsperioder.

For strekninger med mange togavganger og store volumer per uke vil aktiviteten fordele seg utover døgnet. På strekninger hvor turneringstiden på togene er mer enn et døgn, vil dette være to intervaller per døgn. Dette betyr at det på de aktuelle terminalene vil være høy aktivitet for lasting og lossing to ganger per dag. Hvordan døgnfordeling ser ut på hver enkelt terminal vil avhenge av destinasjon og reise/turneringstid, men generelt er ankomst til terminal gjerne tidlig på morgenen og avgang ut fra terminal sent på ettermiddag/kveld. Figur 107 viser døgnfordeling (empirisk 2013-2014) for

avgangstidspunkt fra Alnabru godsterminal hvor 75 prosent av kombitogavgangene foregår på sen ettermiddag og 25 prosent går etter morgenrushet. Resten av døgnet har da få avganger.



Figur 107. Empirisk døgnfordeling avgangstidspunkter fra Alnabru for kombitog.

De siste årene har kravene til punktlighet og effektive leveranser økt betydelig for godsselskapene. En relevant årsak synes å være at flere butikkjeder har redusert lagerkapasiteten sin. I stedet ønsker de at varene skal kunne leveres rett før åpningstid, slik at varene kan settes i hyllene samme morgen, eller leveres på bestilling. Med færre og sentraliserte varelagre blir både forutsigbarhet og tidsbruken under transport viktigere. I tillegg er det et stigende ønske om kapasitet også på dagtid for å utnytte materiellet bedre. Dette fører til at etterspørselen etter ruteleier i større grad kommer i konflikt med persontrafikken.

4.3.3.2 Virkedøgnstrafikk

Virkedøgnstrafikken benyttes til å finne dimensjonerende trafikkvolum og er den trafikken som er i et dimensjonerende virkedøgn.

Årsvolum deles på et antall døgn som er mindre enn 365 siden virkedøgnstrafikken er større enn årsdøgntrafikken (gjennomsnittet). Det benyttes 240 virkedøgn per år.

4.3.3.3 Peak hour og peak-in-peak

Den timen i døgnet med høyest trafikk kalles for peak hour eller maksimaltiden. Trafikken i peak hour er dimensjonerende for kapasiteten. Denne timen kan videre deles opp i mindre enheter, for eksempel i kvarter, for å finne den tiden med høyest trafikk innad i peak hour, såkalt peak-in-peak.

På Alnabru er antall togavganger størst time 20 og dette er dermed den dimensjonerende timen (vist i Figur 107). For å finne variasjonen innen denne timen og det maksimale antall avganger (peak-in-peak) måtte antall togavganger for en mindre tidsenhet være kjent.

Det er ulik peakfaktor avhengig av hvilken periode det sees på. Det vil også være ulik peakfaktor om det dreier seg om antall avganger, belastning av lastespor eller belastning av løfteutstyr. Se avsnitt 2.11.8.2 i omtale av godsterminaler for nærmere omtale av dette.

4.3.3.4 Standard materiell

Gods på jernbane fraktes med tog som består av lokomotiv og påhengte vogner. Det benyttes både elektrisk materiell og materiell som går på dieselaggregat. Typisk toglengde på godstog i Norge er per 2015 400-450 m, men i fremtiden kan det bli aktuelt med vesentlig lengre tog, f.eks. 750 meter lange tog jf. [25] (s. 25).

For intermodal transport benyttes det i hovedsak to typer vogner. Toakslede vogner med plass til to TEU hvor vognene har en egenvekt på 13 tonn og en lengde på 17 meter og seksakslede leddvogner med plass til fire TEU. Vognene har en egenvekt på 35 tonn og en lengde på 34 meter. Det kan derfor regnes med 8,5 m per TEU.

4.3.3.5 Trekkraft, lengde, vekt og hastighet

Toglengde og vekt av tog er viktige faktorer for godstogenes transportkapasitet. Det opereres med to typer toglengder. Brutto toglengde tilsvarer hele togets lengde, mens netto toglengde tilsvarer vognenes samlede lengde. Normalt er det kun bruttolengde som oppgis, da denne er relevant for togets fremføring. Netto toglengde fremkommer ved å trekke fra lokomotivets lengde, som generelt er 20 meter. På enkeltsporede strekninger er det kryssingssporene effektive lengde (mellom middel og utkjørssignal) samt lengden på de togene som inngår i kryssingen som avgjør hvor lange tog som kan fremføres

Togets etterhengte vekt begrenses men hvorvidt toglengde eller togvekt begrenser transportkapasiteten for et gitt tog avhenger av stigningsforhold på banen og av kryssingssporlengder.

4.3.3.5.1 Metervekt

Forholdet mellom lengde og vekt gir parameteren metervekt, dvs. vekt per lengdeenhet av toget. I 2012 var for intermodal transport gjennomsnittlig metervekt 2,1 tonn per togmeter. Metervekten på et fullt utnyttet intermodalt godstog er 2,3 tonn per togmeter. Grunnet økt andel av semitrailere og tyngre vogner er denne metervekten nå beregnet til 2,4 - 2,5 tonn per meter. Togselskapene opplyser av denne trenden fortsetter så gjennomsnittlig metervekt vurderes til 2,6 tonn per meter i 2030.

Sammenheng mellom linjeklasse, tillat aksellast og metervekt er vist i Tabell 38, jf. [30].

Tabell 38. Linjeklasse, aksellast og metervekt.

Linjeklasse	Aksellast i tonn	Metervekt i tonn pr. meter
A	16	5,0
B1	18	5,0
B2	18	6,4
C2	20	6,4
C3	20	7,2
C4	20	8,0
D2	22,5	6,4
D3	22,5	7,2
D4	22,5	8,0

Se også Network Statement [15], vedlegg 3.3.2.2.1 Aksellast, om dette emnet. Her oppgis også sammenheng mellom aksellast og tillatt hastighet på ulike banestrekninger.

4.3.3.5.2 Bremseser

Sammenheng mellom bremsegruppe, tog lengde og maks kjørehastighet er vist i Tabell 39, jf. [29] avsn. 6.7.

Tabell 39. Sammenheng mellom lengde av godstog og bremsegruppe.

Bremsegruppe	Toglengde	Hastighet
	Meter	Km/h
P	500	100
P	600	90
P	700	80
G	850	80

4.3.3.5.3 Lokenes trekkeegenskaper i stigning

For toget begrenses etterhengt vekt av kombinasjonen av lokomotivets trekraft og adhesjonsvekt (vekt fordelt på drivhjul), mens hastigheten begrenses av lokenes effekt. Lokenes adhesjonsvekt kan økes gjennom enten gjennom økt vekt per aksel eller øke antall akslinger.

Figur 108 viser generell sammenheng mellom stigning og tillatt belastning i tonn, jf. [29] avsn. 6.9. Ved bruk av to lok øker maksimal belastning.

Største bestemmende stigning i ‰ / Belastning i tonn												
4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
3950	3120	2600	2200	1920	1700	1530	1390	1270	1170	1080	1010	950

Figur 108. Stigning og belastning.

I Tabell 40 er det vist sammenheng mellom ulike loktyper, stigning og etterhengt vekt.

Som det fremgår av Tabell 40 på side 223 vil en overgang til kun moderne fireakslede lok, EL 18, EL 19 eller tilsvarende, gi mulighet for økte tog lengder.

Tabell 40. Sammenheng mellom loktype og etterhengt vekt ved ulik stigning.

Loktype	EL 14	EL 16	EL 18	EL 19	EL 19
Stigning				Sommer	Vinter
Inntil ‰	Tonn	Tonn	Tonn	Tonn	Tonn
5 ‰	1800	1800	1800	1800	1800
10 ‰	1300	1300	1500	1500	1300
15 ‰	990	990	1200	1200	990
18 ‰	900	900	1100	1100	900
20 ‰	850	850	960	1000	850
22 ‰	790	700	850	850	790
25 ‰	750	700	810	810	750

4.3.3.6 Beregning av antall godstog

Beregning av antall godstog tar utgangspunkt i prognostiserte transportvolumer for transportrelasjonene. For å regne om fra transportmengde i årsvolum til antall godstog per time for å kunne dimensjonere jernbaneinfrastrukturen for trafikk må det tas hensyn til både dimensjonerende døgnet og time, samt hvor mange tonn gods et tog kan frakte. Dersom det er retningsubalanse for godstransporten kan det være ønskelig å beregne transportmengde i dimensjonerende retning.

Årsvolum i tonn fordeles på antall tog ut fra deres vekt og lengde og skaleres i forhold til dimensjonerende døgnet og time.

Eksempel

Med en antatt gjennomsnittlig lengde på f.eks. 600 m er det 580 m vogner per tog. Hver TEU krever 8,5 m. Utnyttelsesgraden per tog med hensyn til antall containerplasser antas å være 85 %.

Et tog har da plass til $580 \text{ m/tog} / (8,5 \text{ m/TEU}) * 85\% = 58 \text{ TEU/tog}$.

Det regnes med 240 virkedøgn slik at volum per dimensjonerende døgnet er 1/240 av årlig volum.

Årlig volum på 400 000 TEU gir dimensjonerende døgnavolum på 200 000 TE/år/retning, tilsvarende $200\,000 / 240 = 833 \text{ TEU}$. Dette svarer til $833 \text{ TEU/døgnet} / 58 \text{ TEU/tog} = 14,4 \approx 15$ avganger per døgnet.

Det er da til sammen (i gjennomsnitt) $2 * 15 = 30$ ankomster og avganger per døgnet på terminalen.

Se også kapittel 2.11 for eksempel på beregning i forbindelse med dimensjonering av en godsterminal.

4.4 Materiellets egenskaper

Det finnes mange typer togmateriell, med egenskaper som gjenspeiler bruksområdet. I større markeder har materiellet mer rendyrkede egenskaper enn i markeder hvor det samme materiellet må betjene flere typer trafikk, for eksempel både lokal- og regiontrafikk.

I lokaltrafikk med reisetid på 15 – 30 minutter og kort avstand mellom stopp, vil rask passasjerutveksling (av- og påstigning), god akselerasjon og retardasjon samt stor passasjerkapasitet være viktig, mens for fjerntog vil god komfort og ombordtilbud være av større betydning.

Ved utforming av materiell for lokaltrafikk er det fokus på rask transport av mange personer over kortere avstander med et minimum av komfort. Materiellet kan ha mange dører, smale seter uten regulering av seterygg, stort areal til ståplasser og lite ombordtilbud. Fjerntog har færre dører for å få plass til flere sitteplasser, god setekomfort og ombordtilbud (salg av mat, barnekupé osv).

4.4.1 Transportkapasitet

Når kapasiteten om bord på et tog skal dimensjoneres, må det tas utgangspunkt i en rekke ulike kriterier.

På grunn av stor etterspørselsvariasjon over tid dekkes en del av transportbehovet for korte reiser gjennom ståplasser. Ståplasser kan tilbys når sikkerhetskravene er oppfylt. Et slikt krav kan f.eks. være at ombordpersonale må kunne gå gjennom toget for å gjennomføre sikkerhetsrelevante oppgaver.

Uavhengig av forholdene må alle reisende kunne stå sikkert uten fare for å falle eller snuble mens toget er i bevegelse. Forutsetninger for dimensjonering av ståplasser er innretninger som det er mulig å holde seg fast i, f.eks. stang, håndtak.

Klappseter gir mulighet å sitte i ståplassareal og er derfor installert i mindre attraktive områder på toget, f.eks. i nærheten av toalett, i flerbruksområde, ved siden av dører, mm. Klappseter har redusert komfort siden de verken har bord eller setelomme og tanken er at det forventes av andre reisende at de reiser seg og at klappsetet felles opp når det oppstår behov for flere ståplasser. Klappseter som ikke er montert i ståplassområde, og som bare av hensyn til muligheten for effektivt renhold er mulig å felle opp og ned, regnes som faste seter.

I en rapport om dimensjonering av transportkapasitet i lokal- og regionaltrafikk [16] har Jernbaneverket på bakgrunn av data fra transportetater i England og Tyskland, utarbeidet terskelverdier for hvilke forventninger til plasskapasitet som bør innfris for å tilfredsstille kriteriene som ble nevnt ovenfor.

Disse terskelverdiene omfatter følgende:

- For togreiser på inntil 15 minutter forventes det at de reisende i en normalsituasjon vil oppleve det som akseptabelt å benytte ståplass. I dimensjoneringsprosessen vil det derfor legges opp til at det på reiser med varighet på inntil 15 minutter, er kapasitet til langt flere reisende om bord enn antallet sitteplasser tilsier.
- På reiser som varer fra 15 til 30 minutter tars det i dimensjoneringsprosessen høyde for at alle reisende skal ha mulighet til å sitte. Det stilles imidlertid ingen øvrige krav til setekvalitet, ettersom reisetiden er relativt kort. Det forventes eksempelvis at de reisende vil oppfatte komforten som tilstrekkelig også dersom de eneste tilgjengelige setene er klappseter eller seter som befinner seg i midten av en treseter, hvor det er tett til sidemann.

- For reiser som varer over 30 minutter legges det i dimensjoneringsprosessen til grunn at alle reisende skal ha et sete til rådighet som skal være forbundet med en viss type komfort. Det skal eksempelvis verken være nødvendig å sitte på et klappsete eller på et trangt sete mellom to andre personer.
- For fjerntog skal det være god komfort over hele reisen, og klappseter eller trange seter er ikke akseptabelt.

4.4.2 Kjøretid og framføringstid

Korteste kjøretid avhenger, når det sees bort fra linjens egenskaper, av materiellets tekniske egenskaper, som akselerasjon, retardasjon og maksimalhastighet. Med framføringstid menes i tillegg oppholdstid for passasjerutveksling på stasjonene og tid for kryssinger.

4.4.3 Akselerasjon og retardasjon

Materiell for nærtrafikk har god akselerasjon og retardasjon, typiske verdier er 0,8 til 0,7 m/s². Ved verdier opp mot 1,0 m/s² kan det utgjøre en sikkerhetsrisiko ved at passasjerene ikke klarer å stå oppreist uten noe å holde seg i.

For fjerntrafikk med få stopp, er verdiene for akselerasjon og retardasjon lavere, først og fremst av komforthensyn. Det gjør også mindre utslag på kjøretiden med få stopp. Det er imidlertid viktig at materiellet har nok ytelse til å holde jevn akselerasjon opp til marsjhastighet.

Elektrisk drevet togmateriell har vanligvis bedre ytelse og akselerasjon enn dieseldrevet materiell, spesielt i det øvre hastighetsområdet.

4.4.4 Passasjerutveksling og oppholdstid

Oppholdstid på stasjonene er avhengig av flere faktorer:

- Dørenes størrelse og utforming. I lokaltrafikken er det viktig å få passasjerene raskt av og på. Brede dører som gir plass til to personer i bredden, og dører som åpner seg raskt (3-4 sekunder). Trykktette dører som brukes på en del fjerntog og flytogets materiell, er smalere og bruker lengre tid på åpning og lukking.
- God plass i inngangspartiet. Passasjerene kan samle seg der før toget stanser, og dette virker også som en buffer før passasjerene går videre inn i vogna ved påstigning.
- Utfellbare trinn på toget øker den tekniske oppholdstiden.
- Ingen trappetrinn. Trinnløs av- og påstigning går raskere, spesielt for bevegelseshemmede og reisende med mye bagasje.
- Antall dører. Mange dører gir rask av- og påstigning.
- Avgangsprosedyrer.
- Antall reisende på den enkelte stasjon.
- Hvordan de reisende fordeler seg på plattformen; er det flere inn-/utganger.

Faktorene kan være forskjellige for materielltyper som i utgangspunktet kan se ganske like ut, og må settes sammen i det enkelte tilfelle. Rutetekniske tillegg, for eksempel på grunn av ankomst til avgreningsstasjon, er ikke en del av denne oppholdstiden.

Typiske tider er 10- 30 sekunder for selve passasjerutvekslingen. Teknisk tid for dørlukking, avgangsprosedyrer, osv kan være 25-40 sekunder.

4.4.5 Materieltyper

I lokal- og regiontrafikk i Norge brukes det i dag motorvognsett med 3 til 5 vogner. Disse går fast sammenkoblet og kobles bare fra hverandre ved verkstedopphold. Når det ønskes å øke transportkapasiteten økes den da til det dobbelte ved å kjøre to motorvognsett. I fjerntogene brukes også en løsning med lokomotiv og vogner. Dette er mer fleksibelt med hensyn til å sette inn eller å ta ut en eller flere vogner, men det kjøres vanligvis med togstammer på 6-8 vogner.

Toetasjes materiell brukes ikke i Norge. Antallet sitteplasser øker ikke med 100 % selv om det er to etasjer, en del plass går bort til trapper og teknisk utstyr. Økningen i antall sitteplasser er avhengig av innredningsløsning, og ligger på cirka 40 %, basert på sammenlikning av 2+2 setekonfigurasjon. En sammenlikning med 2+3 setekonfigurasjon, som brukes i norske lokaltog, gir en økning på cirka 20 %.

For toetasjes materiell øker tid passasjerutveksling, siden det er flere passasjerer som skal av og på. Særlig på de store stasjonene er det en faktor. Togfølgetiden kan da øke, og transportkapasiteten på strekningen øker ikke nødvendigvis, selv om det er plass til flere i hvert tog. Teknisk er det mulig å ta i bruk toetasjes materiell i forhold til infrastrukturen, men et viktig ankepunkt er at oppholdstiden på stasjonene øker når det blir flere reisende i en vogn. Hittil har det vært mulig å øke transportkapasiteten ved å øke tog lengden.

4.4.6 Vendetid

For å oppnå god stasjonskapasitet er det viktig at det ikke tar for lang tid å snu materiellet på endestasjonen. Avhengig av materielltype kan dette ta 5 – 20 minutter. Tiden går med til å avslutte kontroll fra et førerrom, gå til motsatt ende av toget, og oppkobling og prosedyrer for å kunne kjøre fra det andre førerrommet. For motorvognsett ligger dette typisk på 5-10 minutter, men i rutene legges det inn slakk for forsinkelser.

Hvis det kjøres med lokomotiv og vogner, må lokomotivet kobles fra, kjøres til motsatt ende av toget og kobles til der. Dette er mer tidkrevende, og det trengs også et ledig spor slik at lokomotivet kan skiftes over til motsatt ende av togstammen. En løsning som ikke benyttes i Norge, er at togsettet har en styrevogn i motsatt ende av lokomotivet, hvor føreren kan fjernstyre lokomotivet. Det unngås da å gå rundt med lokomotivet, og løsningen fungerer som ved motorvognsett.

Tabell 41. Egnethet av ulike materielltyper ved ulike togkategorier.

	S-BANE	LOKALTOG	REGIONTOG	FJERNTOG
Ståplasser	Egnet	Egnet	Kanskje egnet	Uegnet
Setefordeling 2+3	Egnet	Egnet	Uegnet	Uegnet
Setefordeling 2+2	Uegnet	Uegnet	Egnet	Egnet
Toalett	Uegnet	Egnet	Egnet	Egnet
Serveringstilbud	Uegnet	Uegnet	Kanskje egnet	Egnet
Motorvognsett	Egnet	Egnet	Egnet	Egnet
Lok og vogner	Uegnet	Uegnet	Kanskje egnet	Egnet

4.4.7 Standardmateriell

Ved planlegging av rutetilbud benyttes følgende standardmateriell som vist i Tabell 42.

Tabell 42. Standardmateriell.

Togkategori	Tidshorisont 2024-2030	Tidshorisont 2050
Lokaltog*	Type 72	Ny lokaltogtype (220m)
Regiontog	Type 75	Type 75
Regionekspresstog	Type 74	Type 74
Fjertog	El18-8xB7	Type 74
Flytog	Type 71	Type 78
Godstog	El19-600m-800t-100kmh	El19-600m-800t-100/120kmh

Lengder av tog og lengder av plattformer må passe sammen. Teknisk regelverk, [26], omtaler lengder av plattformer, men dette er ikke tilstrekkelig for å vurdere effekten på kjøretid og kapasitet.

I noen tilfeller er det nok margin i ruteplanen til at det kan kjøres sakte fram med nøyaktig posisjonering, slik at det tilstrekkelig at plattformlengde er akkurat like lang som avstand mellom dører. I andre tilfeller (i en konkret rutemodell) er det liten eller ingen margin slik at det er viktig å kjøre raskest mulig fram til stopp slik at det er nødvendig med noe margin for toglangden.

I Tabell 43 vises det plasstilbudet for én avgang pr. togtype og ved et gitt komfortnivå. For nærmere diskusjon av sitteplassdimensjonering, se Dimensjoneringsveileder [16].

Tabell 43. Plasstilbud pr. togtype og komfortnivå, pr. togsett. LOS = Level Of Service.

LOS	Komfortnivå	Kommen tar	Utnyttelses- grad	Type 69-3	Type 71	Type 72	Type 74	Type 75
F	Begrensning i forhold til togets konstruksjon			-	-	-	-	-
E	Ståplasser, avviki-situasjoner, 4 p./m ²		1,4–2,0	420	400	490	417	593
D	Ståplasser, normale forhold, 2 p./m ²		1,2 -1,5	360	244	405	347	427
C 15-30	Fleste seter opptatt, noen stående	Faste og klapp-seter	1,00	300	244	305	240	295
C >30	Faste seter opptatt, noen klappseter/stående	Faste seter (>30 min)	-	300	244	300	204	259
	Trengselsgrense	70% av faste seter er opptatt	-	210	171	210	143	181
B	Ledige seter Kan ikke velge	Faste seter	0,51-0,69	209	170	209	143	180
A	Ledige seter 1 sete mellomrom	Faste seter	0,00-0,50	150	122	150	102	117

Pga. ujevn kapasitetsutnyttelse ved kjøring av multiple sett, reduseres kapasiteten med følgende faktorer som vist i Tabell 44.

Tabell 44. Reduksjonsfaktorer ved kjøring av multiple sett.

	Reduksjonsfaktor for...		
	første sett	andre sett	tredje sett
Enkeltsett	0,0	-	-
Dobbeltsett	0,0	0,0*	-
Trippelsett	0,0	0,0*	0,1**

* Det er sannsynligvis behov for en reduksjonsfaktor, men den anses foreløpig dekket av peak hour factor.

** Foreløpig: Reduksjonsfaktor som ikke anses å være dekket av peak hour factor.

4.5 Oppfattet tilbud

4.5.1 Problemstilling

For reisende med tog vil det optimale avreise- eller ankomsttidspunkt kunne være et vilkårlig tidspunkt mellom faktiske avganger eller ankomster som tilbys i ruteplanen. Det betyr at reisende vil oppleve en ventetid ved avgang fra optimal, ønsket avreisetid til faktisk avreisetid. På samme måte opplever reisende en ventetid ved ankomst som følge av tidsforskjell mellom faktisk og ønsket ankomsttidspunkt.

Jo høyere frekvensen er for tog desto kortere tidsavstand vil det være mellom togavganger og mellom togankomster. Tilsvarende vil ventetiden reduseres med økt frekvens. Frekvens og ventetid er omvendt proporsjonale.

Med tidsmessig jevnt fordelte avganger og ankomster er det enkelt å beregne forventet ventetid. Hvis avgangene imidlertid ikke er jevnt fordelt, men "klumper seg sammen" til visse tider blir den reelle frekvensen oppfattet som en annen (og lavere) enn den (aritmetisk) gjennomsnittlige frekvensen, dvs. annerledes enn den nominelle frekvensen.

Hvis det er varierende framføringstid for togene vil det også medføre at den oppfattede framføringstiden blir annerledes enn den (aritmetisk) gjennomsnittlige framføringstiden. Med varierende framføringstid vil ventetiden også påvirkes.

Oppfattet ventetid og framføringstid kan benyttes som grunnlag i samfunnsøkonomiske analyser for en bedre beskrivelse av endring i reisekostnader (generaliserte kostnader) når rutetilbudet endres som følge av en utbygging.

4.5.2 Ventetider

Ventetiden T_V mellom to togavganger er i gjennomsnitt lik halvparten av tidsintervallet T mellom avgangene. Det antas at reisende kommer jevnt fordelt. Dvs. at ventetid beregnes som:

$$T_V = \frac{1}{2} * T$$

Ventetid kan berignes ut fra ventetid ved avgang eller ventetid ved ankomst avhengig av hva som er det viktigste for den reisende.

4.5.3 Oppfattet frekvens

Den vektete, gjennomsnittlige ventetiden svarer til en gjennomsnittlig *oppfattet frekvens* som de reisende opplever. Sammenhengen mellom frekvens, f , dvs. antall tog per time og ventetid er $T_V = 1/2 * 1/f$. Med forventet ventetid $E(T_V)$ og oppfattet frekvens $f_{oppfattet}$ blir det tilsvarende:

$$E(T_V) = \frac{1}{2} T_{oppfattet} = \frac{1}{2} \frac{1}{f_{oppfattet}}$$

$\Leftrightarrow$

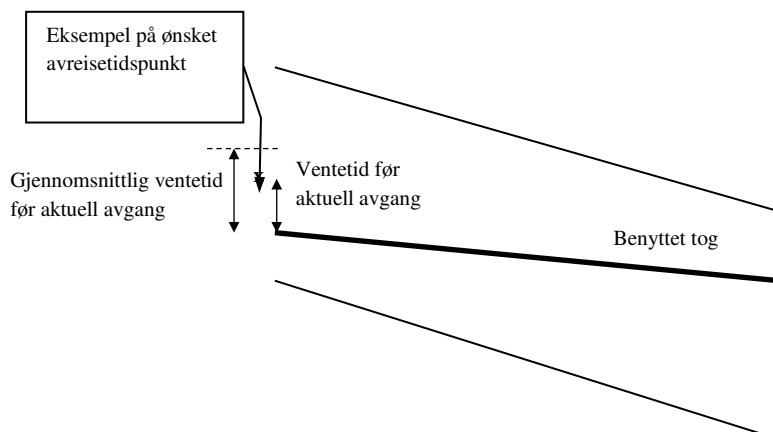
$$f_{oppfattet} = \frac{1}{2} \frac{1}{E(T_V)}$$

Med $E(T_V)$ målt i minutter og f målt i antall tog per time er ligningen:

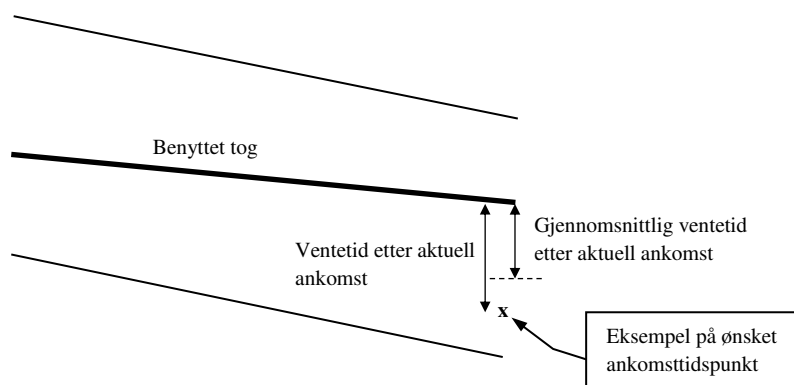
$$f_{oppfattet} = \frac{1}{2} \frac{60}{E(T_V)}, \text{ der } [f] = \text{tog/time og } [E(T_V)] = \text{minutt}$$

4.5.4 Avgangsventetid og ankomstventetid

Ventetid kan beregnes ut fra ventetid ved avgang eller ventetid ved ankomst avhengig av hva som er det viktigste for den reisende. Prinsippene for beregning er vist i Figur 109 og Figur 110.



Figur 109. Illustrasjon av avgangsventetid.

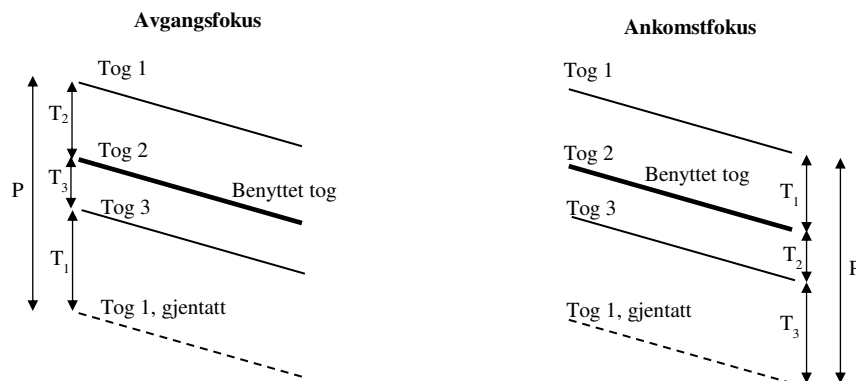


Figur 110. Illustrasjon av ankomstventetid.

Forventet ventetid $E(T_V)$ for en periode med flere tog er lik den gjennomsnittlige, vektete ventetiden mellom hvert tog. Ventetiden mellom hver togavgang vektes med sannsynligheten for at reisende vil velge den aktuelle avgangen.

Sannsynligheten for at tog nr. i benyttes er lik den relative andelen av tidsintervallet T_i som er relevant for avgang eller ankomst, sett i forhold til hele tidsperioden, P , som betraktes, dvs. $p_i = T_i/P$. Hvis

reisende fokuserer på ventetid ved avgang er sannsynligheten p_i lik den relative andelen av tidsintervallet mellom tog *før* avgangen, sett i forhold til hele perioden for en syklus av tog (før de gjentas). Hvis reisende fokuserer på ventetid ved ankomst er sannsynligheten p_i lik den relative andelen av tidsintervallet mellom tog *etter* ankomsten, sett i forhold til hele perioden for en syklus av tog (før de gjentas). Dette er illustrert i Figur 111.



Figur 111. Intervall ved avgangs- eller ankomst.

Generelt gjelder det at forventet ventetid er lik

$$E(T_V) = \sum_{i=1}^N p_i T_{Vi} = \sum_{i=1}^N p_i \frac{1}{2} T_i = \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{P} \frac{1}{2} T_i = \frac{1}{2P} \sum_{i=1}^N T_i^2$$

Med lik tidsavstand mellom alle tog og lik framføringstid for alle tog er det lik sannsynlighet for togene for at de blir benyttet. Vektet ventetid blir da lik ventetiden i ett intervall:

$$E(T_V)_{Jevne Intervaller} = \frac{1}{2P} \sum_{i=1}^N T_i^2 = \frac{1}{2P} \sum_{i=1}^N \frac{P}{N} T_i = \frac{1}{2P} N \left(\frac{P}{N} T_i \right) = \frac{1}{2} T_i = \frac{1}{2} \frac{60}{N}$$

Ved en skjevfordeling av avganger (ulike tidsintervaller mellom avgangene) vil forventet verdi avvike fra det aritmetiske gjennomsnittet.

Når uttrykket for forventet ventetid settes inn i uttrykket for oppfattet frekvens fås:

$$f_{oppfattet} = \frac{1}{2} \frac{60}{E(T_V)} = \frac{60P}{\sum_{i=1}^N T_i^2}, \quad \text{der } [f] = \text{tog/time og } [T_i] = \text{minutt}$$

I beregningen er det forutsatt like kjøretider, men ujevne intervaller. Med ulike kjøretider vil det bli ulik frekvens ved avgang og/eller ankomst og beregningen kan utføres med hensyn til avgangsintervaller og ankomstintervaller. De oppfattede avgangs- og ankomstfrekvensene kan deretter vektes ut fra hvilken vekt de reisende legger på avgangs- og ankomstfrekvenser.

Eksempel 1

Tog har lik kjøretid men det er 20/40-minuttersintervall.

$$f_{oppfattet} = \frac{60P}{\sum_{i=1}^N T_i^2} = \frac{60 * (20 + 40)}{20^2 + 40^2} = 1,8 \text{ tog/time}$$

Nominell frekvens er 2 tog/time. Dvs. at oppfattet frekvens er 10 % lavere enn nominell frekvens.

Eksempel 2

En strekning har 2 tog/time med 30 min kjøretid henholdsvis 20 min kjøretid. Avgangsintervall er 40/20 med det raske toget først i 40-minuttersintervallet. Det betyr at ankomstintervall er 10/50. Det gir en oppfattet ankomstfrekvens på

$$f_{oppfattet} = \frac{60P}{\sum_{i=1}^N T_i^2} = \frac{60 * (10 + 50)}{10^2 + 50^2} = 1,4 \text{ tog/time}$$

Nominell frekvens er 2 tog/time. Dvs. at oppfattet frekvens er 30 % lavere enn nominell frekvens.

5 Rutemodelluavhengig dimensjonering - lang sikt

5.1 Konseptuell dimensjonering

5.1.1 Inngangsdata til rutemodelluavhengig prosess

I en rutemodelluavhengig prosess er det behov for data om transportkapasitetsmålet, dvs. om hvor mange reisende det skal være per tidsenhet.

5.1.2 Materiellbehovsestimat

Med et definert tilbudskonsept kan det lages et estimat for hvor mange togsett som trengs for å kjøre tilbudet.

5.1.3 Hensettingskonsept

Med et definert tilbudskonsept kan det lages et estimat for hvor mange togsett som trengs for å kjøre tilbudet. Det estimerte hensettingsbehovet er en fordeling av materiellbehovet for linjer i et tilbudskonsept på linjenes endestasjoner. Hvordan denne fordelingen gjøres, avhenger av linjenes egenskaper.

Et hensettingskonsept er en fordeling av det estimerte hensettingsbehovet (som oppstår på enkeltstasjoner) for et tilbudskonsept på ulike eksisterende eller potensielle fremtidige hensettingsanlegg.

Fordelingen gjøres basert på hva som er antatt rasjonelt sted å hensette togsett fra hver enkelt linje, begrenset av kapasiteten i anlegget. Det vil være mest gunstig i forhold til minimering av tomtogkjøring å hensette i et anlegg på endestasjonen. Et alternativ er å hensette ved en stasjon i umiddelbar nærhet til endestasjonen. I så fall er det mest gunstig om dette er *forbi* pendelens ytterpunkt, fordi det vil gi færrest mulig vendeoperasjoner og mindre beslaglegging av motstrømskapasitet. Et alternativt driftskonsept, dersom det blir aktuelt å hensette *mellom* ytterpunktene, er at de første avgangene om morgenen og de siste om kvelden bare kjøres deler av strekningen, fram til stasjonen som har eller er nærmest hensettingsanlegget. Tilsvarende kan det i forbindelse med nedtrapping av tilbudet til lavtrafikk, f.eks. ved halvering av frekvensen, gjøres slik at halvparten av de siste avgangene før lavtrafikkperioden bare kjører deler av strekningen.

Utgangspunktet for estimatet er en ideell plassering av verksted- og hensettingsanlegg. En tilpasning til eksisterende infrastruktur i neste planleggingsfase vil i mange tilfeller avvike fra denne plasseringen.

Lønnsomheten i driften av et hensettingsanlegg øker med antall stasjonerte togsett. Dermed kan det av økonomiske grunner lønne seg for et togselskap å samlokalisere hensettingsfasiliteter for flere linjer på ett sted med felles oppmøtested for personal. Resulterende mengde tomtogkjøring vil i så måte være en viktig beslutningsparameter.

5.1.4 Øvrig trafikk

I tillegg til inntektsgivende trafikk (tog som reisende eller godskunder finner i en ruteplan) er det mange andre tog som må kjøres for å få systemet til å fungere. Dette er

- Tomtog i forbindelse med oppstart av tilbud eller før og etter rushperioder (posisjonering)
- Arbeidstog
- Målevogn for inspeksjon av banen

Disse togene må inkluderes når behovet for kapasitet defineres.

5.1.5 Driftskonsept

Basert på tilbudskonsept og øvrig trafikk etableres det et driftskonsept som viser hvordan samtlige tog skal kjøres. Dette danner grunnlag for å identifisere kapasitetsbehov og videre analyser av infrastrukturbehov.

5.1.6 Tilgjengelig infrastruktur

Den tilgjengelige infrastrukturen – dagens eller planlagte i referanse – beskrives og utgjør et grunnlag for å fordele trafikk og for å identifisere *gap* mellom nødvendig og tilgjengelig infrastruktur.

5.1.7 Banekonsept og funksjonskrav

Et banekonsept er en beskrivelse på overordnet nivå av infrastrukturen og hvordan den benyttes. Detaljeringsnivået er grovt; linjen beskrives som enkeltspor, dobbeltspor eller flere dobbeltspor, og stasjoner beskrives som punkter (noder) uten detaljert beskrivelse av spor og signaler. Trafikken angis som frekvenser og kjøretider, men uten eksakt minuttangivelse.

Basert på driftskonseptet utvikles et banekonsept og derigjennom gjøres det en overordnet beskrivelse av nødvendige togfølgetider, behov for vendekapasitet etc. Dette gir et estimat for nødvendig kapasitet.

Basert på eksisterende infrastruktur (eller referanseinfrastruktur) kan eksisterende kapasitet beregnes (grovestimat) Kapasitetsestimatet sammenlignes med ønsket kapasitet og det identifiseres om det er elementer (strekninger/stasjoner) som behøver økt kapasitet.

Hvis det er behov for å øke kapasiteten foreslås tiltak på samme nivå som infrastrukturbeskrivelsen, dvs. f.eks. nye kryssingsspor eller dobbeltspor eventuelt nytt dobbeltspor (for å separere trafikk).

Med forslåtte tiltak fås et nytt banekonsept og det gjøres ny vurdering av transportetterspørsel og nødvendig trafikkkapasitet og banekonseptet etter tiltakene krever justering.

5.2 Identifikasjon av anbefalt løsning

5.2.1 Utredningsfasen

Etter at funksjonskrav er etablert skal det utredes hvilke mulige tiltak som kan gjennomføres for å realisere det identifiserte kapasitetsbehovet. Det kan være flere aktuelle løsninger som må utredes.

5.2.2 Strategiutredninger

Arbeidet med å utrede løsninger kan, avhengig av omfang og type identifiserte gap i funksjonskrav, være en del av det generelle arbeidet med strategiutredninger.

Det kan også være behov for å koordinere utredningen med andre strategiutredninger som overlapper med det aktuelle området.

5.2.3 KVVU/KS1

For alle samferdselsprosjekt med en forventet kostnad over 750 millioner kroner (per juli 2015) er det et krav om det skal gjennomføres en konseptutvalgsutredning (KVVU) med en påfølgende ekstern kvalitetssikring (KS1). Dette er en faglig statlig utredning som gjennomføres i en tidlig fase for store prosjekter.

Samferdselsdepartementet kan - via et oppdragsbrev - bestille en konseptvalgutredning (KVVU). Hensikten med dette arbeidet er å utarbeide og vurdere ulike konsepter som kan løse samfunnets transportbehov. Hensiktsmessig bruk av KVVU/KS1 kan effektivisere planleggingen videre. For eksempel kan det tidlig velges bort ugunstige alternativer som kan ha store negative effekter på naturmangfold eller jordvern.

På grunnlag av KVVU og KS1 fatter Regjeringen følgende beslutning:

- om prosjektet skal videreføres og herunder den videre framdrift for planleggingen.
- hvilket konsept som eventuelt skal legges til grunn videre planlegging.

5.2.4 Beskrivelse av anbefalt løsning

Basert på utredningene av løsningsmuligheter (eventuelt som KVVU) og kvalitetssikringen ved KS1 anbefales det en løsning for videre planlegging.

Det må sikres at den valgte løsningen også etter utredningsfasen oppfyller funksjonskravene slik at det tenkte tilbudskonseptet kan avvikles.

Kriterier for å anbefale en løsning er (grad av) kapasitetsmessig måloppnåelse kombinert med samfunnsøkonomisk lønnsomhet og politiske ønsker. Hvis det viser seg at en løsning er ulønnsom kan det utarbeides reviderte driftsopplegg for å redusere omfanget av tiltak. Dette medfører da at dimensjoneringsprosessen må gjentas og at det foretas en ny vurdering av mulige løsninger og lønnsomhet og oppnåelse av politiske mål.

5.3 Bruk av identifiserte løsning

Omfanget av realisert infrastruktur på lang sikt utgjør målet for utbygging.

Basert på utviklingen i etterspørsel kan det utarbeides en tidsplan for hvordan infrastrukturen kan bygges i trinnvis slik at etterspørselen er møtt.

6 Rutemodellavhengig dimensjonering - mellomlang sikt

6.1 Strategisk dimensjonering

Dette kapitlet beskriver den rutemodellavhengige dimensjoneringsprosessen.

6.1.1 Rutemodell

En rutemodellavhengig dimensjonering baserer seg på en rutemodell som er en detaljert beskrivelse av hvordan tog skal kjøres, men gjelder for en lengre tidshorisont enn en ruteplan.

6.1.1.1 Metode

Den rutemodellavhengige dimensjoneringen baserer seg på en konkret rutemodell som identifiserer spesifikke muligheter for trafikk og for spesifikke behov for tiltak i infrastrukturen.

Rutemodellene konstrueres for alle avganger over hele driftsdøgnet for et gitt nett slik at alle interaksjoner og bindinger tas med og potensielle konflikter og begrensninger kan identifiseres.

Rutemodellavhengig dimensjonering av infrastruktur er først og fremst hensiktsmessig når hovedtrekkene i jernbaneinfrastrukturen er fastlagt. Dette gjelder for eksempel når det skal planlegges et transporttilbud på en strekning for et tidspunkt fram i tid, hvor det ikke er rom for større investeringer i form av f.eks. etablering av lange strekninger med dobbeltspor og bygging av nye baner.

Metoden med rutemodellavhengig dimensjonering krever at tilbudskonsept og banekonsept fastlegges for et større geografisk område. Dermed kan det tas høyde for rutemessige bindinger mellom ulike linjer for å utrede behovet for infrastrukturkapasitet. Metoden vil avdekke steder i infrastrukturen hvor det ikke finnes tilstrekkelig kapasitet til å realisere det ønskede tilbudskonseptet. For å løse en slik kapasitetsbrist, kan det velges å:

- Identifisere et tiltaksbehov. Tilbudskonseptet skal realiseres som det er, og kapasiteten må økes for å kunne realisere det.
- Gjøre mindre justeringer av tilbudskonsept, f.eks. å øke fremføringstider eller akseptere intervaller som ikke er faste.
- Foreslå større endringer av tilbudskonseptet. Det ønskede tilbudskonseptet er ikke gjennomførbart, eller for kostbart å realisere. Det gis en tilbakemelding til det tilbudskonseptuelle arbeidet om at det må gjøres justeringer.

Det er ikke gitt hvilken av disse alternativene som bør velges for å løse identifiserte kapasitetsbrister. Det som er viktig er at ruteplanlegger ikke gjør slike større beslutninger på egen hånd, men sørger for å løfte problemstillingen slik at den kan drøftes med f.eks. markedsanalytikere og samfunnsøkonomer. Dette sikrer at det blir tilstrekkelig dokumentert og belyst hvilke endringer som gjøres.

6.1.1.2 Om stoppmønster

Stoppmønster bør som hovedregel være avklart før det begynnes med rutemodellavhengig planlegging. Om nye stasjoner skal opprettes, eller lite brukte stasjoner skal legges ned, er en rutemodelluavhengig vurdering som må gjøres i forkant. Ved utarbeidelse av linjekonsepter gjøres det en vurdering av hvilke linjer som betjener hvilke stasjoner, og dette utgjør inngangsdata til rutemodellarbeidet.

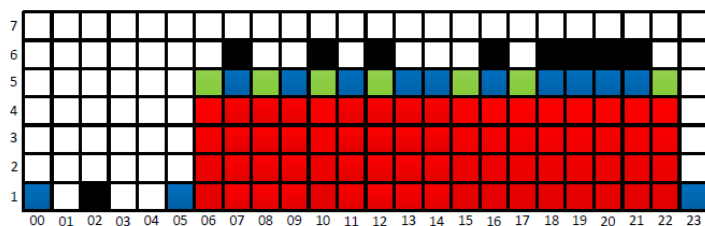
I noen situasjoner kan det være vanskelig å få en rutemodell til å gå opp (være kjørbart) hvis hver linje har stopp på alle stasjoner som tilbudskonseptet tilsier. Dette er spesielt aktuelt når det er knapt med tid for et tog å rekke fra én kryssing til den neste på enkeltspor, og det fins stasjoner som har lite passasjergrunnlag. Samtidig har det vist seg svært vanskelig å få aksept i offentligheten for at det er nødvendig å legge ned en stasjon av ruteplantekniske årsaker. Det er grunnen til at stoppmønster må være forhåndsavklart. Her er noen mulige løsninger i situasjoner hvor dette oppstår:

- Akseptere lavere punktligheit, og formidle dette tydelig.
- Ruteplanen justeres, for eksempel med et tidstillegg et annet sted (f.eks. rett før en fellesstrekning eller i snutid) for å kunne ta igjen oppstått forsinkelse, eller ved at kryssing legges på et lite optimalt sted med lang ventetid på kryssing.
- Foreslå investeringstiltak. Det må spares inn tilstrekkelig med tid til at stoppet kan gjøres. I nytte/kost-analysen og senere politisk behandling av et slikt prosjekt avgjøres det om investeringen kan forsvare nytten ved å opprettholde den aktuelle stasjonen.
- Større justeringer av tilbudskonsept ved reduksjon av frekvens, se tidligere beskrivelse av dette alternativet. Lavere frekvens betyr som oftest færre kryssinger, flere frihetsgrader i ruteplanlegging og kan dermed bety mer tid for toget å rekke fram i tide.
- Omfordele stopp mellom linjer. For eksempel kan det være stasjoner hvor tog kun stopper i rush – på Kongsvingerbanen er det i R15 slik at innsatstogene stopper ved Tuen og Bodung, mens grunnrutetogene ikke gjør det. En mulig endring, dersom det med et annet kryssingsmønster er knapp tid for innsatstogene til å rekke dette, er at grunnrutetoget stopper der isteden (da kun i rush) dersom det har bedre tid på den samme strekningen. Dette kan føre til at dette toget får ustive ruter i rush, eller det kan få mindre slakk på de avgangene som har dette stoppet.

Stasjoner med lavt passasjergrunnlag som går igjen som utfordringer i rutemodellarbeid bør flagges slik at de kan vurderes i forkant av senere rutemodellarbeid.

6.1.1.3 Standarddøgnfordeling og materiell

For å spesifisere rutetilbudet kan frekvens for hver togtype over driftsdøgnet vises med en framstilling som i Figur 112. Figuren viser antall avganger fra en gitt stasjon.



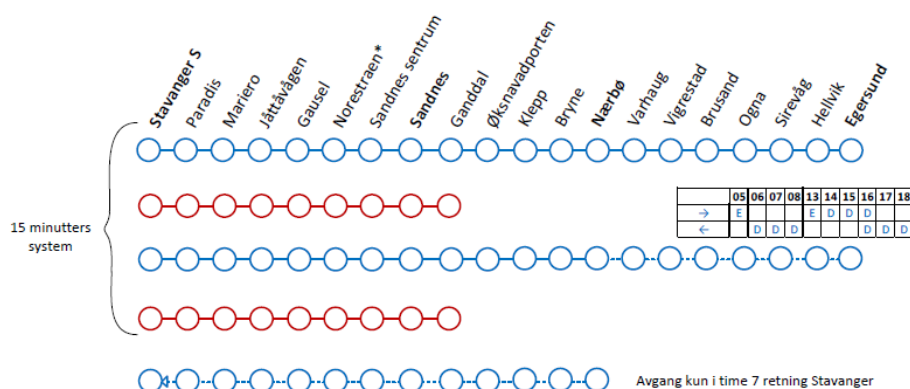
Figur 112. Fordeling av antall tog per døgn, standarddøgnfordeling. Rød=lokal, blå=region, grønn=fjerntog og svart=gods.

I tillegg suppleres per linje med en angivelse av hvilke timer som betjenes med enkeltsett eller dobbeltsett (eller trippelsett hvis nødvendig), slik det er vist i Figur 113. Dette benyttes i omløpsplanlegging og for å beregne samlet materiellbehov (for dimensjonering av hensettingsanlegg).

Grunnrute mot Oslo		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Lokal	Helpendel	E					E	D	D	D	E	E	E	E	E	E	D	D	D	E	E	E	E	E	E
	Halvpindel	E					E	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Regional	Helpendel	E					E	D	D	E	E	E	E	E	E	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E
	Halvpindel	E					E	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
IC	Helpendel	E					D	D	D	E	E	E	E	E	E	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E
	Halvpindel	E					D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E

Figur 113. Oversikt over avganger med enkeltsett og dobbeltsett.

For å vise linjestrukturen er det også hensiktsmessig å vise et diagram som viser linjer og avganger per time, slik som i Figur 114.



Figur 114. Eksempel på skisse av linjekonsept med stoppmønster.

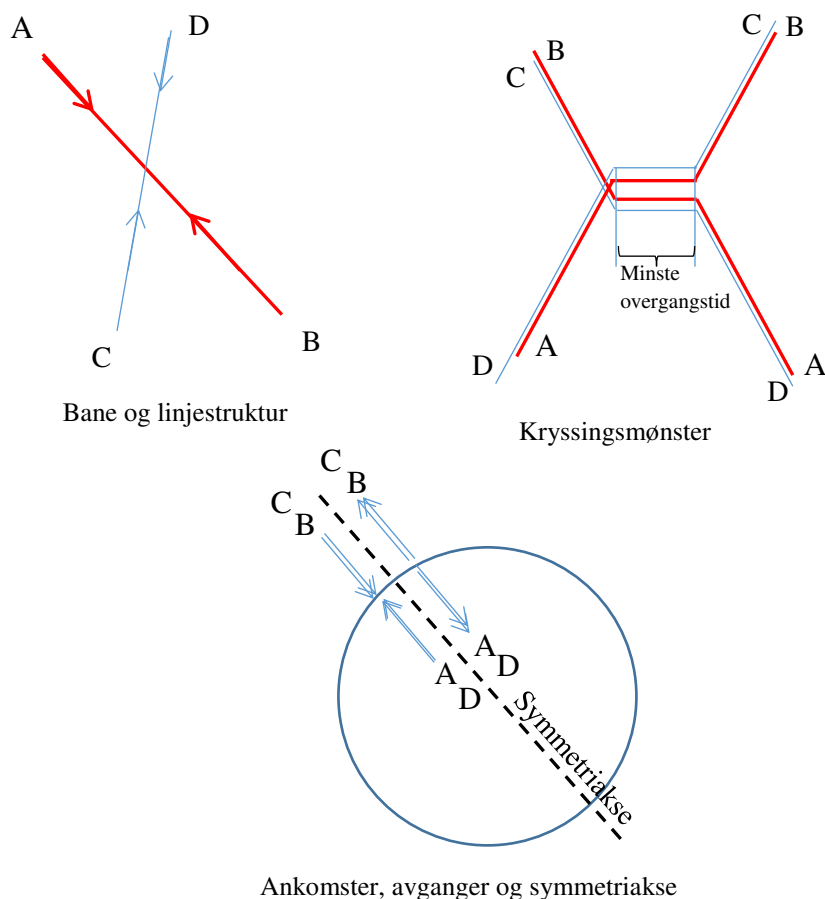
6.1.1.4 Symmetriske ruteplaner

En viktig egenskap ved ruteplaner er å sikre at de er lett tilgjengelige for de reisende og at det er god korrespondanse mellom transportformer. Det første kan sikres med stive ruter (samme minuttall hver time) med jevne intervaller. Det andre kan sikres med symmetriske rute.

For en mer utførlig diskusjon av kvalitetsindikatorer for ruteplaner vises til [22].

Ved et symmetrisk ruteopplegg forstås at alle tog kommer en viss tid før et minuttall og avgår samme tid etter dette minuttallet. Ved å legge rutene symmetrisk sikres det at det er full overgangsmulighet mellom alle tog.

I Figur 115 er det vist et eksempel med to baner som krysser og der tog fra hver ende av banene møtes og avgår symmetrisk om den stiplede akse.

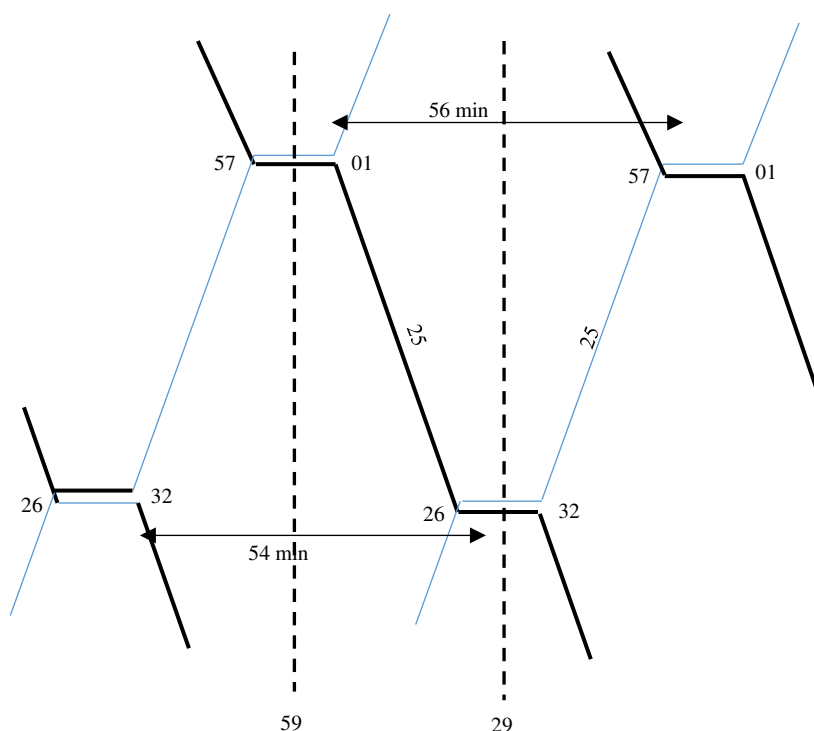


Figur 115. Full symmetri og samtidig ankomst og avgang av alle linjer som.

Kjøretiden er lik i begge retninger og det er symmetri om kryssingspunktene. Med en avgang hver time er det kryssing hver halvtime og symmetri om akse $t / t+30$. Er det f.eks. en linje med tre avganger per time vil det være tre symmetriakser.

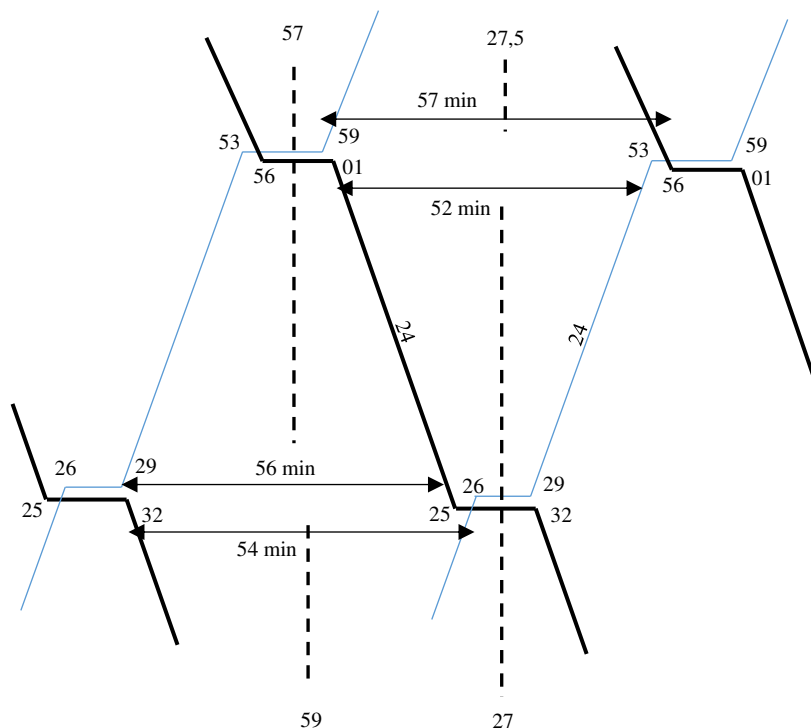
I Figur 116 er det et eksempel med en symmetriakse rundt minuttall 59 og $59+30 \Rightarrow 29$.

Grafene skal forstås som *tog på hver sin bane* som har korrespondanse i kryssingen, det er ikke en framstilling av kryssing på enkeltspor.



Figur 116. Eksempel på perfekt symmetri. Grafer viser tog fra hver sin bane, ikke kryssing på enkeltspor.

Det er ikke sikkert at det i praksis er mulig å ha perfekt symmetri, men det som er viktig for korrespondanse er at alle ankomster er en minimumstid før første avgang slik at overgang er mulig mellom alle retninger. I Figur 117 er det vist et eksempel på kryssinger uten perfekt symmetri.



Figur 117. Eksempel på rutetilbud uten perfekt symmetri. Grafer viser tog fra hver sin bane, ikke kryssing på enkeltspor.

Det sees i Figur 117 at det er ulike symmetriakser, men likevel mulig med overgang.

Hvis et tog kan ankomme tidligere blir kjøretiden fra forrige kryssingspunkt kortere. Kjøretiden er like lang begge veier kan avgangen være tilsvarende senere i motsatt retning. Forskyves ankomst med ΔT kan avgang forskyves med $-\Delta T$.

Det er en fordel å komme tidligst mulig fram til en stasjon og dermed spare buffertiden så lenge som mulig fram for å bruke den opp til saktere kjøring underveis. Det er tilsvarende en fordel å kjøre så tidlig som mulig etter at linjen er fri og komme fram så tidlig som mulig.

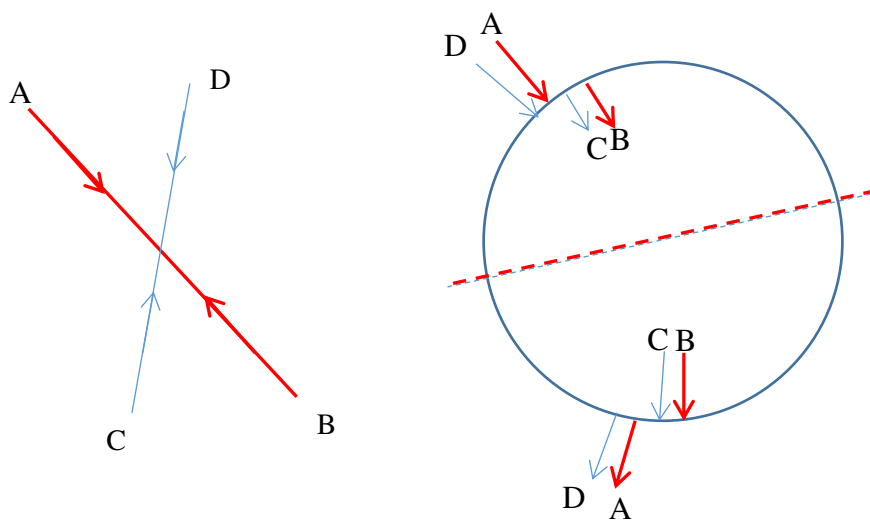
Det vil være en symmetriakse på en gitt stasjon. Hvis denne symmetriaksen opprettholdes på en nabobane vil det bli samme symmetriakser på alle baner.

Det kan være ulike linjer med ulik behov for korrespondanse slik at ikke alle linjer trenger å planlegges symmetrisk.

Det må i ruteplanarbeidet sikres god overgang mellom hovedretninger for transportstrømmene. Ankomst av «fra-tog» må være før «til-tog» i begge retninger på hovedrelasjonen. Det betyr at selv om det er vilkårlige rutetider for en av linjene på en overgangsstasjon må den andre linjen tilpasses slik at

det er - tilnærmet - symmetri rundt (den faktiske) symmetriaksen for den linje som har «låste» rutetider. Hvis dette ikke skjer og det opereres med en egen symmetriakse for hver linje vil korrespondansen bare (maksimal) kunne fungere en vei.

I Figur 118 er det vist en situasjon der overgang i hovedsak skjer fra D til B og fra B til D. Det er sammenfallende symmetriakser og det sees at det en akseptabel ventetid ved overgang.



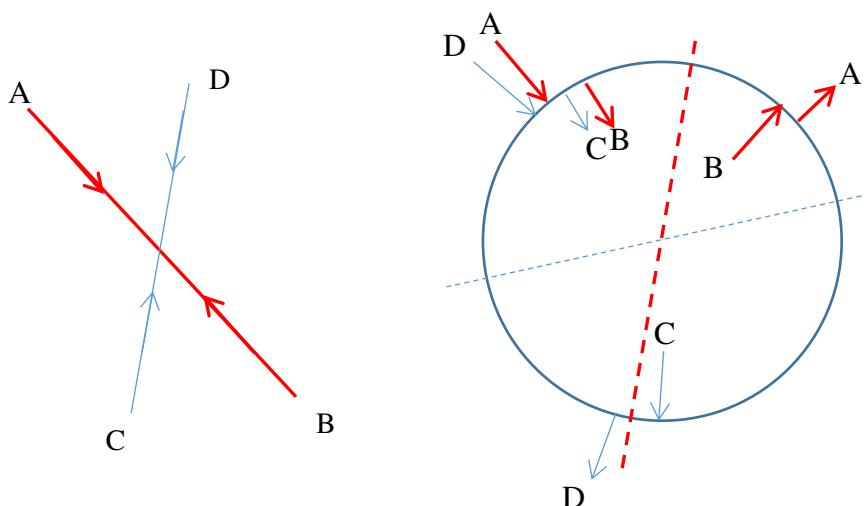
Figur 118. Overgang mellom D og B samt B og D ved sammenfallende symmetriakser.

I Figur 119 er det vist et eksempel der symmetriaksene for A-B og C-D ikke er sammenfallende. Det sees da at korrespondansen D-B fungerer som før, men korrespondansen B-D fungerer dårlig siden det har blitt veldig lang ventetid.

Hvis overgangen D-B er i morgenrush og overgangen B-D er i ettermiddagsrush vil den lave attraktiviteten i ettermiddagsrush kunne bety lavere etterspørsel for transport også i morgenrush.

Attraktiviteten av togtilbudet må sikres ved at det er god korrespondanse i begge retninger.

Med sammenfallende symmetriakser blir omstigningstidene like mellom linjene i begge retninger. Er det tilstrekkelig i en retningen blir det automatisk tilstrekkelig i den andre retningen.



Figur 119. Overgang mellom D og B samt B og D ved ikke-sammenfallende symmetriakser.

6.1.1.5 Sammenlikning med rutemodelluavhengig dimensjonering

En rutemodellavhengig tilnærming vil gi spesifikke svar på muligheter og behov. Siden dette er basert på en konkret rutemodell vil den ikke kunne dekke enhver framtidig rutemodell.

En rutemodelluavhengig tilnærming er mer generell, men vil ikke kunne gi de detaljerte svarene som er nødvendige for å kunne konstruere en rutemodell og verifisere om et driftsopplegg fungerer med de bindingene det er med andre ruteleier, sporkapasitet på stasjoner etc.

Hvis en rutemodellbasert analyse skal være mer generell må det legges til ekstra marginer i form av alternative konsepter, større variasjon i kjøretider etc. og dette vil øke tiltaksomfanget.

6.1.1.6 Tidshorisonter

Det tidspunktet som ligger lengst fram i tid hvor det gir mening å bruke rutemodeller som planleggingsmetode, er om lag 12-15 år. I en slik tidshorizont regnes usikkerheten rundt fremtidig markedsutvikling og infrastruktur av et håndterlig omfang til at metoden kan brukes. Dette skyldes den lange tiden det tar fra et større infrastrukturprosjekt blir utredet første gang fram til det kan settes i drift, og at større demografiske endringer gjerne tar lenger tid enn 12-15 år. Det kan selvsagt likevel være behov for å «justere kurs» fram til et tidspunkt 12-15 år fram i tid. Dette kan ivaretas på følgende måter:

- Fastsatt rutemodell brukes som referansesituasjon når det skal vurderes justeringer. Dermed er ikke «alle baller i luften» samtidig.
- Den langsiktige rutemodellen beskrives med opsjoner (rutetilbud som kan «bygges på» dersom markedsutvikling skulle tilsi dette)
- Tidlig identifisering av valgmuligheter for togtilbudet som kan realiseres med den samme grunnleggende rutemodellen i bunn – f.eks. hvilket marked som trenger ekstra tog i rushtiden dersom det ikke er mulig å tilby slik ekstra kapasitet til alle markeder
- For opsjoner og valgmuligheter identifiseres behov for enten:
 - nye tiltak
 - *eller*
 - større dimensjonering av allerede identifiserte tiltak som gir tilstrekkelig dimensjonering slik at valgmuligheten blir reell på et tidspunkt nærmere idriftsettelse av togtilbudet. Dette bør veies opp mot merkostnaden ved å ha valgfriheten. Større dimensjonering av allerede identifiserte tiltak bør imidlertid alltid vurderes rutemodelluavhengig på et lenger tidsperspektiv enn 15 år

6.1.2 Materiellturnering

Materiellturnering defineres ut fra materiellbehovet og hvor det skal skje skjøting og deling. Materiellbehovet bestemmes som omtalt i avsnitt 2.9.

Togselskapene lager mer detaljerte materiellturneringer som også inkluderer variasjoner over flere døgn, og som sørger for at materiell turneres ut av daglig drift for vedlikehold og verkstedsopphold.

6.1.3 Hensettingsmodell

Når en materiellturnering basert på rutemodell er utarbeidet, kan et hensettingskonsept gjøres mer konkret gjennom en hensettingsmodell. Forskjellen på et hensettingskonsept og en hensettingsmodell er egentlig bare presisjonsnivået, og hvor langt fram i tid det aktuelle togtilbudet faktisk skal kjøres.

For planleggingsprosessen gir en materiellturnering et bedre grunnlag for å anslå hvor hensettingsbehovet oppstår, enn det grunnlaget som fås fra et rutemodelluavhengig hensettingsbehovestimat. Sammen med eksisterende hensettingskapasitet og eventuelle begrensninger på etablering av nye hensettingssteder, lages en hensettingsmodell. Hensettingsmodellen viser hensettingsbehov pr materielltype og stasjon, og gir grunnlag for dimensjonering av hensettingsanlegg, samt for dimensjonering av stasjoner og strekninger for den posisjonskjøringen som framkommer av turneringen.

En hensettingsmodell må inngå i en materiellturnering, fordi det må eksistere et sett hensettingsanlegg med tilhørende materiellbehov fra linjer i tilbudskonseptet, for å kunne lage turneringen.

6.1.4 Øvrig trafikk

I tillegg til inntektsgivende trafikk (tog som reisende eller godskunder finner i en ruteplan) er det mange andre tog som må kjøres for å få systemet til å fungere. Dette er

- Tomtog i forbindelse med oppstart av tilbud eller før og etter rushperioder (posisjonering)
- Arbeidstog
- Målevogn for inspeksjon av banen

Disse togene må sikres ruteleier for å kunne komme fram på riktige tidspunkter.

6.1.5 Infrastrukturmodell

Ut fra rutemodellen for den inntektsgivende trafikken og fra den øvrige trafikken kan det identifiseres en nødvendig infrastruktur. Denne kan beskrives for strekningen og for stasjoner. Beskrivelsen er detaljert og viser sporlayout, signalplassering, hastighet i veksler, sikringssystem med ATC-funksjon, sporbruk etc.

En infrastrukturmodell er en avbildning av den reelle infrastrukturen. Det er her viktig å ta med kun de relevante objekter med de relevante egenskapene med et tilstrekkelig nøyaktighetsnivå.

Infrastrukturobjektene som forutsettes for å gi tilstrekkelig god kjøretidsberegning er: kjedebrudd, hastigheter, lokasjoner (stasjoner, stoppesteder, holdeplasser, blokkposter og sidespor), stoppunkter, tunneler og vertikalkurvatur.

Hastigheter legges inn med de tre hastighetsaspektene i Norge som normal-, pluss- eller krengehastighet. Lokasjoner identifiserer her lokasjonen og gir denne punktet for passeringstider. Stoppunktet angir det nøyaktige stoppestedet for forskjellige togtyper. Til dette benyttes for persontog toglangdeskilt, der disse ikke eksisterende eller ikke er registrert brukes posisjonen til plattformkanten minus eventuelle utkjørssignaler som måtte begrense plattformlengden (hovedsignaler, repetersignaler eller togsposignaler). Godstog stopper ved signaler og dermed er det lurt å legge inn utkjørssignalene i kjøretidsmodellen med en gang. Horisontalkurvatur er vanligvis ikke med i modellen da det ville øke størrelsen på modellen uforholdsmessig mye i forhold til nøyaktighetsøkningen.

6.1.6 Verifisering av robusthet og kapasitet

6.1.6.1 Verifisering

Robusthet i ruteplanen kan vurderes ut fra en analyse av (resulterende) kjøretidstillegg, buffertider mellom tog, antall tette togfølgetider, kryssende togveier med konflikter etc. Dette kan gjøres løpende under rutemodellkonstriksjonen og vil sikre at det er rutemodellen og infrastrukturen i sum er kapasitetssterk.

I tillegg kan det benyttes simulering. Til begge behøves en modell av virkeligheten. Denne modellen deles inn i de fire hovedmodellene: infrastrukturmodell, rullende materiell, ruteplan og stokastiske elementer. I motsetning til den konstruktive metoden må det ved en simulering også ruteplanen foreligge som en og stokastiske modell som angir tilfeldige forsinkelser, slik at samlet forsinkelsesnivå kan kalibreres til empiri. Med simulering av nye rutemodeller vil forsinkelseshåndtering og -nivå kunne undersøkes og inngå som en del av evalueringen av kapasiteten.

Simuleringsprogrammet kjøres med tog uten forsinkelser. Denne kjøretidsberegningen danner sammen med oppholdstider en rutemal. Togene interagerer med hverandre og gjennom konfliktfri plassering av de ruteleiene blir det endelige ruteplanutkastet til som en del av den konstruktive metoden.

For å teste robustheten til rutemodellene, samt sjekke sensitiviteten i resultatene, utføres simulering med forskjellige inngangsparametere, omtalt som scenarioer. Som utgangspunkt benyttes et scenario med en antatt basisforsinkelse. Basisforsinkelsen utgjør et antatt realistisk forsinkelsesnivå, med forsinkelser basert på empiriske data fra TIOS. Basisalternativet er ment å representere en helt ordinær driftsdag, uten store hendelser som feil på infrastruktur eller materiell, men med en rekke mindre forsinkelser. De oppskalerte forsinkelsesscenarioene er varianter av scenarioet med basisforsinkelse, men hvor graden av forstyrrelser, det vil si størrelsen på de stokastiske elementene, er økt.

Større forstyrrelser er ikke inkludert i simuleringen av tre årsaker; for det første er den primære hensikten med simuleringen å sammenligne funksjonen til ulike rutemodeller, ikke å evaluere konsekvenser av ekstremhendelser for den enkelte rutemodell. Dette vil selvsagt være interessant i seg selv, men en forsvarlig behandling av dette vil kreve en egen mer spesifikk gjennomgang, og trolig også en annen metodikk enn hva som benyttes i denne simuleringen. For det andre har større hendelser såpass lav hyppighet og et så variert spekter av årsaker at det svært vanskelig lar seg gjøre å lage gode estimater for hyppighet og konsekvens. For det tredje gjør ikke simuleringsverktøyet det mulig å plassere en større hendelse på et tilfeldig sted i infrastrukturmodellen. Dette tilsier at brukeren selv vil måtte velge sted for en eller flere slike hendelser, og at simuleringsresultatet snarere vil være et resultat av brukerens valg av steder enn av den enkelte rutemodells generelle ytelse.

6.1.6.2 Konfliktfri og robust ruteplan

En *konfliktfri* ruteplan er en ruteplan der alle tog ved uforstyrret drift kan fremføres slik at de ikke påvirker hverandre.

Når det tales om *robuste* ruteplaner i sammenheng med dette prosjektet, gjøres det på bakgrunn av definisjonen foreslått i Hansen/Pachl [5]. En robust ruteplan blir der definert som en plan som (1) klarer å absorbere mindre driftsforstyrrelser uten at det oppstår nevneverdige forsinkelser, (2) en plan som ikke i stor grad fører til forplantning av forsinkelser fra et tog til andre tog og (3) en plan der oppståtte forsinkelser raskt bygges ned, muligens ved hjelp av mindre inngrep av togledelsen. Konsekvensene av større hendelser vil ikke alene kunne kompenseres av en ruteplans robusthet, men vil kreve større regulerende inngrep av togledelsen.

Evnen i systemet til å bygge ned forsinkelser kalles tilbakestillingsevne menes rutemodellenes evne til å bygge ned igjen forsinkelsesnivået etter større forstyrrelser eller perioder med produksjonsøkning, som rushtiden. Dette er en viktig egenskap ved rutemodellene i seg selv, og gir også en indikasjon på hvor presset infrastrukturen er ved de ulike rutemodellene.

6.1.7 Verifisert prinsipløsning

I de foregående stegene er det basert på et transportkapasitetsmål konstruert en rutemodell som si sin tur har avfødt krav til infrastrukturen. Verifikasjon av robusthet og punktlighet tilsier at rutemodellen er kjørbar *med en gitt infrastruktur* og svarer på transportkapasitetsmålet.

Neste steg er å identifisere tiltak som kan løse kapasitetsbrister i eksisterende infrastruktur, eller i det som er definert som referansesituasjonen når rutemodellen er tenkt implementert.

I fasen med strategisk dimensjonering er det ved hjelp av rutemodellen identifisert visse *funksjonskrav* som f.eks. en minste togfølgetid på 2 minutter eller at den stasjon må ha 2 vendespor. Imidlertid sies det ikke noe om den tekniske løsningen. Dette omtales i neste avsnitt.

6.2 Identifikasjon av anbefalt løsning

Eter at det ved hjelp av en rutemodell er identifisert behov for utbygging av infrastrukturen må nødvendig tiltak identifiseres.

6.2.1 Tiltaksutredning og tiltaksliste

Formålet med tiltaksutredning er å identifisere mulige løsninger for å nå gitte *funksjonskrav* og komme med anbefalinger for det videre planarbeidet. Funksjonskravene er det samme som resultatmålene når det tenkes målstruktur.

Utredningen av tiltaksbehov resulterer tekniske løsninger som oppfyller funksjonskravene. Denne fasen er i utgangspunktet spor- og anleggsteknisk orientert, men det er viktig at det gjøres kapasitetsfaglige vurderinger i prosessen slik at det sikres at funksjonskravene oppfylles.

Dersom det ikke identifiseres noen gjennomførbare tekniske løsninger, må planene revideres på et overordnet nivå. Slike revurderingstiltak kan inkludere f.eks. flytting av hensettingsanlegg, justering av tog lengde eller endring av eventuelt mål for transportvolum. Dette involverer da også en kapasitetsfaglig vurdering for å vurdere hvilke muligheter som er til rådighet for å oppnå samme mål, eller hvilke effekter reviderte mål har på ruteplan og funksjonskrav.

6.2.2 Effektpakker

Planlagt tilbudsforbedring og behov for infrastrukturtiltak kalles samlet for en effektpakke (med tanke på perspektivet for de reisende i målstrukturen). En effektpakke kan defineres som en samling av tiltak som til sammen gir en effekt. Det er viktig at tiltakene i en slik pakke sees i sammenheng og dimensjoneres i henhold til de samfunns-, effekt- og resultatmål som er satt. På planleggingsnivå består en effektpakke av følgende fire hovedbestanddeler:

1. Togtilbud (rutemodell)
2. Infrastruktur
3. Rullende materiell
4. Offentlig kjøp

Tiltak med geografisk nærhet til hverandre faller ikke automatisk under samme effektpakke. Tiltakene som inngår i en enkelt effektpakke må inneholde, og er avgrenset til, alle de tiltak som må til for å få til effekten. I planleggingsfasen bør synergieffekter tas med i beregningen for en samlet effektpakke.

En effektpakke vil få følgende effekter for ulike berørte grupper:

- Reisende: Reisetid, frekvens, sitteplasser, punktlighet
- Operatør: Materiellinvestering, driftskostnader, inntekter
- Staten: Investeringskostnader og offentlige kjøp
- Øvrige berørte parter: Samfunnet, næringsliv, klima og miljø

Trinnvis utbygging

Effektpakker vil i praksis ofte deles inn i flere utbyggingstrinn fordi samfunnet skal kunne dra nytte av investeringene så snart som mulig. Et eksempel er Intercity-effektpakken på Vestfoldbanen som skal bygges i fire trinn, som vist i Figur 120. Trinnene er planlagt slik at brukerne vil se en effekt i form av økt antall avganger fra ulike stopp langs de aktuelle korridorene, samt etter hvert også reduserte framføringstider.



Figur 120. Trinnvis utbygging av Intercity-effektpakken på Vestfoldbanen inkludert effektmål, kostnad og ferdigstillelsesår.

En tilleggsfordel er at utgiftene fordeles i tid. Utviklingen av samfunnets behov kan sees an over tid, slik at mindre målsetninger og tilhørende tiltak kan tas opp til revisjon for hvert trinn. Det bør imidlertid gjøres en vurdering i tilknytning til hver enkelt tilbudspakke hvorvidt de positive virkningene av en trinnvis utbygging utbalanseres av de økte kostnadene som følger av etablering av flere anleggsrigg og flere tidsbrudd.

Effektpakkeark

Et effektpakkeark er et konsist dokument som presenteres for beslutningstagere. Det argumenterer for investering i gitt prosjekt. Et godt effektpakkeark skal gi leseren alt relevant beslutningsunderlag, men ikke mer informasjon enn det. Valgmuligheter som presenteres bør også begrenses til det som er hensiktsmessig.

6.2.3 Strekningsvis utviklingsplaner

Mål og tiltak og som er identifisert for en delstrekning kan sammen med andre tilsvarende identifiserte mål og for andre deler av en strekning utgjøre en strekningsvis utviklingsplan.

6.3 Oppfølging av resultatmål i hovedplaner

6.3.1 Anbefalt løsning og hovedplaner

Etter at det er identifisert og anbefalt en løsning (tiltaksliste) går denne videre til hovedplanfasen for en mer detaljert prosjektering.

Når teknisk løsning er anbefalt skal denne gjøre at resultatmålet (funksjonaliteten) oppnås. Infrastrukturelementene som utgjør valgt teknisk løsning er altså å oppfatte som prosjektets resultatmål.

Resultatmål angir de konkrete indikatorer/måltall og egenskaper som skal være oppnådd ved realiseringen/ leveransen av tiltaket/prosjektet. Resultatmålene måles ved prosjektets ferdigstilling.

6.3.2 Verifikasjon av måloppnåelse

I løpet av hovedplanarbeidet må det sikres at det er måloppnåelse med hensyn til resultatmålet, dvs. funksjonskravene som er identifisert i dimensjoneringsfasen, dvs. at måloppnåelse må verifiseres.

Endringer i forutsetninger om valg av løsninger eller utforming av løsninger kan ha kapasitetsmessige konsekvenser som må avklares før endingene vedtas.

Også ved utarbeidelse av faseplaner er det viktig at det blir gjort kapasitetsvurderinger slik at utviklingen og gjennomføringen av et prosjekt oppnår ønsket resultat.

7 Referanser

- [1] Jernbanedirektoratet, «Prosesser for kapasitetsplanlegging, Infrastrukturdimensjonering på mellomlang og lang sikt», 2017, dokumentnummer 201700509-1
- [2] Samferdselsdepartementet, «Forskrift om togframføring på det nasjonale jernbanenettet» (Togframføringsforskriften), <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-02-29-240>, 2009
- [3] Jernbaneverket, «Trafikkregler for Jernbaneverkets nett», (TJN), JBV, 2015
- [4] Samferdselsdepartementet, «Forskrift om fordeling av jernbaneinfrastrukturkapasitet og innkreving av avgifter for bruk av det nasjonale jernbanenettet» (Fordelingsforskriften), <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-02-05-135>, 2009
- [5] Hansen, I. A., Pachl, J. (eds.), «Railway Timetabling & Operations», Eurailpress, 2008
- [6] Potthoff, G, «Verkehrsströmungslehre Band 1 Die Zugfolge auf Strecken und in Bahnhöfen», 2. Auflage, TRANSPRESS, Berlin, 1970
- [7] Skartsætherhagen, S., «Kapasitet på jernbanestrekninger», Institutt for bygg, anlegg og transport, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, 2010
- [8] Pachl, J. «Systemtechnik des Schienenverkehrs Betrieb planen, steuern und sichern», 7. Auflage, Springer Vieweg, 2013
- [9] Landex, A., «Methods to estimate railway capacity and passenger delays», Ph.D. thesis, Technical University of Denmark, 2008
- [10] www.jernbanekompetanse.no/wiki/Forside
- [11] UIC International Union of Railways, «UIC Code 406 R, Capacity», 2013
- [12] Deutsche Bahn, «Richtlinie Fahrwegkapazität 405», avsnitt 405.0103A02, side 5. 2008
- [13] UIC International Union of Railways, «UIC Kodex 405 E-1, Methode zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Strecken», 1979
- [14] UIC International Union of Railways, UIC Code 451 – 1 OR, 4th edition, «Timetable recovery margins to guarantee timekeeping - Recovery margins», December 2000
- [15] Jernbaneverket, Network Statement 2016
- [16] Jernbaneverket, «PERSONTRAFIKK, Dimensjonering av transportkapasitet i lokal- og regiontrafikk», JBV Strategi og samfunn, POU-00-A-00070, 2014
- [17] Jernbaneverket, «Rutemodell 2027 Begrepskatalog», JBV Strategi og samfunn, POU-00-A-00115, 2015
- [18] Jernbanedirektoratet, «Jernbanedirektoratets begrepskatalog», dokumentnr. 201700032-1, revisjon underutarbeidelse per juni 2017
- [19] Jernbaneverket, «Operasjonalisering av Samfunns mål – Effektmål – Resultatmål», JBV Strategi og samfunn, POU-00-A-00035, 2014

- [20] Skartsæterhagen, S., Vasset, T. J., «Kapasitetsmessig virkning av samtidig innkjør på stasjoner», NSB Teknikk 2, ss. 35-39, 1984
- [21] Skartsæterhagen, S., «Samtidig innkjør ved ombygging og nybygging av kryssingsspor», Utgave 2.0, NSB/HK/Btt, 1992
- [22] Schittenhelm, B., «Quantitative Methods for Assessment of Railway Timetables», PhD thesis, Banedanmark / Danmarks Tekniske Universitet, 2013
- [23] Schittenhelm, B., « Planning With Timetable Supplements in Railway Timetables», Trafikdage på Aalborg Universitet 2011, 2011
- [24] Landex, A., Jensen, L. W., «Measures for track complexity and robustness of operation at stations», Journal of Rail Transport Planning & Management 3 (2013) 22–35, 2013
- [25] Jernbaneverket, «Jernbanen mot 2050, perspektiver for transport i byområder og mer gods på skinner», 2015
- [26] Jernbaneverket, Teknisk regelverk, Overbygning/Prosjektering/Plattformer og spor på stasjoner, [https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Plattformer og spor p%C3%A5 stasjoner](https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Plattformer_og_spor_p%C3%A5_stasjoner), 2015
- [27] Jernbaneverket, «Instruks for utarbeidelse av TS-sirkulære», STY-603001, 2014
- [28] Jernbaneverket, «Instruks for utarbeidelse av S-sirkulære», STY-602999, 2014
- [29] Jernbaneverket, «Førers regelbok», Kap. 6 Togs sammensetning og bremsekraft, STY-602568, 2014
- [30] Jernbaneverket, «Førers regelbok», Kap. 9 Lasteregler, STY-602571, 2014
- [31] Jernbaneverket, Tekniske regelverk, Signal/Prosjektering/Togdeteksjon, 2015
- [32] Jernbaneverket, Tekniske regelverk, Signal/Prosjektering/Lyssignal, 2015
- [33] Jernbaneverket, Tekniske regelverk, Signal/Prosjektering/Forriglingsutrustning, 2015
- [34] Samferdselsdepartementet, «Statsbudsjettet - Tildelingsbrev til Jernbaneverket», 2014
- [35] www.jernbaneverket.no/Nyheter/Togenes-punktlighet-og-regularitet, 20.11.2015
- [36] Jernbaneverket, «Strategisk rammeverk for stoppesteder, dokumentasjonsrapport», dok.nr. TF.102827-000, rev. 03, 2015
- [37] Rudolph, R., «Entwicklung von Strategien zur optimierten Anordnung und Dimensionierung von Zeitzuschlägen im Eisenbahnbetrieb», Dissertation Dr.-Ing., Wissenschaftliche Arbeit Nr. 59, IVE, Universität Hannover, 2004
- [38] Mutschink, K., «Bemessung von Abstell- und Behandlungsanlagen des Reiseverkehrs», ETR, januar+februar 2007, nr. 1+2, s. 43-48, 2007
- [39] Teknisk regelverk, Jernbaneverket, Målavstandstabeller, <https://trv.jbv.no/wiki/Signal/Prosjektering/ATC/M%C3%A5lavstandstabeller>

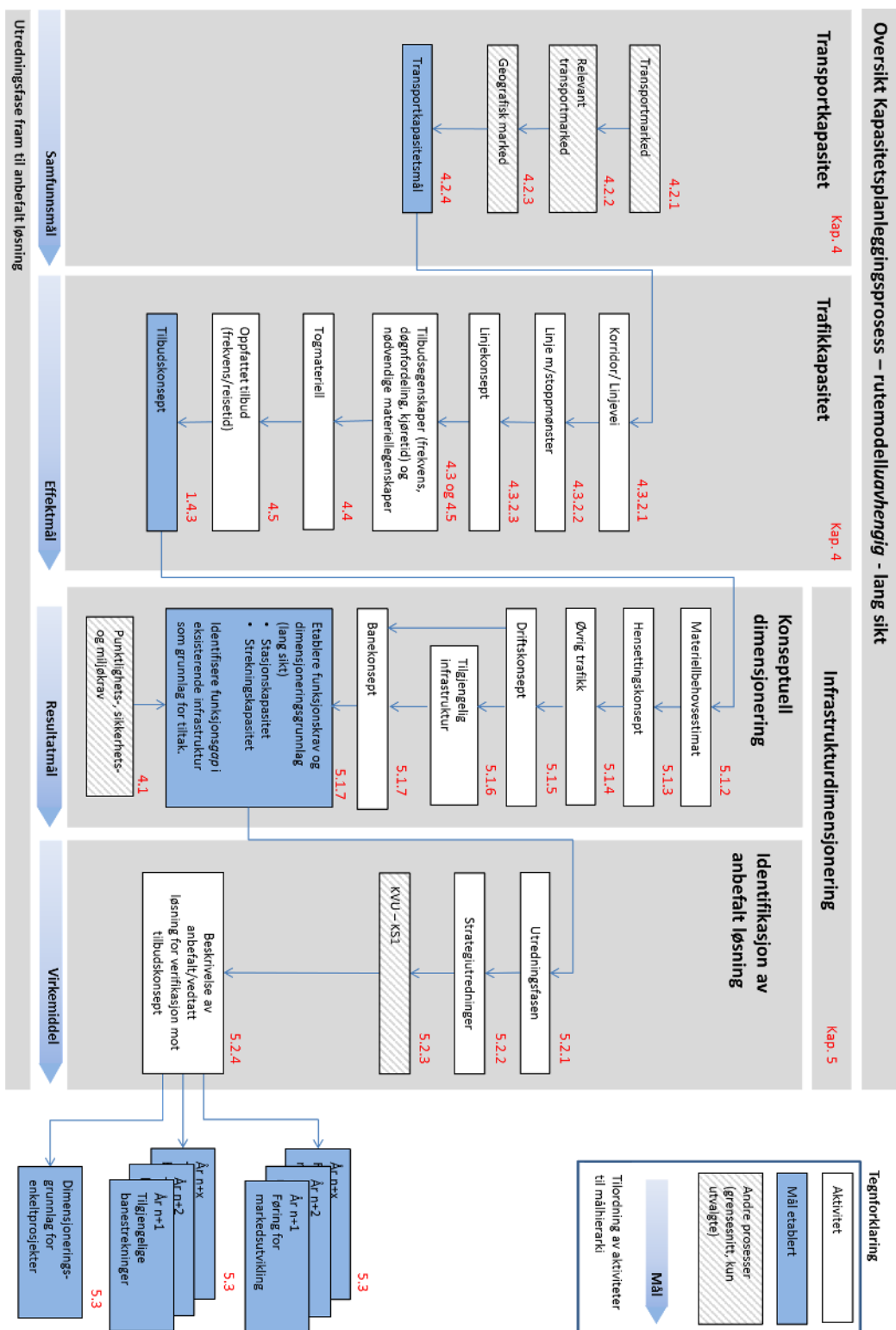
- [40] Nießen, N., «Leistungskenngößen für Gesamtfahrstraßenknoten», Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2008
- [41] UIC International Union of Railways, «Maintenance of High Speed Lines», Report 2010, 2010
- [42] Malavasi, G., Molková, T., Ricci, S. & Rotoli, F, «A synthetic approach to the evaluation of the carrying capacity of complex railway nodes», Journal of Rail Transport Planning & Management 4, 2014, pp. 28–42
- [43] Vakhtel, S., «Rechnerunterstützte analytische Ermittlung der Kapazität von Eisenbahnnetzen», Rheinisch- Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2002

8 Vedlegg

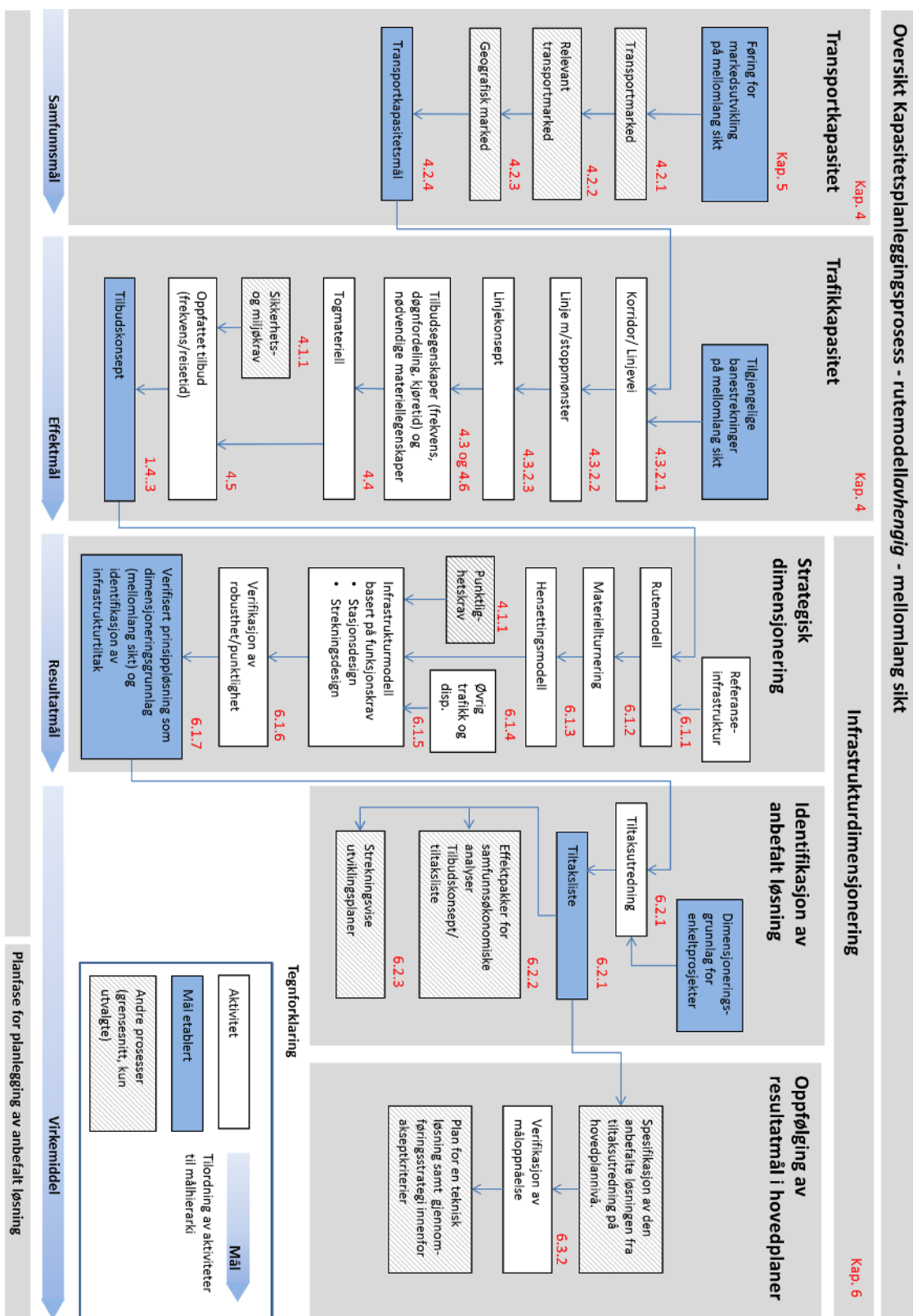
Vedlegg 1. Prosessflytdiagrammer

8.1 Rutemodelluavhengig kapasitetsplanlegging – lang sikt

Røde tall refererer til avsnitt i dette dokumentet.



Røde tall refererer til avsnitt i dette dokumentet.

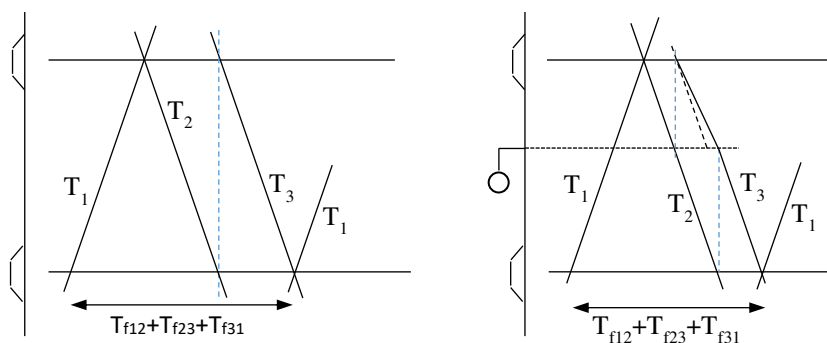


Vedlegg 2. Beregning av togfølgetider

8.3 Togfølgetid på enkeltspor

Togfølgetiden på enkeltspor kan defineres som tiden fra et tog kjører ut på strekningen til neste tog kjører ut på strekningen. På enkeltspor antas det at tog kjøres annenhver gang i hver retning mellom to kryssingsstasjoner hvis ikke annet er kjent om ruteplanen.

Hvis tog kjøres i samme retning og hvis det ikke er blokkinnstilling av linjen må det ene toget uansett kjøre hele avstanden mellom kryssingsstasjonene som om togene kjører hver sin retning. Med blokkinnstilling kan toget kjøre når toget foran er kommet forbi blokksignalet. Hvis kjøretiden i hver blokk er forskjellig vil lengste tid dimensjonere hvor tett togene kan kjøres. Se Figur 121.



Figur 121. Togfølgetid på enkeltspor uten og med blokksignal.

Gjennomsnittlig togfølgetid beregnes som gjennomsnittet av tidsbelegg fra første tog i en syklus kjører ut på strekningen til gjentakelsen av toget kjører ut på strekningen.

Eksempel 1, togfølgetid på dobbeltspor, persontog etterfulgt av persontog

Hastighet 160 km/t, blokk lengde = 1900 m, toglengde første tog 220 m:

$$T_f = 220 \text{ m} / 160 \text{ km/t} * 60 \text{ min/t} + 2 * 1900 \text{ m} / 160 \text{ km/t} * 60 \text{ min/t} + (6 \text{ sek} + 8 \text{ sek}) / 60 \text{ sek/min} = 1,7 \text{ min.}$$

Eksempel 2, togfølgetid på dobbeltspor, persontog etterfulgt av godstog

Første tog 160 km/t, andre tog 100 km/t, blokk lengde 1900 m, første tog 220 m:

$$T_f = 220 \text{ m} / 160 \text{ km/t} * 60 \text{ min/t} + 2 * 1900 \text{ m} / 100 \text{ km/t} * 60 \text{ min/t} + (6 \text{ sek} + 8 \text{ sek}) / 60 \text{ sek/min} = 2,6 \text{ min.}$$

Togfølgetider kan variere med hvilket tog som kjøres først og hvilket tog som kommer etter.

Individuelle togfølgetider kan beregnes og vektes med sannsynligheten for at de inntreffer ved en «tilfeldig» (dvs. framtidig, ukjent) ruteplan.

Sannsynligheten for et togpar med tog av type i etterfulgt av tog av type j er lik:

$$p(T_i, T_j) = \frac{N_i N_j}{N_{tot} N_{tot}}$$

Med n forskjellige togtyper blir det $m=n^2$ forskjellige togfølger. Gjennomsnittlig, vektet togfølgetid beregnes som

$$T_{f \text{ vektet}} = \sum_{k=1}^m p_k T_{f,k}$$

Der k=nummer av togfølgetype, p_k er sannsynligheten for togfølge k og $T_{f,k}$ er togfølgetiden for togfølge k.

Eksempel med to forskjellige tog.

Antall togfølger er $m=2^2=4$. Antall tog av type 1 er $N_1=3$ og antall tog av type 2 er $N_2=5$. $T_{f1}=2$ min, $T_{f2}=2,5$ min, $T_{f3}=3,4$ min og $T_{f4}=3,1$ min.

Togfølge tog1->tog1: $p_1=p(T_1, T_1) = 3 \cdot 3 / (8 \cdot 8) = 14\%$

Togfølge tog1->tog2: $p_2=p(T_1, T_2) = 3 \cdot 5 / (8 \cdot 8) = 23\%$

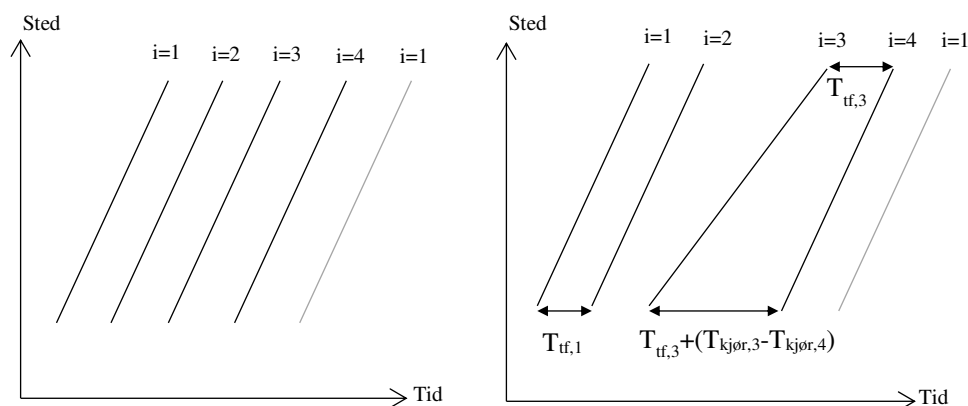
Togfølge tog2->tog1: $p_3=p(T_2, T_1) = 5 \cdot 3 / (8 \cdot 8) = 23\%$

Togfølge tog2->tog2: $p_4=p(T_2, T_2) = 5 \cdot 5 / (8 \cdot 8) = 39\%$

$$T_{f \text{ vektet}} = 14\% \cdot 2 + 23\% \cdot 2,5 + 23\% \cdot 3,4 + 39\% \cdot 3,1 = 2,8 \text{ minutt}$$

8.4 Togfølgetid på dobbeltspor og ulik hastighet

Hvis det er ulik hastighet for togene vil hastighetsforskjellen medføre at togene får ulik tidsavstand ved start og ved slutt på strekningen. Se Figur 122.



Figur 122. Togfølgetid ved ulik hastighet på dobbeltspor.

Togfølgetiden beregnet ved begynnelsen av strekningen blir:

$$T_f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{tf,i} + \text{MAX}(0; T_{Kjor,i} - T_{Kjor,i+1}), \quad \text{der } i+1 \equiv 1 \text{ for } i = N$$

$T_{tf,i}$ er den teknisk minste togfølgetiden fra tog i til tog $i+1$.

Funksjonen MAX i summasjonen sikrer at bare kjøretidsdifferanse telles med en gang per togpar (hvis det første toget i et par har lengst kjøretid).

Ved å sette $i+1=1$ for $i=N$ sikres det at første tog gjentas etter siste tog.

Eksempel 1:

$T_{tf,i} = 2$ minutter, $T_{Kjor,i} = 27$ minutter. $N=4$. siden alle kjøretider er like er $T_f=2$ minutter. Dvs. at $K_{teoretisk} = 60/2 = 30$ tog/time.

Eksempel 2:

$N=4$. $T_{tf,i} = 2$ minutter, $T_{Kjor,1} = 27$ minutter, $T_{Kjor,2} = 27$ minutter, $T_{Kjor,3} = 35$ minutter, $T_{Kjor,4} = 27$ minutter.

$$T_f = \frac{1}{4} \left((2 + \text{MAX}(0; 27 - 27)) + (2 + \text{MAX}(0; 27 - 35)) + (2 + \text{MAX}(0; 35 - 27)) + (2 + \text{MAX}(0; 27 - 27)) \right)$$

$T_f = 4$ og $K_{teoretisk} = 60/4 = 15$ tog/time.

Det sees i eksemplet at lengre kjøretid for ett av fire tog betyr at kapasiteten halveres.

Er det halvparten av togene som har 8 min lengre kjøretid enn de raskeste og togene kjøres om hverandre blir togfølgetiden 6 minutter og teoretisk kapasitet 10 tog/time, dvs. en tredel av den opprinnelige kapasiteten.

Gjennom å samle tog med lik hastighet i puljer kan kapasiteten økes, men det legger bindinger på hvilket rutetilbud som kan tilbys.

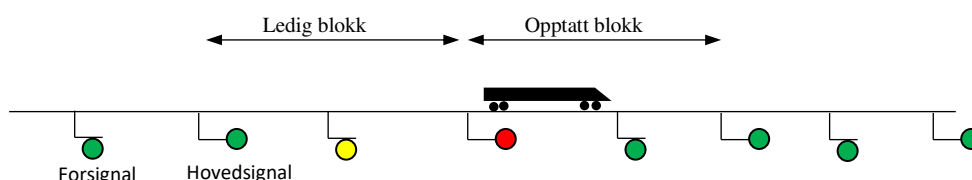
8.5 Konvensjonelt sikringsanlegg

8.5.1 Blokkprinsipp med konvensjonelt sikringsanlegg

Tog framføres ut fra et sikkerhetsprinsipp der strekningen er delt inn i *blokker* mellom definerte punkter. Det tillates bare ett tog av gangen i en blokk og ved framføring er det krav om at et tog skal kunne bremse og stoppe foran en blokk som er opptatt. En ledig blokk vises med grønt *hovedsignal* og en opptatt blokk vises med rødt hovedsignal. Se Figur 123.

Signalene inngår i sikringsanlegget som overvåker blokkene og som gjør det mulig kun å stille togvei hvis en blokk er ledig. Sikringsanlegg med optiske signaler (langs sporet) som viser om en blokk er ledig eller opptatt kalles konvensjonelt sikringsanlegg eller klasse B-anlegg (i motsetning til ERTMS).

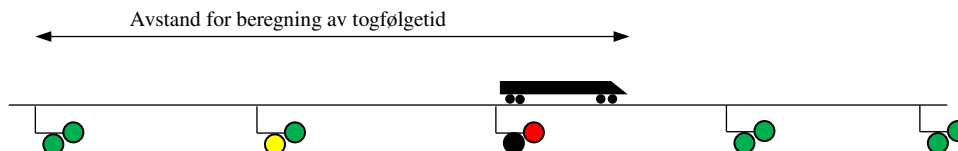
For å sikre nedbremsing foran rødt hovedsignal viser *forsignaler* hvilket signalbilde hovedsignalet viser. Grunnleggende vises grønt hovedsignal med grønt forsignal og rødt hovedsignal vises med gult forsignal.



Figur 123. Blokkprinsipp.

Det er en *sentral forutsetning i kapasitetsberegninger at ingen tog skal oppleve å bli hindret av andre tog* bortsett fra det som er nødvendig for kryssing med andre tog (på enkeltspor eller ved motstrøms kryssing på dobbeltspor med planlagt stopp på ventespor), dvs. at ingen tog skal oppleve å få gult forsignal, med mindre det er planlagt stopp for kryssing eller forbikjøring (der det må være rødt hovedsignal motsatt vei eller i parallelt spor).

Dette innebærer at det mellom to tog må være nok avstand til at det er en ledig blokk og tilhørende grønt forsignal. Hvis forsignaler er plassert på mast for hovedsignaler betyr det at det må være to ledige blokker. Se Figur 124.



Figur 124. Avstand for beregning av togfølgetid.

Togfølgetiden beregnes når etterfølgende tog bare har grønne signaler. Dvs. at minste avstand mellom to tog blir lik en blokk (som må være ledig) pluss bremseavstand (fra forsignal til hovedsignal).

I tillegg til kjøretiden er det en tid for å stille togvei for det andre toget etter at det første toget har løst ut blokken bak. Denne tiden er 1-20 sekunder, avhengig av sikringsanlegg. Dessuten kan toget bak ikke være nærmere enn siktavstand til forsignal. Kjøretiden i siktavstanden settes normalt til 8 sek.

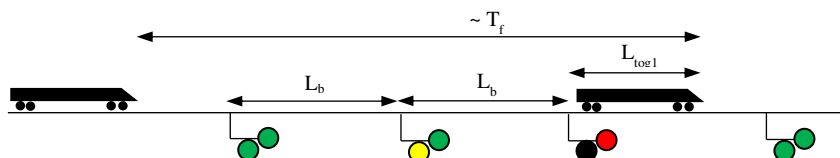
Blokkavstanden mellom to hovedsignaler trenger ikke å være lik bremselengden, men avstanden fra forsignal til hovedsignal må være minst lik bremselengden for at toget skal kunne rekke å stoppe ved rødt hovedsignal.

Forsignalet viser signalbilde for tilhørende, etterfølgende hovedsignal, og avstand mellom forsignal og hovedsignal er da lik minst bremselengden. Hovedsignalet som er før et aktuelt forsignal må da nødvendigvis være minst i bremseavstand fra neste hovedsignal.

For å sikre lavest mulig togfølgetid må blokkene mellom hovedsignalene være så korte som mulig. Hovedsignalene må dermed settes så tett sammen som mulig, og minste avstand mellom hovedsignaler opptrer da når hovedsignaler og forsignaler plasseres på samme mast

8.5.2 Beregning av togfølgetid i konvensjonelt sikringsanlegg

Den tetteste avstanden mellom som to tog kan kjøres med er to blokker, slik at det er grønt forsignal som vist i Figur 125. Lengden av blokken avhenger av bremseavstanden, som er proporsjonal med kvadratet på hastigheten.



Figur 125. Prinsipp for beregning av togfølgetid.

Regnes togfølgetiden fra fronten av første tog passerer et signal vil togfølgetiden (til fronten av neste tog passerer samme signal) med lik hastighet for togene være (v er hastigheten av toget):

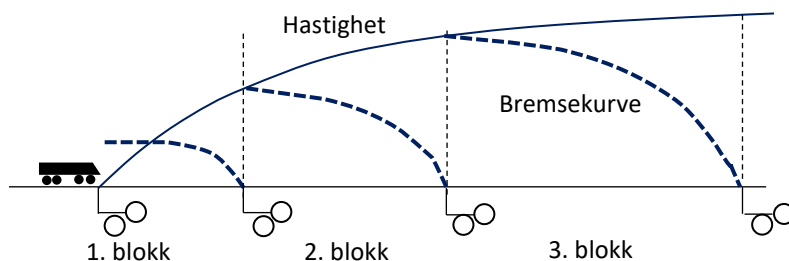
$$T_f = \frac{2L_b + L_{tog1}}{v_{tog2}} + T_{sikt} + T_{togvei}$$

Design av blokk lengder må gjøres slik at togfølgetid er konstant over linjen avhengig av hastighet. Ved start fra og nedbremsing til stasjoner må blokk lengden være kortere enn på linjen der hastigheten er høyere.

8.5.3 Blokk lengde ved akselerasjon

Avstand mellom blokker bestemmes ut fra hastigheten ved begynnelsen av blokken, slik at tog kan rekke å stoppe i blokken hvis neste blokk er opptatt. Er neste blokk ledig kan det akselereres fram til neste blokk der det vises om blokken videre er ledig. Når toget kommer gjennom blokken og fram til neste hovedsignal er hastigheten økt og krav til blokk lengde øker tilsvarende.

For å få så kort togfølgetid som mulig ved akselerasjon må blokk lengden derfor gradvis økes. Prinsippet er vist i Figur 126.



Figur 126. Blokk lengde ved akselerasjon.

Lengde av tredje blokk er definert ut fra bremselengden og avhenger av hastighet av toget ved slutten av andre blokk. Lengden av andre blokk avhenger av hastigheten av tog ved slutten av første blokk. Hastighet ved slutt av første blokk avhenger av et valg av plassering av signal og kan ikke beregnes ut fra en gitt hastighet.

Hvis det ikke alltid for alle tog er start fra 0 km/t, men også er gjennomkjørende tog, må blokk lengdene tilpasses hastighet for gjennomkjørende tog, dvs. blokk lengden må økes. Dette vil da øke togfølgetiden for tog som starter fra 0 km/t etter stopp.

8.5.4 Togfølgetid ved akselerasjon og retardasjon

Beleggstiden i en blokk avhenger av blokk lengden og hastigheten i blokken. Med forsignal og hovedsignal på samme mast er blokk lengden dimensjonert ut fra hastigheten ved *starten* av blokken slik at tog kan rekke å stoppe i blokken (fra forsignal til hovedsignal) hvis neste blokk er opptatt.

Ved akselerasjon er hastigheten økende gjennomsnittshastigheten høyere enn utgangshastigheten og ved bremsing er gjennomsnittshastigheten lavere enn utgangshastigheten. Generelt gjelder det at $Kjøretid \sim Bremselengde/Hastighet \sim Hastighet^2/Hastighet \sim Hastighet$. Det betyr at bremsing i en blokk fører til lengde beleggtid i blokken enn akselerasjon i blokken eller konstant hastighet.

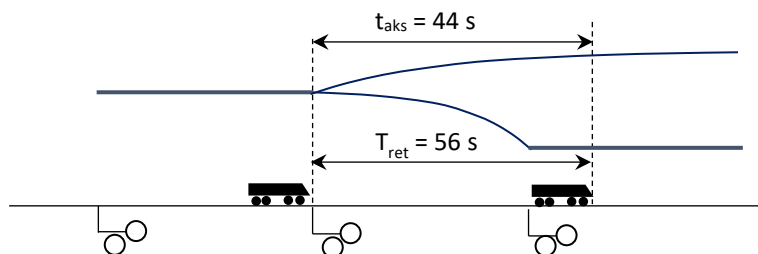
Et eksempel kan illustrere dette.

Med *akselerasjon* fra 160 km/t i en blokk med lengde på 1907 m (ved hastighet på 160 km/t og fall mellom 1 og 5 promille), tog lengde på 210 m (i alt 2117 m) og antatt gjennomsnittlig akselerasjon på $a=0,15 \text{ m/s}^2$ tar akselerasjon ca. 44 s. Dette kan finnes forenklet ut fra ligningen $s=s_0 + v_0*t + \frac{1}{2}*a*t^2 \Leftrightarrow \frac{1}{2}*a*t^2 + v_0*t + (s_0 - s) = 0$, der $(s_0 - s) = -2117 \text{ m}$, slik at $\frac{1}{2}*0,15*t^2 + (160/3,6)*t - 2117 = 0 \Leftrightarrow t = 44$.

Med *bremsing* fra 160 km/t til 100 km/t når hastigheten i begynnelsen av blokken like lang som før, dvs. 1907 m og kjøredistansen gjennom blokken er også som før 2117 m inkl. tog lengde. Hvis det bremses med $0,6 \text{ m/s}^2$ til 100 km/t er tiden for å bremse lik $((160-100)/3,6)/0,6 = 27,8 \text{ s}$.

Avstanden for bremsing i blokken er lik $160/3,6*27,8 - \frac{1}{2}*0,6*(27,8)^2 = 1003 \text{ m}$. Resterende lengde i blokken før bremsing er $1907-1003 = 914 \text{ m}$ og kjøres på $914/(160/3,6) = 20,6 \text{ s}$. Tog lengden på 200 m kjøres med 100 km/t etter blokken, men er en del av belegget for å få hele toget ut av blokken, på $200/(100/3,6) = 7,2 \text{ s}$. I alt er belegget i blokken ved bremsing $27,8 + 20,6 + 7,2 = \text{ca. } 56 \text{ s}$. Bremsing til 100 km/t i blokken fører da til at belegget øker med ca. 12 s.

Forskjellen er illustrert i Figur 127.

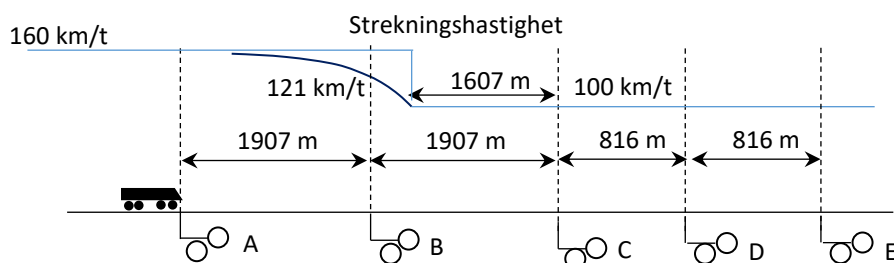


Figur 127. Tidsbelegg ved akselerasjon og bremsing i gitt blokk lengde.

For å unngå økt kjøretid i blokken ved bremsing bør blokk lengden gradvis reduseres på strekningen med bremsing.

Blokk lengden er 1907 m ved 160 km/t. Hastighet reduseres til 100 km/t 300 m etter hovedsignal. Bremsing tenkes å skje med $0,6 \text{ m/s}^2$. Bremselengde fra 160 km/t til 100 km/t er 1003 m og påbegynnes da 703 m før hovedsignal. Hastighet ved hovedsignal er etter 703 m 121,1 km/t. Blokk lengde ved 121 $\approx$ 125 km/t er 1205 m. Blokk lengde ved målhastighet 100 km/t er 816 m.

Uten justering av blokk lengde ved bremsing er situasjonen som vist i Figur 128. I figuren er det vist hvordan bremsing fra 160 km/t til 100 km/t skjer over to blokker.



Figur 128. Tidsbelegg ved bremsing. Blokk lengde med bremsing lik blokk lengde før bremsing.

Kjøretid A-B er 45 s og kjøretid B-C er 68 s. Kjøretid C-D er 29 sek.

Passering av toglengde (200 m) ved A er 5 s. Passering av toglengde ved B er 6 s og passering av toglengde ved C er 7 s.

Når det som forenkling i eksemplet sees bort fra utløsning av togvei og siktavstand fås følgende togfølgetider:

Togfølgetid ved A er $(2 \cdot 1907 \text{ m}) / (160 \text{ km/t} / 3,6 \text{ ks/t}) + 5 = 91 \text{ s}$.

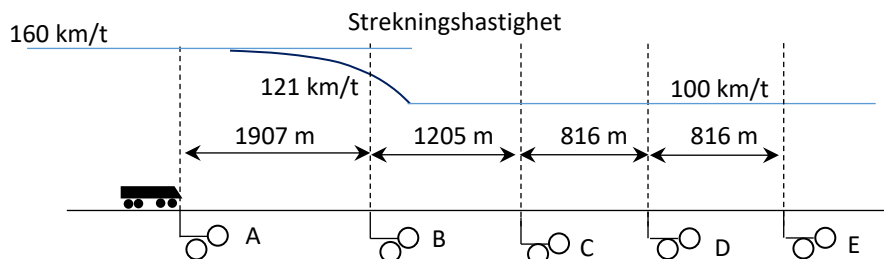
Togfølgetid ved B er $1907 / (160 / 3,6) + 45 + 6 = 94 \text{ s}$.

Togfølgetid ved C er $45 + 68 + 7 = 120 \text{ s}$.

Togfølgetid ved D er $68 + 29 + 7 = 104 \text{ s}$.

Togfølgetid ved E er $29 + 29 + 7 = 65 \text{ s}$.

Med tilpasset blokk lengde B-C til redusert hastighet ved bremsing fås følgende blokk lengder og tider som vist i Figur 129:



Figur 129. Tidsbelegg ved bremsing. Blokk lengde med bremsing er redusert ut fra hastighet ved passering av hovedsignal ved bremsing.

Kjøretid A-B er 45 s og kjøretid B-C er 42 s. Kjøretid C-D er 29 sek.

Passering av toglengde (200 m) ved A er 5 s. Passering av toglengde ved B er 6 s og passering av toglengde ved C er 7 s.

Togfølgetid ved A er $(2 \cdot 1907) / (160 / 3,6) + 5 = 91$ s.

Togfølgetid ved B er $1907 / (160 / 3,6) + 45 + 6 = 94$ s.

Togfølgetid ved C er $45 + 42 + 7 = 94$ s.

Togfølgetid ved D er $42 + 29 + 7 = 78$ s.

Togfølgetid ved E er $29 + 29 + 7 = 65$ s.

Togfølgetidene er oppsummert i Tabell 45.

Tabell 45. Togfølgetid ved fast blokk lengde og ved justert blokk lengde ved bremsing.

Signal	Togfølgetid (s)	
	Med fast blokk lengde	Med variert blokk lengde
A	91	91
B	94	94
C	120	94
D	104	78
E	65	65

Det sees at dimensjonerende togfølgetid reduseres fra 120 s til 94, dvs. med 26 s. Kapasiteten øker tilsvarende relativt med en faktor $1/(94 \text{ s}) / 1/(120 \text{ s}) = 1,28$.

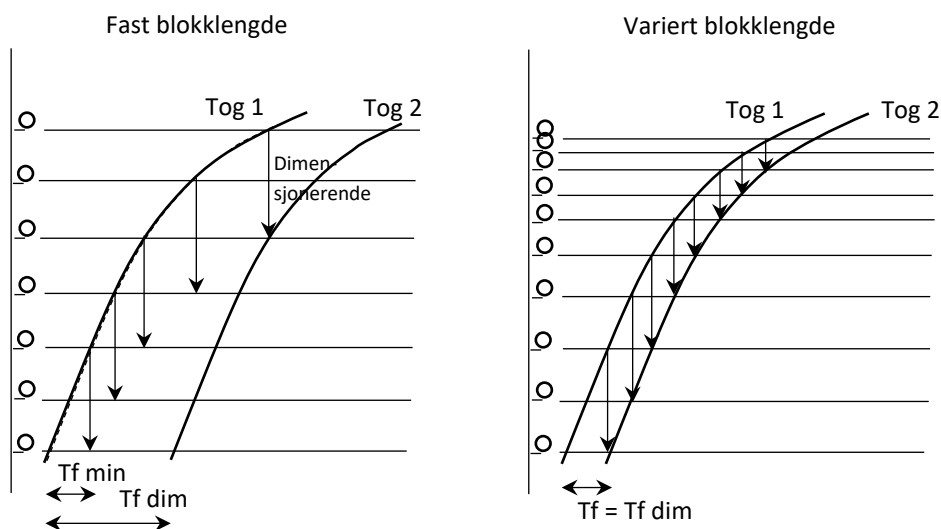
Et annet eksempel bremsing til stopp på en stasjon med to spor i samme retning. Gjennomkjøringstiden i en blokk på 1907 m ved 160 km/t lik 43 s. Hvis det er stopp på en stasjon med to spor i samme retning og middel er plassert 400 m fra utkjøringsignal er nødvendig kjørelengde før togveitløsing lik $1907 - 400 + 200$ (toglengde) = 1707 m. Bremsseavstand med $0,6 \text{ m/s}^2$ er 1646 m. Hvis stopp settes ved 1807 m er punkt for bremsestart 161 m fra blokkens begynnelse. Bremsestrekningen før togvei utløses er $1707 - 161 = 1546 \text{ m}$. Bremsetiden over 1546 m er ca. 56 s (til 39 km/t). Kjøretiden i de første 161 m før bremsing er 4 s. I alt er belegget i blokken 60 s.

Bremsing i eksemplet medfører da at blokken er belagt $60 - 43 = 17$ sekunder ekstra. Kapasiteten reduseres tilsvarende relativt med en faktor $1/(60 \text{ s}) / 1/(43 \text{ s}) = 0,72$.

8.5.5 Blokk lengde ved bremsing med konvensjonelle signaler

Ved bremsing vil en gitt avstand ta lengre tid å passere enn ved akselerasjon eller konstant hastighet. For å oppnå lik togfølgetid på hele strekningen må blokk lengden og hastighet reduseres inn mot stopp.

Situasjonen er illustrert i Figur 130.



Figur 130. Avstand mellom tog ved konvensjonelt signalanlegg under bremsing, med lik blokk lengde og med redusert blokk lengde. Piler angir togfølgeavstand.

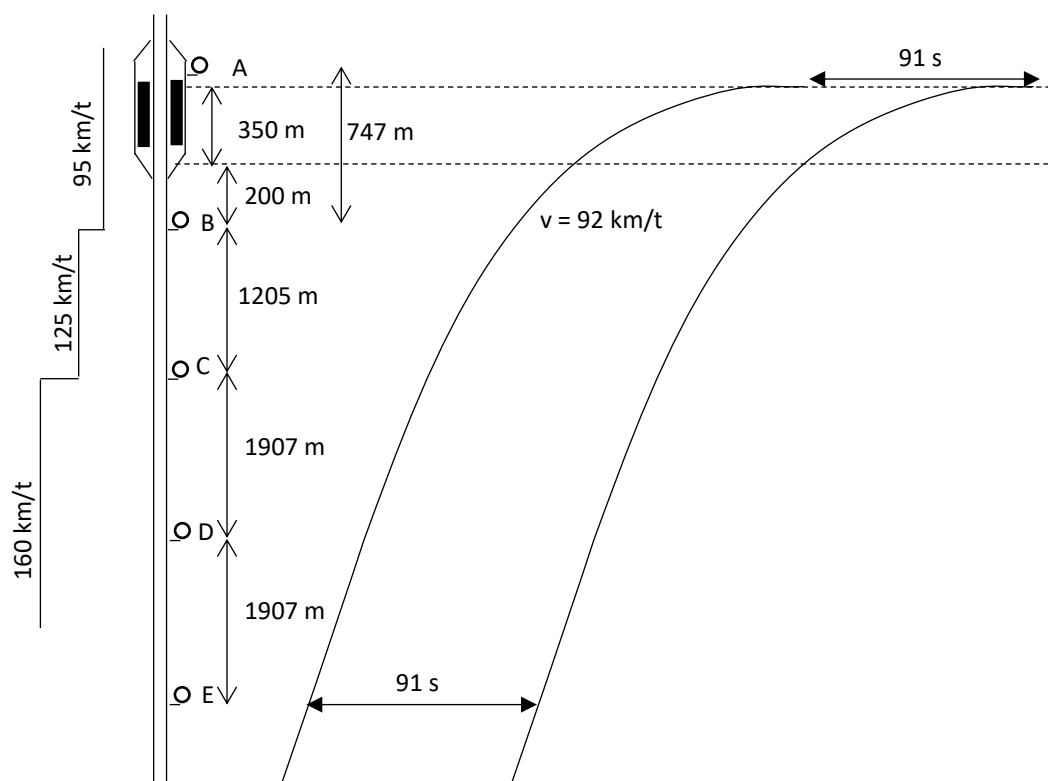
Er en strekning trafikkert av gjennomkjørende tog må det tas hensyn til dette ved blokkinnstilling med konvensjonelle signaler, og tidsavstanden vil da være større mellom to tog når det siste eller begge stopper.

Når blokk lengden finnes må det sikres at hastighetsnivået tilpasses slik at nødvendig bremseavstand ikke blir for lang og at togfølgetiden dermed blir for lang. Det gjelder følgende sammenheng: $\text{Togfølgetid} \sim \text{Kjøretid} \sim \text{Bremselengde}/\text{Hastighet} \sim \text{Hastighet}^2/\text{Hastighet} \sim \text{Hastighet}$. Dvs. at ved å redusere hastigheten kan togfølgetiden reduseres (selv om blokken kjøres med lavere hastighet reduseres blokk lengden forholdsmessig enda mer slik at kjøretiden går ned).

Hvis det med konvensjonelle signaler gjøres tilpasninger av blokk lengde og hastighet vil stoppende tog få kortere togfølgetid, men til gjengjeld vil gjennomkjørende få lengre kjøretid som en konsekvens av redusert hastighet in blokkene.

Et eksempel kan illustrere problemstillingen.

Figur 131 viser prinsippskisse for bremsing inn mot stopp der det ønskes opprettholdt lik togfølgetid som på linjen. Det tenkes at hastigheten på en strekning med 1-5 o/oo fall er 160 km/t. Blokk lengde er da 1907 m. Stopp er 350 m etter middel og innkjørsignal er plassert 200 m fra middel.



Figur 131. Bremsing og opprettholdelse av lik togfølgetid.

Togfølgetiden på linjen ved 160 km/t er $(2 \cdot 1907 + 210) / (160/3,6) = 91$ s. Det sees i eksemplet bort fra sikttid og tid for utløsning av togvei. For å opprettholde denne togfølgetiden ved bremsing må blokkene være kortere og hastigheten lavere inn mot stopp.

Ved bremsing med $0,6 \text{ m/s}^2$ er hastigheten ved middel ca. 72 km/t og tiden for å passere middel for et 210 m langt tog er ca. 13 s.

Hastigheten ved B er ca. 92 km/t og tiden for å passere B er ca. 9 s. Togfølgetiden D-B er 91 s, dvs. at kjøretiden for tog 2 er $91 \text{ s} - 9 \text{ s} = 82$ s.

Bremselengden er 1646 m og skjer da i utgangspunktet i blokken CB. Imidlertid er denne blokken for lang (1907 m) hvis hastigheten inn i blokken er 160 km/t. Togfølgetiden ville da bli lengre enn på linjen siden tiden i blokk CB ville være større enn i DC.

Hastigheten må settes ned i blokk CB (og BA) til et nivå som gjør at kjøretiden i blokk DC og CB tilsammen er 82 s.

Med å prøve seg fram finnes at en (i) hastighet ved C på 125 km/t og tilhørende blokk lengde på CB på 1205 m samt (ii) en hastighet ved B på 95 km/t og blokk lengde BA på 747 m, gir tilstrekkelig lav kjøretid. Kjøretiden DC med bremsing fra 160 km/t til 125 km/t er 44,7 s. Kjøretiden CB med bremsing fra 125 km/t til 92 km/t er 36,7 s. Passering ved B er som nevnt ca. 9 s. Samlet tid er da $44,7 \text{ s} + 36,7 \text{ s} + 9 \text{ s} = 90,4$ s. Det er da ca. 0,6 s margin som togene kan kjøres lengre fra hverandre.

Hvis det hadde vært valgt 130 km/t som første hastighetssenkning hadde blokken vært 1292 m og tiden DC lik 44,2 mens tiden CB ville vært 38,4 s. I alt ville togfølgetiden vært 91,6 s som er større enn ønsket. Lavere hastighet enn 125 km/t ville ført til lengre kjøretider enn nødvendig mht. ønsket togfølgetid.

Med de viste blokk lengdene og hastighetene er kjøretiden D-A for tog som ikke skal stoppe lik $44,7 + 36,4 + 28,3 = 109,4$ s (uten toglengde). Med dimensjonering for konstant hastighet ville samme avstand ha en kjøretid på 86,8 s. Tidstapet for ikke-stoppende tog er da ca. 23 s.

Med ERTMS er det mulig å unngå denne problemstillingen, se avsnitt 8.6.2.

8.5.6 Automatisk togkontroll, ATC

Med automatisk togkontroll (ATC) overvåkes hastighet og at tog ikke kjører forbi rødt hovedsignal. Ved passering av gult forsignal griper ATC inn og bremser toget til stopp foran rødt hovedsignal hvis lokføreren ikke begynner nedbremsing tidsnok. Med ATC må toget bremse ned til 0 km/t ved hovedsignalet, hvis det har passert gult forsignal (signalbilde «forvent stopp»). ATC overvåker ikke hastighet under 40 km/t og lokfører kan derfor kjøre i 40 km/t fram mot et signal selv om det er rødt. Hvis det fremdeles er rødt når signalet passerer vil ATC stoppe toget med nødbrems. Hvis lokfører tror at hovedsignalet vil skifte til grønt, og hvis det gjør det før passering, kan det derfor teoretisk være nok å bremse ned til 40 km/t i stedet for 0 km/t ved hovedsignalet. Det kan installeres repeter-balisering som oppdaterer signalbildet i ATC før toget er ved hovedsignalet, slik at det er mulig å øke hastigheten igjen tidligere enn ved hovedsignalet. Dette kan ha betydning for hastighet og togfølgetid i avvikssituasjoner og køkjøring.

Hvis tog skal stoppe ved plattform vil det, avhengig av hastighet i veksel og plattformlengde, sannsynligvis ikke være mulig å passere innkjørsignal strekningshastighet. Et tog kunne da i kanskje passere grønt innkjørsignal med frislippshastighet selv om innkjørsignalet tidligere, ved passering av forsignalet, var rødt og ATC overvåker hastighet til 0 ved innkjørsignalet. Imidlertid må det for at hastigheten skal være så lav som 40 km/t være stopp ca. 100 m etter innkjørsignalet. Dette vil ikke kunne oppfylles da det er 200 m fra innkjør til middel og deretter toglengde på 100-200 m til stoppunkt.

Dvs. at strekingshastigheten ved passering av innkjør bør være større enn 40 km/t for å kjøre raskest mulig fram til stoppunktet.

Dessuten er det slik at når et tog overvåkes til 0 km/t ved innkjørsignal vil hastigheten nødvendigvis være 40 km/t en viss avstand før innkjørsignalet. Dvs. at hvis et tog skal passere innkjørsignalet i 40 km/t må det først kjøre en viss avstand med 40 km/t. Det gir et ytterligere tillegg til kjøretiden for kjøring fram til stoppunktet.

Alt i alt er det lengre tidsbruk for å kjøre til stopp hvis det kjøres på gult forsignal. Det er derfor ikke et godt prinsipp å planlegge framføring og dimensjonering av kapasitet etter å kjøre på passering av gult forsignal selv om det er stopp ved plattform etter innkjørsignalet.

8.5.7 Gjennomsignalering i ATC

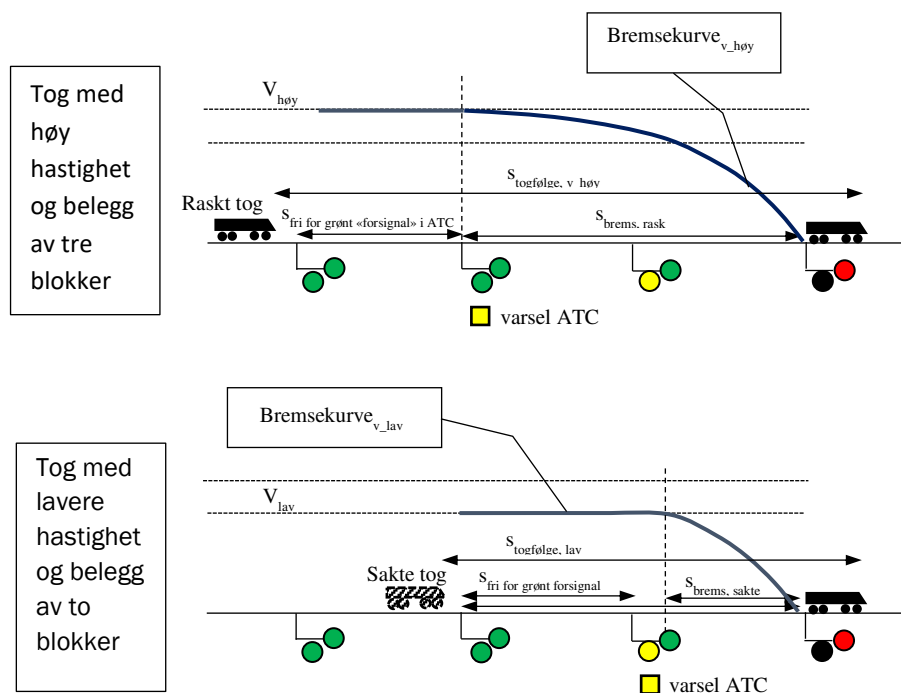
ATC-systemet kan programmeres til å fungere med *framskutt forsignal* eller *gjennomsignalering*, slik at det internt i ATC-systemet og i panelet for lokføreren – men ikke fysisk i sporet – kan skilles på hastighetsnivåer og hvor mange blokker det skal «sees fram» med tanke på nødvendig bremselengde. Dette kan forklares slik:

Ved gjennomsignalering viser de optiske signalene de vanlige signalene, mens ATC kodes slik at målpunktet (bremsepunktet ved rødt hovedsignal) fra et forsignal er ved ett hovedsignal lengre fram enn vanlig. Når forsignal står på mast for hovedsignal kan bremseavstanden da fordeles over to blokker (dvs. mellom tre hovedsignaler).

Bremseavstanden vil altså belegge to blokker framover, mens den ene blokken som må være fri mellom to hovedsignaler bare blir en halv bremselengde. I alt er avstand mellom to tog da lik tre blokker eller en og en halv gang bremselengde (pluss toglengde). Hvis det ellers (uten gjennomsignalering), vises signaltett for næreste hovedsignal er avstanden to blokker, men to ganger bremselengde (pluss toglengde). Gjennomsignalering muliggjør derfor at tog kan kjøres tettere enn hvis forsignal viser til bare ett hovedsignal lengre fram.

Hvis det er tog som kjører langsommere enn det blokkelengdene (mellom tre hovedsignaler) er dimensjonert for, er bremselengden kortere og toget trenger da ikke å få «grønt forsignal» i ATC allerede to blokker før hovedsignal til fri blokk. For noen tog er det (avhengig av hastigheten) nok med bremseavstand svarende til én blokk, og tog kan da kjøres tettere (er det ikke restriktivt to blokker før hovedsignal er det det heller ikke en blokk før hovedsignalet) med to blokker mellom seg mot tre blokker for tog med høyere hastighet. Bremskurven i ATC vil ved lavere hastighet gripe inn senere på grunn av senere startpunkt for bremsing.

Prinsippet med gjennomsignalering er vist i Figur 132.



Figur 132. Gjennomsignalering med ATC for tog med høy og lav hastighet.

Effekten av gjennomsignalering kan illustreres med et eksempel:

Ved f.eks. 200 km/t og fall på 1-5 ‰ er målavstanden (blokk lengden) 3090 m, mens den ved 160 km/t er 1907 m (Bane NOR, Teknisk Regelverk, Signal/Prosjektering/ATC/Målavstandstabeller oppdatert 6. oktober 2016). Med blokker på 3090 m og hastighet på 200 km/t fås at det er nødvendig med $2 \cdot 3090$ m = 6180 m ledig strekning foran toget (det sees bort fra siktavstand). Deles blokkene på 3090 m i to og det benyttes *gjennomsignalering* vil det være tre 1545 m lange blokker mellom tog (to for bremseavstand fra forsignal til hovedsignal og en fri blokk). Tog med 200 km/t vil da trenge få $3 \cdot 1545$ m = 4635 m ledig strekning foran seg.

Tog med 200 km/t vil via ATC-systemet altså kunne benytte to blokker for bremselengde ($2 \cdot 1545 = 3090$ m slik som nødvendig 3090 m) og én blokk på 1545 m som fri strekning.

Tog med lavere hastighet kan benytte bare en blokk til bremseavstand og en blokk til ledig blokk. Hastigheten blir da maks. 140 km/t: bremseavstanden er ved 140 km/t lik 1391 m som er mindre enn

blokk lengden på 1545 m men ved 150 km/t er bremseavstand 1573 m som er mer enn blokk lengden på 1545 m.

Tabell 46 viser et eksempel på endring i togfølgetider med gjennomsignalering og tilsvarende endring i kapasitet. Det er regnet med 210 m tog lengde. Det er benyttet at blokk lengde er halvert sammenlignet med vanlig lengde av blokk basert på 200 km/t (blokk lengde til 1545 m).

Tabell 46. Tidsbesparelse og kapasitetsøkning med gjennomsignalering i ATC.

Hastighet	Togfølgetid uten gjennomsignalering Blokk 3090 m basert på 200 km/t	Togfølgetid med gjennomsignalering Blokk 1445 m (halvering av 3090 m)	Endring i togfølgetid med gjennomsignalering	Relativ økning i kapasitet med gjennomsignalering
200 km/t	$Tf = (2 \cdot 3,090 + 0,21) / 200 \cdot 60 + (6+8) / 60 = 2,15 \text{ min}$	$Tf = (3 \cdot 1,545 + 0,21) / 200 \cdot 60 + (6+8) / 60 = 1,69 \text{ min}$	-0,46 min	$2,15 / 1,69 - 1 = 27 \%$
160 km/t	$Tf = (2 \cdot 3,090 + 0,21) / 160 \cdot 60 + (6+8) / 60 = 2,63 \text{ min}$	$Tf = (3 \cdot 1,545 + 0,21) / 160 \cdot 60 + (6+8) / 60 = 2,05 \text{ min}$	-0,58 min	$2,63 / 2,05 - 1 = 28 \%$
140 km/t	$Tf = (2 \cdot 3,090 + 0,21) / 140 \cdot 60 + (6+8) / 60 = 2,97 \text{ min}$	$Tf = (2 \cdot 1,545 + 0,21) / 140 \cdot 60 + (6+8) / 60 = 1,65 \text{ min}$	-1,34 min	$2,97 / 1,65 - 1 = 80 \%$
100 km/t	$Tf = (2 \cdot 3,090 + 0,21) / 100 \cdot 60 + (6+8) / 60 = 4,07 \text{ min}$	$Tf = (2 \cdot 1,545 + 0,21) / 100 \cdot 60 + (6+8) / 60 = 2,21 \text{ min}$	-1,85 min	$4,07 / 2,21 - 1 = 84 \%$

Det sees at gjennomsignalering øker kapasiteten betydelig, særlig hvis hastighet av tog er betraktelig lavere enn den hastigheten blokkene er dimensjonert for.

8.6 ERTMS

8.6.1 Generelt prinsipp

Med ERTMS (European Rail Traffic Management System) erstattes fysiske signaler ved sporet med et tele- og databasert system. Togets posisjon og hastighet overvåkes og aktuell bremseavstand - på et gitt punkt med en gitt hastighet for et spesifikt tog - sammenlignes med ledig avstand fram det punktet som det er gitt kjøretillatelse til.

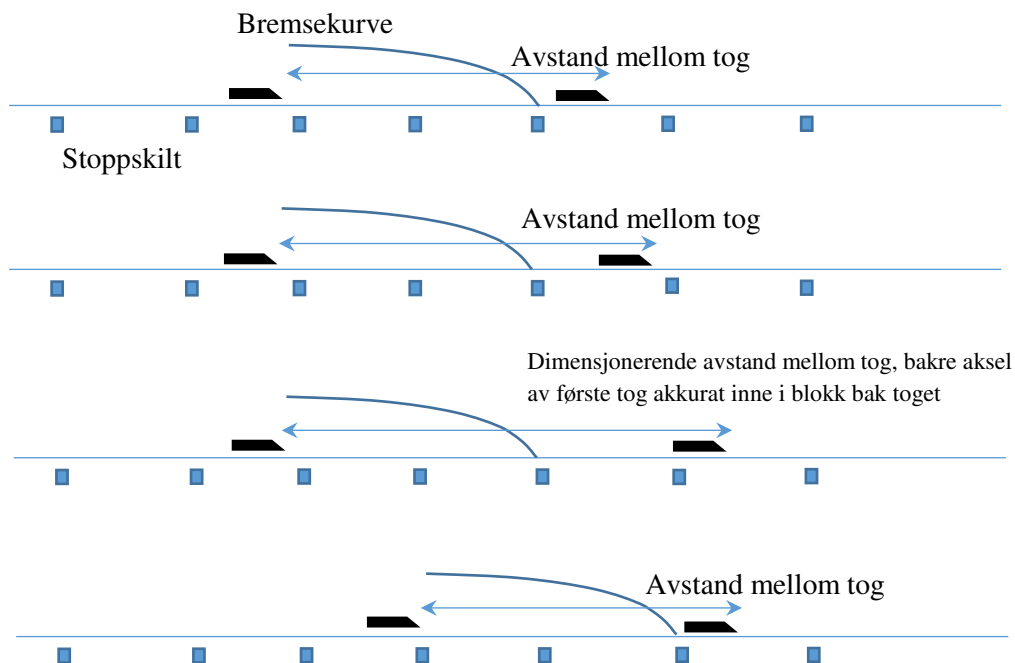
Punktene er i utgangspunktet bare definert i et datasystem men *avspeiles* for visse typer punkter ved sporet med et skilt. Dette gjelder punkter der det kan gis kjøretillatelse (MA - movement authority) fram til. Skiltene kalles stoppskilt - «marker boards» på engelsk - og har blå bakgrunn med gul og hvit pil. Det er ingen ytre signaler som viser hvor langt det er gitt kjøretillatelse til. Informasjonen om kjøretillatelse gis til lokfører utelukkende i et panel (Driver Machine Interface - DMI) i førerrommet.

Tilsvarende ATC vil ERTMS gripe inn og bremse toget hvis lokfører ikke selv bremser tidsnok til å stoppe foran punktet der kjøretillatelsen er gitt til. I så fall stoppes toget automatisk med mindre lokfører selv bremser til en lav hastighet, såkalt «release speed». Hvis toget kjøres i hastighet under release speed griper ERTMS ikke inn i hht. bremsekurven. Dette sikrer at lokfører med lav hastighet kan posisjonere toget nøyaktig (ved plattform) uavhengig av bremsekurven når denne er nesten 0 km/t og det er vanskelig å justere hastigheten så nøyaktig. Hvis lokfører - med hastighet levere enn frilsipphastigheten (release speed) - passerer stoppskilt der kjøretillatelse gjelder til, vil ERTMS stoppe toget.

For at et tog kan få kjøretillatelse fram til et gitt stoppskilt kreves det at toget foran er forbi dette stoppskiltet. Det blir da minst en ledig blokk (mellom to stoppskilt) mellom to etterfølgende tog. Det medfører at det bakerste toget ikke kan være nærmere enn at det har kjøretillatelse fram til ett stoppskilt tidligere. Dette gjelder helt til det første toget har passert det forreste stoppskiltet (og det har gått en viss tid i systemet for oppdatering av kjøretillatelse).

Konsekvensen er at ved tidspunktet når det forreste toget akkurat har passert stoppskilt vil det bakerste toget måtte ha bremseavstand fram til nærmeste stoppskilt bakover, og det blir da nødvendig med en fri blokk mellom stoppskilt (altså mellom sted for kjøretillatelse for det bakerste toget og stoppskilt som er passert av det første toget).

Prinsippet er vist i Figur 133 der avstand mellom tog vises for ulike steder for plassering av tog 1 og 2. Dimensjonerende avstand som opptrer når første tog akkurat har passert et stoppskilt.



Figur 133. Resulterende, minste avstand mellom tog avhengig av relativ plassering til stoppskilt for første tog. Dimensjonerende avstand mellom tog ved ERTMS opptrer når første tog akkurat passerer stoppskilt og det blir en ledig blokk mellom slutt punkt for bremsekurve for bakerste tog og toget foran.

Forskjellen til konvensjonelle signaler er at blokk lengden mellom stoppskilt kan være kort og at den er uavhengig av bremselengde for togene. Det er hastigheten av toget bak og bremselengden som i hovedsak dimensjonerer hvor lang togfølgetiden trenger å bli. Ved å ha tilstrekkelig antall stoppskilt er det da potensielt mulig å redusere togfølgetiden sammenlignet med konvensjonelle signaler.

8.6.2 Belegg i blokker med ERTMS

Ved korrekt plassering av stoppskilt ved ERTMS vil kapasiteten i visse situasjoner kunne økes sammenlignet med konvensjonelle signaler. Med ERTMS trenger det ikke å være ett (dimensjonerende) sett stoppskilt som tar høyde for mest begrensende situasjon for bremselengder.

Det kan settes opp flere sett stoppskilt som kan benyttes av tog avhengig av hastigheten slik at togfølgetiden tilpasses aktuelle togfølger og behovet. Øvrige stoppskilt som ikke benyttes i en konkret

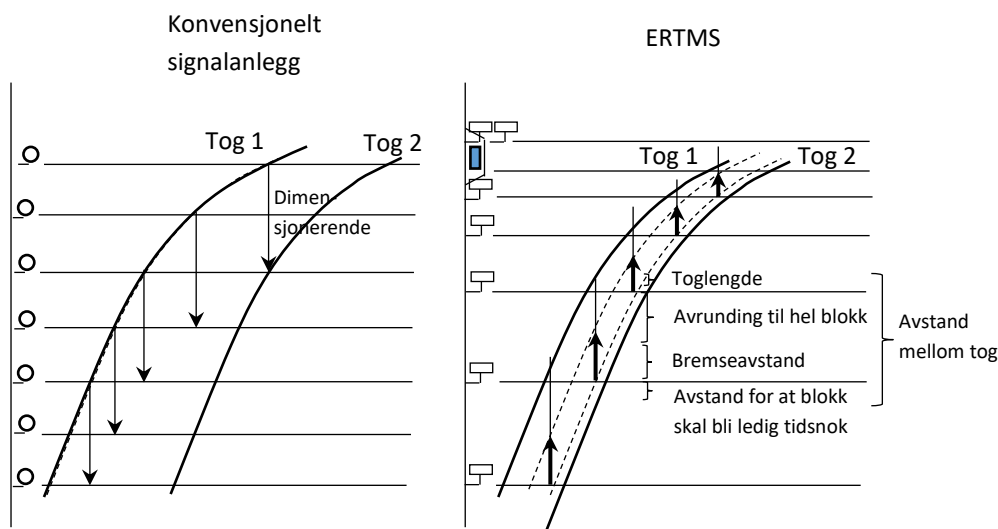
situasjon (men er ment for andre togfølger) vil ikke begrense bremseavstander som ved konvensjonelle signalanlegg, men bare medføre en finere inndeling i sprang for kjøretillatelse.

Et eksempel er oppstart etter stopp med godstog på stasjon der det skal ut på linjen igjen rett etter et gjennomkjørende tog. Da vil det kunne være ett sett stoppskilt som brukes av raske persontog etter hverandre gjennom stasjonen og ett sett stoppskilt som benyttes for å gi kjøretillatelse så fort som mulig for godstoget.

Ved bremsing vil en gitt avstand ta lengre tid å passere enn ved akselerasjon eller konstant hastighet. Er en strekning trafikkert av gjennomkjørende tog må det tas hensyn til dette ved blokkinnndeling med konvensjonelle signaler, og tidsavstanden vil da være større mellom to tog når det siste eller begge stopper.

Med ERTMS trenger det imidlertid ikke å være faste blokker som er dimensjonert ut fra hastighet ved begynnelsen av blokken og det kan settes opp flere stoppskilt slik at tiden for å passere en blokk under nedbremsing kan gjøres så kort at togfølgetiden kan holdes på et ønsket nivå. Gjennomkjørende tog som trenger lengre bremsavstand vil få kjøretillatelse fram til nødvendig punkt uavhengig av stoppskilt som benyttes for tog ved bremsing.

Situasjonen er illustrert i Figur 134.



Figur 134. Avstand mellom tog ved konvensjonelt signalanlegg dimensjonert for gjennomkjørende tog og ved ERTMS.

Det sees avstanden mellom stoppskilt med ERTMS avtar fram mot stopp slik at togfølgetiden er den samme hele veien. Med konvensjonelle signaler og fast blokk lengde er dimensjonerende tidsavstand inn mot stopp.

Ved konvensjonelt signalanlegg er blokkene dimensjonert ut fra lengste bremseavstand og med gjennomkjørende tog uten stopp vil disse dimensjonere blokkene. Ved bremsing er hastigheten og bremselengde imidlertid avtagende, men det kan ikke utnyttes i blokkene. Gjennomkjøringstiden i blokkene – og dermed togfølgetiden – øker da ved bremsing. Hvis det alltid er bremsing mot et punkt for alle tog kan blokker tilpasses bremselengdene slik at belegget i blokkene holdes noenlunde konstant. Hvis det både er gjennomkjørende tog og stoppende tog - som da holder høy hastighet – vil blokk lengden tilpasses disse togene og dermed øker belegget i blokkene og togfølgetiden for tog som skal bremse.

Med ERTMS kan det være ett sett stoppskilt for tog som skal bremse og ett sett (med gjenbruk) av stoppskilt for tog som ikke skal bremse. Derved oppnås det at det kan være lik togfølgetid i alle blokker.

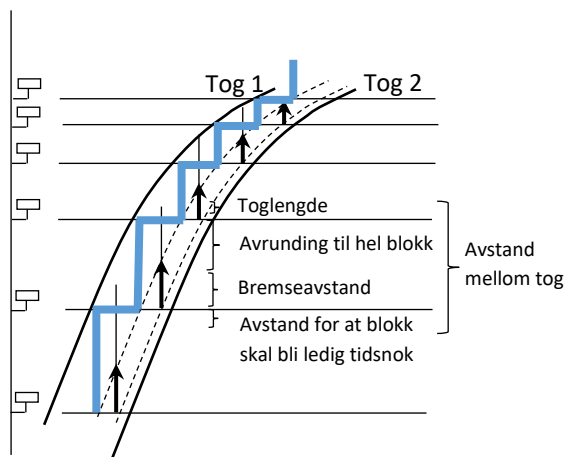
Ved konvensjonelle signaler må det være to blokker ledig framover. Ved avtagende hastigheter øker tidsbelegget hvis blokker ikke samtidig kortes (hvilket er i konflikt med framføring av tog i full hastighet) og tog vil tvinges da fra hverandre i tid selv om de ønskes kjørt tettere. Med ERTMS kan det derimot settes opp stoppskilt der de er nødvendige for å opprettholde en tett togfølgetid.

Stoppskilt må settes opp slik at bremselengden foran tog 2 (det bakerste toget) ikke kommer inn i blokken som er belagt av tog 1 (det forreste toget). For en gitt (tids-) avstand mellom tog må bakenden av tog 1 ha passert stedet som bremselengden av tog 2 peker fram til. Blokken fram til målpunktet for (bremseavstanden foran) tog 2 må dessuten være fri en viss tid (reaksjonstid i ETCS systemet) før tog 2 kommer, slik at blokken fram til stoppskiltet er ledig når tog 2 faktisk er ved stedet der bremseavstanden opptrer.

Krav om bremseavstand beregnes kontinuerlig av togets ombord-computer i ETCS systemet og har en gitt lengde som er uavhengig av plassering av stoppskilt. Derimot vil nødvendig belegg måtte rundes opp til avstand fram til neste stoppskilt etter stedet der bremseavstand slutter (ellers ville tog 1 være i samme blokk som bremseavstand slutter).

Belegget vil reduseres etter hvert som tog 2 beveger seg fram mot stoppskiltet der kjøretillatelse er gitt til. Når tog 1 frigir blokken flytter kjøretillatelse seg til neste stoppskilt og belegget øker i et sprang, for deretter å reduseres igjen når tog 2s bremseavstand kommer lengre inn i blokken. I sprangene, når belegget går fram til neste stoppskilt, vil det være en fri blokk mellom sluttspunkt for bremseavstand og tog 1. Selv om belegget reduseres mellom stoppskiltene vil det akkurat ved stoppskiltene være dimensjonerende belegg. Totalt sett vil det over alle stoppskilt kunne fines det stedet der togfølgeavstanden er dimensjonerende og dimensjonerende togfølgetid kan avledes ut fra dette stedet.

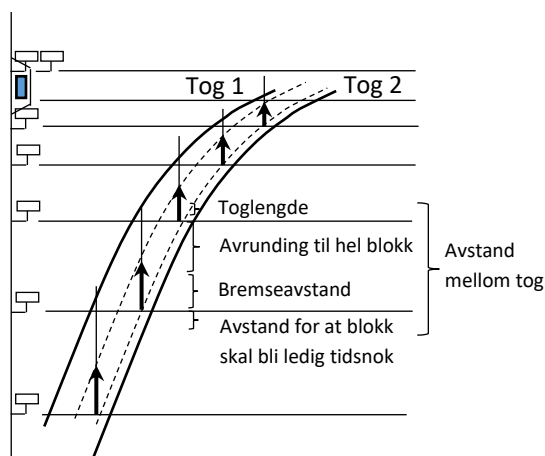
Figur 135 viser prinsippet med belegg framover foran tog 2 som «trapp».



Figur 135. Avstand mellom tog og trappefunksjon som viser nødvendig fri avstand framover foran tog 2.

Det kan være ønske om så tett togfølge at oppstår konflikt med bremselengden for tog 2 og da er dette heller ikke mulig å løse med ERTMS. I situasjoner inn mot stopp på en stasjon kan problemet løses med to spor til plattform hvis konflikten oppstår rett før stasjonen. Ellers må tog kjøres med større tidsavstand.

Situasjonen er illustrert i Figur 136.



Figur 136. Avstand mellom tog ved to spor på plattform inn mot stopp.

8.6.3 Kryssing med ERTMS

I stedet for krysslåsingstid (ved konvensjonelle signaler) er det med ERTMS slik at når et tog kommer inn til kryssing og det er registrert med hastighet 0 km/t i minst 10 s mister det kjøretillatelse (eller får kjøretillatelse med frislippshastighet 0 km/t). Dette sikrer at toget står stille når neste tog skal inn. Deretter sjekkes det om middel bak toget er fri og deretter får neste tog kjøretillatelse inn.

Etter at det andre toget er kommet inn får det første toget ny kjøretillatelse ut fra stasjonen.

Med konvensjonelt sikringsanlegg er det krysslåsingstider som skal gi sikkerhet for at det første toget står stille. Det kan med ERTMS bli kortere tid for å kjøre fram til stopp enn krysslåsingstiden i et konvensjonelt anlegg, men dette vil avhenge av hastighet i avvik og avstand fram til stoppunktet på stasjonen. Krysslåsingstiden i et konvensjonelt anlegg begynner å løpe når toget har frigitt sporavsnitt bak middel, men det ved ERTMS må være framme ved stoppunktet. Med en lang stasjon og lave hastigheter er det ikke sikkert at det er noen tidsbesparelse med ERTMS. I visse situasjoner kan kryssingstiden bli lengre med ERTMS.

8.6.3.1 Samtidig innkjør og ERTMS

Hvis et tog skal kunne kjøre inn på en stasjon uten at det første toget står stille må det være en sikkerhetssone. Denne sikkerhetssonen for samtidig innkjør kan med ERTMS oppnås ved

- tilstrekkelig stor fysisk avstand fra stoppskilt til middel (tilsvarende konvensjonelle signaler), eller
- dobbelt sett med stoppskilt slik at det i situasjoner med ønsket samtidig innkjør benyttes kjøretillatelse til det første (indre) stoppskiltet slik at det er en sikkerhetssone fram til middel.

8.6.3.2 Overlange kryssinger og ERTMS

I dagens situasjon med konvensjonelt sikringsanlegg kan overlang kryssing (der et langt tog delvis står på utsiden av stasjonen og delvis inne på stasjonen når det er kryssing) bare finne sted når det er en sikkerhetssone fram til middel for det andre toget som kommer inn. Dette vil være tilfellet hvis det er samtidig innkjør, men da er det typisk også lange stasjoner slik at behovet for overlang kryssing sannsynligvis ikke er til stede.

Skal det foretas overlang kryssing med konvensjonelt sikringsanlegg uten samtidig innkjør, må det lange toget (godstog) stå ved innkjør og vente på at det korte toget (persontog) kommer inn og at krysslåsingstiden går før det kan begynne å kjøre inn. Før det lange toget kan begynne å kjøre og mens det kjører inn og får siste vogn bak middel må det korte toget stå på stasjonen og vente. Tidstapet for et persontog som må stoppe for kryssing kan netto være i størrelsesordenen et par minutter (avhengig av de faktiske forholdene) sammenlignet med et langt kryssingsspor der et godstog kommer inn først og persontoget kjører rett igjennom. Med samtidig innkjør må det påregnes at persontoget må bremse litt for å tillate at godstoget rekker å komme inn på stasjonen og at det blir grønt i utkjørsignalet. Tidstapet for overlang kryssing er da litt mindre sammenlignet med samtidig innkjør enn sammenlignet med at godstoget står inne under hele kryssingen. Tidsbesparelsen med samtidig innkjør er imidlertid fortsatt betydelig sammenlignet med overlang kryssing.

Med ERTMS vil det kunne etableres en sikkerhetssone ved å legge punktet for Movement Authority et stykke inn på stasjonen. I tillegg kan det være et annet punkt som benyttes i ordinære tilfeller slik at toget ellers kan kjøre lengre fram.

Med ERTMS kan det lettere etableres en sikkerhetssone og muligheten til overlapp kryssing øker. Det betyr også at det er lettere å krysse lange godstog og persontog på stasjoner som er for korte for godstoget.

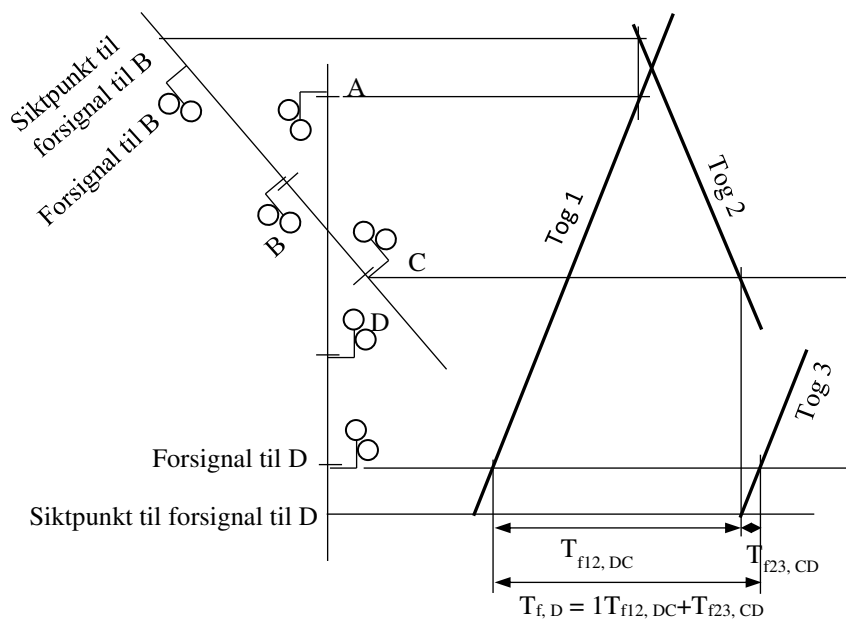
Hvis persontoget uansett har rutemessig stopp er det mindre tidstap for persontoget med en slik kryssing, siden godstoget kan begynne å kjøre ut av stasjonen så snart persontoget har kommet inn bak middel. Mens godstoget kjører ut vil oppholdstiden (helt eller delvis) gå og godstoget kan ha frigitt middel når persontoget skal ut fra stasjonen.

8.6.4 Togfølgetid ved kryssende togveier

Med overlappende togveier, der f.eks. et tog først kjører en vei på et spor og et annet tog etterfølgende kjører ut på samme spor (kryssende eller i motsatt retning) fra et annet spor, kan ha delvis utløsning av togveien. Det innebærer at togveien for det andre toget løses ut selv om det første toget ikke er helt ute av blokken. Togveien for det andre toget løses ut når det første toget er ute av felles sporavsnitt og har belagt siste sporavsnitt i togveien. Avhengig av (få) antall signaler og sporfelter kan det ofte være nok at første tog er ute av felles sporfelt og med første aksel har belagt sporfelt etter (i kjøreretningen) signal i motsatt retning.

Se Teknisk regelverk kapittel 2 i [31] om sporavsnitt og 2.1.3 i [33] om utløsning av togveier.

I Figur 137 er forløpet skissert for konvensjonelle signaler med en antakelse om at det bare er ett sporavsnitt etter signal i motsatt retning, slik at togvei kan løses ut så snart felles sporavsnitt er fritt.



Figur 137. Tidsbelegg ved kryssende togveier.

Når tog 1 passerer A utløses togvei for tog 2 som da kjører fra siktpunkt til forsignal til B. Når tog 2 passerer C utløses togvei for tog 3 som kjører fra siktpunkt til forsignal til D.

Togfølgetid målt ved D er da lik $T_{f,D} = T_{f12,DC} + T_{f23,CD}$.

De enkelte togfølgetidene $T_{f12,DC}$ og $T_{f23,CD}$ beregnes ut fra avstander mellom signaler, toglengder og hastigheter. Det må også inkluderes tid for å løse ut togveier og å sette neste togvei.

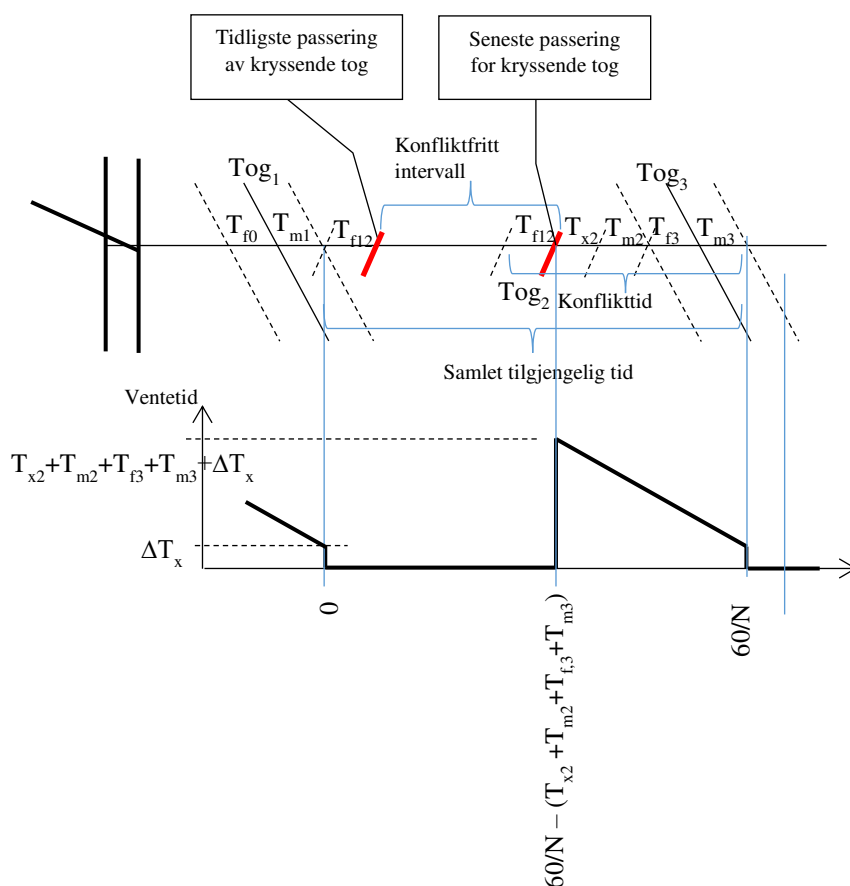
Vedlegg 3. Avgrening i plan

8.7 Ventetider

Hvis kryssing treffer i en stor nok åpen tidsluke er det ikke behov for å vente. Hvis ideell kryssing derimot er i en periode i der sporet er opptatt eller reservert av tog rett fram vil det bli en ventetid som varierer med tidspunktet for ønsket kryssing.

For å beskrive ventetiden tas det utgangspunkt i passeringen av selve toget i avgreningen. Maks ventetid oppstår når det kryssende toget akkurat *ikke* rekker å krysse over. Det må da vente i tiden $T_f + T_m$ pluss et tillegg fordi kryssingstiden blir lengre når det startes fra stopp eller lavere hastighet enn ved grønt forsignal. Ventetiden er da $T_f + T_m + \Delta T_x$.

Ventetidsfunksjonen blir som vist i Figur 138.



Figur 138. Ventetid ved avgrening med ventespor.

Kommer toget rett etter siste mulige tidspunkt for å passere i fart er det for sent å krysse når toget er ved ventesporet. Det må da vente til etter at tog i motsatt retning har kjørt forbi. Hvis ikke toget selv eller tog i motsatt retning er forsinket kan det muligvis kjøre over allikevel, men det kan ikke planlegges etter dette. Ventetiden er i gjennomsnitt lik:

$$E(T_{vente}) = \frac{N}{60} \left(\frac{1}{2} \left((T_{x2} + T_{m2} + T_{f3} + T_{m3} + \Delta T_x) + (\Delta T_x) \right) * (T_{x2} + T_{m2} + T_{f3} + T_{m3}) \right)$$

Eksempel på beregning av forventet ventetid

$N=3$, $T_{f12}=2$, $T_{x2}=2$, $\Delta T_{x2}=0,5$, $T_{m2}=3$, $T_{f3}=2$ og $T_{m3}=3$.

$$E(T_{vente}) = \frac{3}{60} \left(\frac{1}{2} \left((2 + 3 + 2 + 3 + 0,5) + (0,5) \right) * (2 + 3 + 2 + 3) \right) = 2,75 \text{ min}$$

Hvis intervallet mellom tog er for kort til at det kan krysses i fart må det alltid ventes.

En forutsetning for at beregningen skal gjelde er at det er plass til å krysse motstrøms mellom togene som kjører rett fram, dvs. at

$$60/N - (T_{f3} + T_{m3}) \geq T_{x2} + \Delta T_{x2} + T_{m2}$$

Dvs. at

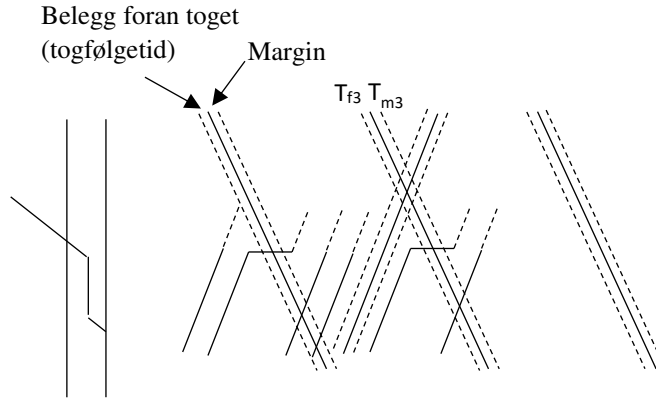
$$N \leq \text{HELTALL} \left(\frac{60}{T_{x2} + \Delta T_{x2} + T_{m2} + T_{f3} + T_{m3}} \right)$$

Eks.: $T_{f12}=2$, $T_{x2}=2$, $\Delta T_{x2}=0,5$, $T_{m2}=3$, $T_{f3}=2$ og $T_{m3}=3$, dvs. $N \leq 60/(2+0,5+3+2+3) = 5,7 \approx 5$ tog/time.

For $N \geq 6$ vil det da i eksemplet ikke være tid nok til å krysse over fra avgreningen.

8.8 Antall ruteleier

Antall ruteleier som kan plasseres igjennom avgreningen kan beregnes ut fra en forutsetning om at ett tog venter og den resterende tiden benyttes til tog som eventuelt kan kjøre rett igjennom ventesporet uten å stoppe, slik som illustrert i Figur 139.



Figur 139. Kjøring av tog i puljer i avgrening med ventespor.

Det er ikke gitt at det er hensiktsmessig å utnytte alle ruteleier til kjøring av tog.

Et tog som krysser etter å ha ventet belegger sporet i tiden $T_{x2} + \Delta T_{x2} + T_{m2}$. Tiden som er tilgjengelig for etterfølgende tog rett igjennom er da lik

$$T_{rett\ igjennom} = \frac{60}{N} - (T_{f3} + T_{m3}) - (T_{x2} + \Delta T_{x2} + T_{m2})$$

Tog som kjører rett igjennom belegger tiden $MAX\{T_{f22}; T_{x2}\} + T_{m22}$. Hvis det er tid nok til etterfølgende tog er dett antallet lik:

$$n_{etterflg.igjennom} \leq HELTALL \left(\frac{\frac{60}{N} - (T_{f3} + T_{m3}) - (T_{x2} + \Delta T_{x2} + T_{m2})}{MAX\{T_{f22}; T_{x2}\} + T_{m22}} \right)$$

I hver periode er det i tillegg ett tog som venter, men også ett tog som skal rett fram i samme retning og det må trekkes fra. Samlet antall tog per periode er lik:

$$n_{periode} \leq HELTALL \left(\frac{\frac{60}{N} - (T_{f3} + T_{m3}) - (T_{x2} + \Delta T_{x2} + T_{m2})}{MAX\{T_{f22}; T_{x2}\} + T_{m22}} \right)$$

Samlet antall tog per time er lik $n_{time} = N * n_{periode}$.

Eksempel

$N=3$, $T_{f12}=2$, $T_{x2}=2$, $\Delta T_{x2}=0,5$, $T_{m2}=3$, $T_{f3}=2$ og $T_{m3}=3$, $T_{f22}=2$, $T_{m22}=3$:

Med $N=3$ fås:

$$n_{periode\ max} = HELTALL \left(\frac{\frac{60}{3} - (2 + 3) - (2 + 0,5 + 3)}{MAX\{2; 2\} + 3} \right) = 1$$

$$n_{time\ max} = 3 * 1 = 3$$

Hvis $N=4$ fås at

$$n_{periode\ max} = HELTALL \left(\frac{\frac{60}{4} - (2 + 3) - (2 + 0,5 + 3)}{MAX\{2; 2\} + 3} \right) = 0$$

$$n_{time\ max} = 4 * 0 = 0$$

8.9 Oppsummering

I Tabell 47 er det vist ventetid ved ulikt antall tog rett fram i sporet. $T_{f3}=2$, $T_{m3}=3$, $T_{x2}=2$, $\Delta T_{x2}=0,5$, $T_{m2}=3$.

Tabell 47. Ventetid i avgrening med ventespor.

N rett fram (tog/time/retning)	E(T_vente) (minutt)
1	0,9
2	1,8
3	2,8
4	3,7
5	4,6
6	Kan ikke krysse

Tabell 48 viser ventetiden ved varierende forutsetninger om margin og togfølgetider.

Tabell 48. Ventetid ved varierende forutsetninger.

	$T_{f3}=2, T_{m3}=3,$ $T_{x2}=2, \Delta T_{x2}=0,5, T_{m2}=3$		$T_{f3}=1, T_{m3}=3, T_{x2}=1$ $\Delta T_{x2}=0,5, T_{m2}=3$		$T_{f3}=1, T_{m3}=2, T_{x2}=1$ $\Delta T_{x2}=0,5, T_{m2}=2$	
N rett fram (tog/time/retn ing)	E(T_vente) (minutt)	Maksimalt antall tog per time i avgrening	E(T_vente) (minutt)	Maksimalt antall tog per time i avgrening	E(T_vente) (minutt)	Maksimal t antall tog per time i avgrening
1	0,9	10	0,6	11	0,4	11
2	1,8	8	1,2	8	0,7	10
3	2,8	6	1,8	9	1,1	9
4	3,7	4	2,4	8	1,4	8
5	4,6	5	3,0	5	1,8	5
6	Kan ikke krysse	0	3,6	6	2,1	6
7	Kan ikke krysse	0	4,2	7	2,5	7
8	Kan ikke krysse	0	Kan ikke krysse	0	2,8	8
9	Kan ikke krysse	0	Kan ikke krysse	0	3,2	9
10	Kan ikke krysse	0	Kan ikke krysse	0	Kan ikke krysse	0

Hvis marginen mellom tog over avgreningen reduseres kan antallet øke, som det framgår av Tabell 48, men siden det da stilles større krav til rettidig ankomst i forbindelse med togene som skal gjennom avgreningen er det en grense for hva som er rimelig å redusere marginen til. Det synes ikke rimelig å anta at det er nok med 1 minutts margin mellom tog som kommer fra linjen og skal kjøre i avgrening. En togfølgetid på ca. 2 minutter og en margin på ca. 3 minutter virker mest rimelig å anta hvis ikke det er kjent hva disse tidene er.

I ingen av tilfellene virker forventet ventetid avskrekkende lang når det er tale om et bevisst design som tillater venting. Derimot er muligheten for kryssing begrenset ved høye togantall rett fram gjennom hovedsporet.

Vedlegg 4. Definisjoner

Stikkord	Definisjon
Avgangsprosedyre	Handler som utføres av ombordansvarlig og lokfører. Medfører ekstra tidsbruk mellom ankomst og avgang for to tog som krysser.
Avgreningsstasjon	Stasjon med tre eller flere tilstøtende banestrekninger (typisk en gjennomgående bane og en avgrenende). For eksempel Ski stasjon.
Avsnitt	Betegnelse på del av banestrekning i forhold til kapasitet. Avsnitt med lengst kjøretid dimensjonerer kapasitet på enkeltspor.
Bane	Administrativ inndeling av det nasjonale jernbanenettet, beskrevet med to endepunkter og gjelder strekningen mellom dem. F.eks. Bergensbanen, som har endepunkter Bergen og Hønefoss, eller Randsfjordbanen med endepunkter Hokksund og Hønefoss.
Banekonsept	Et banekonsept beskriver kombinasjon av infrastruktur og togtrafikk, i et avgrenset område bestående av én eller flere banestrekninger. Beskriver hvilket togtilbud som tilbys på ulike banestrekninger for å dekke etterspørselen i markedet. Et banekonsept bør utformes så tilbudskonseptet i sum blir best mulig, dvs. at infrastrukturen utnyttes best mulig ut fra hastighetsprofiler med tanke på ønsket type trafikk (stoppmønster og gjennomsnittshastighet).
Basiskjøretid	Teoretisk kjøretid mellom to punkter + grunntillegg + minste oppholdstid (uten margin).
Beregningsgrunnlag	Standardverdier for målepunkt i infrastruktur og tog, slakk, påslag, adhesjonsforhold tunnelfaktorer, motorforhold, mm. som brukes ved beregning av teoretisk og praktisk kjøretid. Også kalt → <i>Kjøretidsstandard</i> .
Blokkstrekning	Strekning som er avgrenset av to nabostasjoner, to naboblokkposter eller en stasjon og en naboblokkpost på strekning med fjernstyring. På strekning uten fjernstyring er blokkstrekningen avgrenset av de to nærmeste stasjonene som er betjent.

Stikkord	Definisjon
Det sentrale område	Brukes ifm. markedsbeskrivelse av lokal- og regionaltrafikk: Én eller flere stasjoner i geografisk sammenheng der reisende går av i morgenrush og på i ettermiddagsrush. I det sentrale området finnes normalt også start- eller endestasjon for fjerntrafikk.
Buffertid	Tidsavstand mellom belegg av togvei eller skiftevei (→ margin).
Dimensjonerende døgn	Tilsvarende et typisk døgn som det kan tas utgangspunkt i når det skal dimensjoneres et togtilbud. Dimensjonerende døgn er som regel et typisk yrkesdøgn, det vil si et døgn hvor de fleste yrkesaktive personer er på jobb. Det vil si en dag som verken er helgedag eller helligdag og som faller utenom ferieperiodene (eks. sommer-, jule- og påskeperiodene).
Dimensjonerende retning	Den kjøreretningen på en toglinje som har størst utnyttelse mht. trafikk- og/eller transportkapasitet, i løpet av en gitt tidsenhet (ofte benyttes time). I morgenrushet er dimensjonerende retning for en gitt toglinje som regel retningen <i>mot</i> det sentrale området (for eksempel Oslo), mens det i ettermiddagsrushet vil gjelde motsatt retning.
Dimensjonerende snitt	Viser til det strekningsavsnittet på en definert strekning (for eksempel mellom to stasjoner eller på en toglinje) hvor det er høyest utnyttelse av enten trafikkapasitet (antall kjøretøy) og/eller av transportkapasitet (antall passasjerer eller godsmengder). Det dimensjonerende snittet ligger ofte mellom siste stasjon i opptaksområdet (på Østfoldbanen vestre linje tilsvarende dette Ski) og første stasjon i området hvor det er flere avstigende enn påstigende (i tilfellet ovenfor blir dette Oslo S).
Dimensjonerende time	Den timen med flest antall påstigende og/eller reisende i et geografisk område. I det sentrale området er den dimensjonerende timen vanligvis i rushtiden.
Driftsdøgn	Andel av dagen med avganger i kundedrift
Driftskonsept	Tilbudskonsept supplert med øvrig trafikk (tomtog, posisjoneringsskjøring, arbeidsmaskiner, løsløp, mm.).
Driftspause	Driftspause omfatter tidsrommet når tog ikke er i kundedrift.
Døgnfordeling	Fordeling av reisende eller tog over døgnet

Stikkord	Definisjon
Effektmål	Effektmål er et uttrykk for den direkte effekten av tiltaket, for eksempel den virkningen tiltaket skal føre til for brukerne i form av tilbudscharakteristika. Effektmålene skal være avledet av samfunns målet.
Effektpakke	Et sett infrastrukturtiltak som er nødvendig å gjennomføre for å oppnå en spesifisert tilbudsforbedring.
Endestasjon	Stasjon der en linje starter eller slutter.
Felles strekning	Strekning som betjenes av flere linjer
Fordeling av kapasitet	En infrastrukturforvalters tildeling av jernbaneinfrastrukturkapasitet
Framføringstid	Teknisk kjøretid pluss minste oppholdstid pluss samtlige tillegg (grunntillegg, robusthetstillegg, oppholdstidstillegg, kryssinger inkl. kryssingstillegg etc.). Lik (→) Rutetid
Frekvens	Antall togavganger eller -ankomster per tidsenhet.
Geografisk marked	Det geografiske markedet er delmarkert av det relevante transportmarkedet og er definert av geografiske start- og sluttområde. Eksempler for et geografisk marked er transport mellom Østfold og Oslo eller mellom Oslo og Trondheim. I et geografisk marked må det ikke nødvendigvis eksistere jernbanespor, men det kan være ønsket å etablere et togtilbud i et slikt marked gitt at det er identifisert et tilstrekkelig relevant transportmarked.
Geografisk område	Det fysiske området som dekkes av (→) Geografisk marked
Grunntillegg	Kjøretidstillegg som fanger opp mindre variasjoner i kjøretid for tog.
Halvpendel	Linje som har et geografisk marked kun på én side av det sentrale området.
Helpendel	Linje som har et geografisk marked på begge sider av det sentrale området.
Hensetting	Parkering av tog ut over det som er vanlig vending.
Hensettingsanlegg	Infrastruktur anlegg der togmateriell kan parkeres ubevoktet i driftspauser.
Hensettingsestimat	Fordeling av materiellbehovet for en linje på linjens endestasjoner basert på antatt turneringstid og linjens egenskaper.

Stikkord	Definisjon
Hensettingskonsept	Løsning for hensettingsbehovet i form av en fordeling av det estimerte behovet for hensettingsplasser på ulike hensettingsanlegg, hvor det er tatt hensyn til behovet for rasjonell drift på anleggene.
Hensettingsmodell	Fordeling av materiellbehovet på hensettingsanlegg basert på rutemodell og materiellturnering.
Holdeplass	Sted på linjen der tog stopper for passasjerutveksling, men som ikke en ➔ stasjon.
Høykapasitetsstasjoner	Stasjoner langs høykapasitetsstrekninger. Krever normalt lik stoppmønster for alle linjer på de tilstøtende strekningene. Trafikkmengden krever planfri utforming av spor for kryssende togveier.
Infrastrukturforvalter	Ethvert organ eller foretak som er ansvarlig særlig for å opprette og vedlikeholde jernbaneinfrastrukturen. Dette kan også omfatte forvaltning av systemene for styring av trafikken på infrastrukturen.
Infrastrukturkapasitet	Evnen til å framføre tog i tildelte ruteleier.
Infrastrukturmodell	Forenklet avbildning av eksisterende og planlagt infrastruktur.
Intervall	Tidsavstand mellom avganger eller mellom ankomster.
Jernbaneforetak	Ethvert offentlig eller privat foretak med lisens hvis hovedvirksomhet er transport av gods og/eller passasjerer med jernbane, der foretaket forplikter seg til å sørge for trekkraften, herunder foretak som bare sørger for trekkraften.
Jernbanenett	Hele jernbaneinfrastrukturen som eies av og/eller forvaltes av en infrastrukturforvalter.
Kapasitet	Evne til å yte. Deles typisk i transportkapasitet og trafikkapasitet, se disse.
Kapasitetsforbedringsplan	Et tiltak eller en rekke tiltak med en tidsplan for gjennomføringen som tar sikte på å avhjelpe kapasitetsbegrensningene som fører til at en del av infrastrukturen blir erklært som «overbelastet infrastruktur»

Stikkord	Definisjon
Kjøretid	Korteste, teoretiske tid for uhindret kjøring mellom to steder for en definert linje og en gitt materielltype på gitt linjevei, basert på → kjøretidsstandard. Også kalt T_0 .
Kjøretidsmål	Ønsket, maksimal kjøretid.
Kjøretidsstandard	Standardverdier for målepunkt i infrastruktur og tog, slakk, påslag, adhesjonsforhold tunnelfaktorer, motorforhold, mm. som brukes ved beregning av teoretisk og praktisk kjøretid. → Beregningsgrunnlag.
Kjøretidstillegg	Tillegg til minste tekniske kjøretid. Sikrer at forsinkelser for det enkelte toget kan reduseres fram mot neste stasjon. Kjøretidstillegg består av - grunntillegg som er en toleranse for ulik kjøreatferd og små variasjoner samt et - robusthetstillegg som dekker litt større forsinkelser
Konfliktfri ruteplan	Konfliktfri ruteplan er en ruteplan der alle tog ved uforstyrret drift kan fremføres slik at de ikke påvirker hverandre mer enn det som er planlagt for å sikre framføring (f.eks. kryssing på enkeltspor).
Konsept	Grunnleggende og retningsgivende idé. Definerte overordnede karakteristikk av leveransen som prosjektet omfatter, f.eks. grunnleggende struktur av linjer, frekvenser, lokalisering, design og grunnleggende tekniske prinsipper for utforming.
Korridor	Alle aktuelle → linjeveier mellom start- og sluttområde.
Kryssing	Møte av to tog på en stasjon på enkeltsporet strekning. Forutsetter at det ene toget kommer inn noen minutter før det andre toget for å ha sikre togveier. Ved samtidig innkjør kan togene kjøre inn samtidig.
Kryssingsspor	En stasjon med flere enn ett spor, hvor to tog kan krysse, eller et tog kan forbikjøres av et annet.
Kundedrift	Tidsrommet når togmateriellet står til disposisjon for reisende.
Kvalitetssystem for prosjekter	Samlingen av alle prosesser, rutiner, metoder og verktøy som skal benyttes til styring av prosjektvirksomheten.

Stikkord	Definisjon
Linje	Sett av like ruter med likt stoppmønster og framføringstid mellom felles utgangs- og endestasjon. Beskrives gjennom togkategori, standardtog og stoppmønster.
Linjekonsept	Strukturen i ett sett linjer som sammen betjener ett eller flere geografiske markeder.
Linjen	Strekningen mellom to stasjoner. På strekning uten fjernstyring er ubetjent stasjon en del av linjen.
Linjevei	Infrastruktur som benyttes av én linje fra utgangs- til endestasjon.
Margin	Tidsavstand mellom belegg av togvei eller skiftevei (➔ buffertid).
Markedsstopp	Stopp av tog for utveksling av passasjerer.
Materiellsestimat	Estimat for hvor mange togsett som trengs for å kjøre en linje.
Materiellbehovsstandard	Formel for å beregne materiellbehovet gitt togtkategori, frekvens og turneringstid.
Materiellkatalog	Oversikt over standardtogtyper.
Materiellturnering	Tilordning av togmateriell til konkrete togavganger og til hensettingsanlegg. For Jernbanedirektoratets formål involverer det ikke tilordning av konkrete "togindivider" til hver avgang, men å følge et uspesifisert togsett gjennom driftsdøgnet eller uken. Materiellturnering tar også hensyn til påsett.
Modell	Forenklet representasjon av virkeligheten.
Offentlig infrastruktur	Det nasjonale jernbanenettet som forvaltes av Bane NOR.
Oppetid	Forholdet mellom planlagte togtimer og forsinkelsestimer reg. på kode 1-6 og 92 i TIOS (infrastruktur og ytre forhold). Måles i prosent.

Stikkord	Definisjon
Oppetid mht. forsinkelse	Oppetid er i Bane NOR et mål på antall timer samlet forsinkelse, som oppstår som følge av forhold Bane NOR har ansvar for, på alle kjørte tog i forhold til planlagt total kjøretid i ruteplanen. Formelen for oppetid (<i>O</i>) i en periode er: $O = 1 - \frac{(\# \text{ forsinkelsestimer})}{(\# \text{ planlagte togtimer})}$ Målsetningen fra Samferdselsdepartementet for infrastrukturens oppetid er 99,2 % for en periode på ett år.
Oppfattet frekvens	Frekvens for reisemuligheter mellom to stasjoner, slik den oppfattes av de reisende ved enten avgang eller ankomst. Beregnes som et vektet gjennomsnitt ut fra intervallstørrelse mellom tog. Vil avvike fra den faktiske frekvensen hvis avganger eller ankomster ikke er jevnt fordelt.
Oppfattet intervall	Tidsintervall mellom reisemulighetene, slik de oppfattes av de reisende. Svarer til gjennomsnittlig tidsintervall ut fra oppfattet frekvens.
Oppfattet reisetid	Reisetid som den oppfattes av de reisende når det beregnes et vektet gjennomsnitt.
Oppfattet tilbud	Metode for å beregne oppfattet frekvens og reisetid.
Overbelastet infrastruktur	En del av en infrastruktur der etterspørselen etter infrastrukturkapasitet ikke kan dekkes fullstendig i visse perioder, selv ikke etter en samordning av de ulike søknadene om kapasitet.
Overlapp	Samtidig belegg i felles infrastrukturelement av to tog.
Privat infrastruktur	Infrastruktur som forvaltes av andre enn Bane NOR.
Prosjekt	Prosjekt kan kjennetegnes ved at det er en unik oppgave, har klare mål, er tverrfaglig, har en prosjekteier, har klare tids- og kostnadsrammer og stiller store krav til samarbeid og koordinering.
Punktlighet	Andel av kjørte tog som ankommer endestasjonen innenfor en gitt margin. Marginen er i dag 6 minutter for langdistanse- og godstog, og 4 minutter for andre tog.
Påslag	Tillegg til kjøretid for å fange kompensere forsinkelser for det enkelte toget.

Stikkord	Definisjon
Region	Område som er utenfor forstadsområde i ved en storby.
Regularitet	Andel av tog faktisk kjørte tog i forhold til antall planlagte tog (i henhold til ruteplanen). Planlagte innstillinger telles ikke med grunnlaget.
Reisetid	Sum av framføringstid og tilbringertid til og fra stasjon.
Relevant transportmarked	Markedssegmenter som egner seg for jernbanetransport, f.eks. pendlertransport, tømmertransport.
Resultatmål	Resultatmålene er funksjonelle krav til infrastrukturen, avledet av effektmål. Aktuelle indikatorer kan også være kostnad og tid for ferdig utbygging av tiltak, eventuelt supplert med andre relevante parametere.
Robust ruteplan	Robust ruteplan: (1) klarer å absorbere mindre driftsforstyrrelser uten at det oppstår nevneverdige forsinkelser, (2) som ikke i stor grad fører til forplantning av forsinkelser fra et tog til andre tog og (3) en plan der oppståtte forsinkelser raskt bygger seg ned.
Robusthetstillegg	Tillegg til kjøretid. Skal sikre at mindre forsinkelser kan tas igjen for det toget som er forsinket.
Rute	Beskrivelse av hvor et tog befinner seg på en strekning til en gitt tid.
Ruteleie	Summen av tidsintervaller som langs en strekning er reservert for kjøring av et unikt tog.
Rutemodell	Forenklet fremstilling av en fremtidig ruteplan.
Ruteplan	Beskrivelse av hvordan tog skal kjøres. Utarbeides for en periode på 0–4 år fram i tid. Data som fastlegger alle planlagte bevegelser av tog og rullende materiell på gitt, eksisterende, infrastruktur i en gitt tidsperiode.
Rutetabell	Oversikt over samlet antall avganger ved stasjoner langs en strekning.
Rutetid	Framføringstid mellom to stopp som definert i rutetabell.
Rutetilbud	Det generelle tilbudet som reisende opplever definert ut fra linjestruktur, rutetid og frekvens. Tilsvarende omtrent (➔) Tilbudskonsept, men er ikke spesifisert like omfattende.

Stikkord	Definisjon
Samfunns mål	Samfunns mål er et uttrykk for den nytte eller verdiskapning som et investeringstiltak skal føre til for samfunnet. Samfunns målet skal vise eiers intensjon og ambisjon med tiltaket.
Samordning	Framgangsmåte der infrastrukturforvalteren og søkerne forsøker å finne en løsning på situasjoner der det finnes innbyrdes motstridende søknader om infrastrukturkapasitet.
Samtidig innkjør	To tog kan ved kryssing få kjøresignal samtidig for kjøring inn på en stasjon hvis sporanlegget eller et teknisk system sikrer at det ikke kan kjøres fra den ene togveien inn i den andre togveien. Vanligvis kjører et tog inn av gangen. Betegnelsen "samtidige togbevegelser" brukes også.
Sentrumsrettet trafikk	Trafikk som går i retning av sentrum i et byområde.
Setekapasitet	Antall seter som i tog samlet sett per tidsenhet passerer et snitt på en strekning. Denne definisjonen kan utvides til å inkludere hastigheten av togene slik at det beregnes setekm per tidsenhet forbi et gitt snitt.
Signalanlegg	Tekniske anlegg som blant annet kan inkludere sikringsanlegg, linjeblokk, fjernstyringsanlegg og automatisk hastighetsovervåkning.
Sikringsanlegg	Den delen av signalanlegget som sikrer at det bare kan vises kjøresignal til en togvei for ett tog om gangen. Sikringsanlegget registrerer om det er kontroll på sporvekslene, om det er rullende materiell i sporet og i sikringssonene for tog i motsatt kjøreretning m.m. Anlegget registrerer ikke om det er rullende materiell på blokkstrekningen på strekning uten fjernstyring.
Simulering	Simulering er en imitasjon av en ting sin tilstand eller en prosess. Å simulere betyr å late som, ved å gjenskape en virkelighet i et kontrollerbart miljø. Slik kan brukeren dra slutninger om hvordan forskjellige prosesser blir utført, uten at feilslutninger fører til skade på liv eller materiell.
Skift	Rullende materiell som flyttes under skifting, men ikke er definert som tog.

Stikkord	Definisjon
Skjult kryssingstap	Tillegg til kjøretid fram mot kryssing. Skyldes at tog ikke rekker å krysse på neste kryssingsspor igjen, og det legges til et tillegg til kjøretiden for at ståtid på kryssingsstasjon ikke skal bli for lang i forbindelse med en kryssing.
Standarddøgnfordeling etterspørsel/togavganger	Antatt fordeling av reisende eller tog over døgnet. Benyttes dersom den faktiske fordelingen ikke er kjent.
Standard hensettingsbehov	Formel for å tilordne materiell for en linje til endestasjonene, basert på linjens egenskaper.
Standardkapasitet	Standardkapasitet kan oppgis som antall tog pr. retning. For de ulike delene av jernbanenettet skal det ideelt sett angis hvilken standard infrastrukturen har, og sammen med blandingsforholdet av de enkelte togkategoriene vil det kunne gi standardkapasiteten.
Standardtog	Et tog som tilfredsstiller krav/egenskaper av en standardtogtype.
Standardtogtype	Sett av tekniske egenskaper som beskriver rullende materiell som legges til grunn for infrastrukturdimensjonering.
Startstasjon/utgangsstasjon	Den stasjon der en linje starter.
Stasjon	Område på banestrekning avgrenset av en eller flere stasjonsgrenser, der utkjørhovedsignal på strekning med fjernstyring eller der togmelding på strekning uten fjernstyring, viser om neste blokkstrekning er klar for tog. På stasjoner kan det være plattformer for av- og påstigning.
Stoppested	Sted der tog stopper for passasjerutveksling. Stedet kan være en holdeplass eller en jernbaneteknisk stasjon.
Stoppmønster	Beskriver hvilke stasjoner en linje betjener.
Strategisk ruteplan	Ruteplan som utarbeides for å identifisere infrastrukturbehov for en periode 4–15 år fram i tid. Omfatter hele driftskonseptet, men ikke togbevegelser utover dette (løsløp, arbeidsmaskiner etc.).
Strategiske utredninger	Utredning av temaer for utvikling av jernbanen (strekningsvise utviklingsplaner, godsstrategi mv), teknologiske strategier mv.

Stikkord	Definisjon
Strekning	Infrastrukturen mellom to punkter. En strekning avgrenses av enten utgangsstasjoner, endestasjoner eller baneforgreninger.
Strekningsvise utviklingsplaner	Plan for utvikling av tilbud og infrastruktur på en jernbanestrekning.
Teknisk framføringstid	Minste tid et tog kan bruke på kjøring mellom to punkter
Teknisk oppetid	Tidsandel av året som infrastrukturen er tilgjengelig med ønsket funksjonalitet.
Teoretisk kjøretid	Minste, tekniske kjøretid mellom to punkter. Finnes ved stram kjøring uten tillegg, men ved begrensning av maksimal akselerasjon og retardasjon av komforthensyn.
Tilbakestillingsevne (ruteplan)	Tilbakestillingsevne er rutemodellenes evne til å bygge ned igjen forsinkelsesnivået etter større forstyrrelser eller perioder med produksjonsøkning, som rushtiden.
Tilbudskonsept	Det ønskede inntektsgivende tilbudet i et definert område, beskrives gjennom (→) linjekonsept, framføringstid, stoppmønster, frekvens og døgnfordeling kjøretider, spesifikasjon av tidsperioder for innsatstog.
Tilgjengelig infrastruktur	Relevant fungerende infrastruktur. Vil ofte fungere som referansealternativ.
Tiltaksutredning	Utredning for å vurdere ulike utbyggingskonsepter for et avgrenset tiltak som grunnlag for kommunedelplan/ teknisk hovedplan.
Tog	Trekraftkjøretøy, med eller uten vogner, som er gitt et tognummer i en rute og som skal kjøres fra et bestemt utgangssted til et bestemt ankomststed.
Togfølgetid	Den minste togfølgetiden for en strekning er den minste tidsavstanden mellom to tog slik at det andre toget på betryggende måte kan holde sin maksimale hastighet (samme hastighet som det første toget).
Togkategori	En togkategori har et sett standard parametere for bl.a. kjøredynamiske egenskaper som er tilpasset det typiske kjøre- og stoppmønsteret.
Togvei	Spor som er bestemt for det enkelte togs kjøring på en stasjon og/eller på linjen.

Stikkord	Definisjon
Toleransegrenser	Definerte frihetsgrader innenfor kostnad, tid og omfang for henholdsvis prosjekteier og prosjektleder.
Trafikkapasitet	Antall tog som per tidsenhet passerer et snitt på en strekning. Definisjonen tar bare hensyn til <i>antall</i> tog og ikke togenes hastighet.
Transportkapasitet	Maksimal mengde personer/gods som for en gitt strekning per tidsenhet kan passere et snitt på en strekning.
Transportkapasitetsmål	Ønsket antall enheter (reisende, tonn, containere) som det skal være mulig å transportere i et → geografisk marked pr. tidsenhet (dim. time, døgn, år). Del av samfunns mål.
Transportkorridor	En transportåre som binder sammen regioner og sentrale strøk nasjonalt og/eller internasjonalt. En transportkorridor kan omfatte alle de fire transportformene sjø, luft, vei og bane. Hensikten er bl.a. at det skal være mulig å foreta vurderinger på tvers av transportsektorene.
Transportmarked	Transportmarked er det økonomiske stedet tilbud og etterspørsel av transporttjenester møtes.
t/t ₀	Forhold mellom faktisk framføringstid og minste framføringstid for et tog
Turneringstid	Den tiden det tar for et togsett å kjøre et par av togavganger tur/retur for en linje og være klar igjen til å gjennomføre et nytt par togavganger.
Underveisstasjon	Stasjoner på en linje mellom endestasjoner.
Underveistrafikk	Trafikk mellom to stasjoner innom samme geografiske marked.
Vendespor	Spor på stasjon som brukes til at togmateriell kjøres bort fra plattform for å skifte kjøreretning etter endt togtur, slik at materiellet ikke sperrer for annen togtrafikk og slik at det senere kan forflyttes til det sporet hvor neste avgang i motsatt kjøreretning skal kjøres fra.
Vending, direkte	Betjening av direkte etterfølgende togtur etter endt togtur og skiftet kjøreretning.

Stikkord	Definisjon
Ventetid	Tid mellom ønsket avreisetidspunkt og faktisk avreisetidspunkt, eller tid mellom ankomsttidspunkt og ønsket ankomsttidspunkt. I gjennomsnitt for de reisende er ventetiden den halve verdien av tidsintervallet mellom togavganger eller togankomster.
Verksted	Infrastrukturanlegg hvor det kan utføres tyngre vedlikehold av togmateriell.
Øvrig trafikk	Tomtog, posisjoneringskjøring, arbeidsmaskiner, løslok, o.l.