



Jernbane-
direktoratet

Trenklin versjon 3.3

Dokumentasjon og brukerveiledning

Dato: 11.05.2026

Innhold

1	Innledning.....	4
1.1	Nytt siden versjon 3.0.....	4
1.2	Nødvendige forkunnskaper	4
1.3	Motivasjon for modellutviklingen.....	4
1.4	Drøfting av bruksområde	5
2	Oppbygning.....	7
2.1	Metodisk oversikt.....	7
2.2	Definisjoner.....	9
2.2.1	Turbegrep, reisehensikt og segmenter	9
2.2.2	Generaliserte reisekostnader	10
2.2.3	Ventetid.....	11
2.2.4	Trengsel	14
2.2.4	Trafikantnytte.....	16
2.2.5	Takst og billettinntekter	16
2.2.6	Togprodukt, forsinkelse og bekvemmelighet.....	16
2.2.7	Bagasje	17
2.2.8	Reisehensiktsmodell og døgnfordelingsmodell	17
2.3	Inndata.....	18
2.3.1	Segmenter.....	19
2.3.2	Forutsetninger.....	20
2.3.3	Parametere	20
2.3.4	Egne døgnfordelinger.....	20
2.3.5	Bytteulemper.....	20
2.3.6	Pendlerindekser.....	21
2.3.7	Skoleindekser	21
2.3.8	Brukerstyrte døgnfordelinger.....	21
2.3.9	Etterspørsel/Turmatriser	21
2.3.10	Togmateriell.....	21
2.3.11	Takst.....	22
2.3.12	Tidstillegg.....	22
2.3.13	Avstandsmatriser.....	22
2.3.14	Rutetabeller.....	22
2.3.15	Faste relasjoner.....	23
2.3.16	Arealsoner og Areal_liste.....	23
2.3.17	Elastisitetsskalibrering.....	23
2.4	Parametere	23
2.5	Resultatutskrift	27
3	Beregningsgang.....	33
3.1	Innlesing av inndata.....	33
3.2	Døgnandeler og tur-retur turer.....	33
3.2.1	Døgnandeler	33
3.2.2	Tur-retur turer.....	34
3.2.3	Matrisebalansering.....	35
3.3	Rutetilbud og nettverk	36
3.3.1	Etablering av nettverk.....	36
3.3.2	Innledende nettverksanalyse.....	37
3.4	Reisealternativer, reisekostnader og turer	37

3.4.1	Trinn 1: Beste veier for alle reisehensikter.....	38
3.4.2	Trinn2: Fordeling av turer på alternativer.....	38
3.4.3	Trinn 3: Fordeling av turer i nettverket	40
3.4.4	Trinn 4: Beregning av trengsel.....	42
3.4.5	Trinn 5: Måling av iterasjonsprosessen	42
3.4.6	Trinn 6: Beregning av GK og fastsettelse av beregningstype for nye turer.....	44
3.4.7	Trinn 7: Nye turer	45
3.4.8	Oppsummering av iterasjonsprosessen	46
4	Bruerveiledning	48
4.1	Oppsett av beregning.....	48
4.2	Etablering av dagens situasjon, kalibrering og validering	48
4.2.1	Datakilder	49
4.2.2	Metode.....	50
4.3	Beregning av tilbudsendringer.....	54
4.4	Beregning av etterspørselsvekst	55
4.5	Feilmeldinger og debugging.....	55
5	Vedlegg.....	57
5.1	Trengsel	57
5.2	Iterasjonsprosessen.....	65
5.2.1	Eksempel og metoder	66
5.2.2	Utfordringer i Trenklin	71
5.2.3	Løsning.....	72
5.3	Funksjonalitet for settbruk.....	74
5.4	Visualisering i GIS	75
6	Kjente feil og videre arbeid.....	76
7	Referanser	77
8	Liste over tabeller og figurer	78

1 Innledning

Her dokumenteres Trenklin versjon 3.3 som ble ferdigstilt desember 2025. Dokumentasjonen bygger videre på versjonen utarbeidet av Patrick Ranheim i 2017, samt ulike notater og rapporter som beskriver endringer i modellen siden den gang. Dokumentasjonen er på overordnet prinsipielt nivå, de minste detaljer må som før finnes i kildekode med kommentarer.

Dokumentasjonen er delt inn i hovedsakelig tre deler. Etter en innledning følger de tre hoveddelene:

- Oppbygning av Trenklin (kapittel 2)
- Beregningsgang (kapittel 3)
- Brukerveiledning (kapittel 4)

Oppbyggingskapittelet gir den grunnleggende oppbygningen av modellen og er ment å gi leseren et inntrykk av hva slags type modell Trenklin er og hva man kan bruke den til. Dette er også en fin bakgrunn for å se på det neste kapittelet som er mer inngående på akkurat hva som skjer i modellen og hvordan de ulike beregningene og prosedyrene fungerer. Til slutt gis noen tips til bruk av modellen.

1.1 Nytt siden versjon 3.0

Forrige versjon av denne rapporten dokumenterte versjon 3.0. Siden den gang har Trenklin blitt oppdatert til versjon 3.1, 3.2 og nå 3.3. Det er gjort en rekke endringer knyttet til inndata, Trenklins funksjonalitet, og utskrift av resultater. De viktigste endringene er mulighet for å modellere ulike togprodukt, mulighet for å beregne likevekt for fritid og forretningsreiser, mulighet for å differensiere på ulike segmentmodeller og undersegmenter, utvidelse av antallet reisehensikter i døgnfordelingen, oppdatering av verdsetting av ventetid og øvrige reisekomponenter, oppdatering av reisehensiktfordeling og døgnfordelinger, endring fra separat pris- og GJT elasticitet, til én felles GK elasticitet og mulighet for å inkludere bagasje. Det er også gjennomført en del feilrettinger. I tillegg til modellen selv, er det utviklet en del tilleggsfunksjonalitet knyttet til etablering av inndata, og uttak av resultater.

1.2 Nødvendige forkunnskaper

For å forstå modellen og dens hensikt bør man ha en viss kunnskap om samfunnsøkonomisk teori anvendt på transportproblemstillinger. Konsepter som generalisert reisekostnad og trafikanthytte bør være forstått. Det er også en fordel med kunnskaper om transportmodeller. Til bruk er det en fordel med kunnskaper om Excel og VBA¹, men det må nevnes at modellen fint kan kjøres uten å kjenne til VBA.

1.3 Motivasjon for modellutviklingen

Trenklin ble utviklet internt i Jernbaneverket fra år 2013. Det er ulike ting som har motivert utviklingen av modellen. Det viktigste har vært å ha en tilgjengelig modell som kan beregne trafikanthytte og andre sentrale nytte-kost størrelser som følge av endringer i togtilbudet raskt og nøyaktig. Modellen vil også kunne brukes til å synliggjøre kapasitet- og trengselsproblematikk knyttet til ulike ruteplaner.

¹ Visual Basic for Applications.

Det har vært viktig å ha en modell som kan tas i bruk på kort varsel. Ved å utvikle modellen internt beholdes kontrollen på selve modellen og bruken av den. Andre hensyn ved utviklingen har vært at modellen skal være rimelig enkel å bruke. Dette blir søkt oppfylt ved hjelp av brukerveiledninger og dokumentasjon. Brukergrensesnittet i modellen er i Microsoft Excel, noe som i seg selv gjør brukerterskelen lav.

Trengsel har også vært en vesentlig del av motivasjonen bak utviklingen. Det har vært et mål at modellens resultatuttak skal vise kapasitetsutnyttelse og trengsel ved ulike togtilbud, på en ryddig og informativ måte. Videre at trengsel skal ha betydning for valg av togrute og for om man i det hele tatt velger å reise med toget. Trengsel skal også verdsettes slik at nytten trafikantene opplever som følge av bedre eller dårligere plass og komfort kan verdsettes i nyttekostnadsanalyser.

1.4 Drøfting av bruksområde

Som alle modeller egner Trenklin seg kun til noen typer analyser. Trenklin er for det første en elastisitetsmodell. En tommelfingerregel for bruk av disse som noen ganger benyttes er at de ikke bør brukes om forventet endring i generalisert reisekostnad overstiger 30 %. Dette kan være et greit utgangspunkt, men bruken må vurderes fra analyse til analyse. Om vi ser Trenklin opp mot de strategiske firetrinnsmodellene som transportetatene har tilgjengelig, er det klart at Trenklin er en mye mer begrenset modell enn disse systemene. Trenklin har ingen andre transportformer enn tog tilgjengelig, men er til gjengjeld mye mer detaljert på togtilbudet. En annen viktig forskjell er at Trenklin er en inkrementell modell, hvor referansetrafikken gis eksogent, mens de nasjonale modellene er turgenererende modeller hvor all trafikk skapes i modellen, både for referanse og tiltak. Det betyr også at i Trenklin er destinasjonsvalget gitt.

Trenklin er allikevel en del mer sofistikert enn de enkleste elastisitetsberegningene. Det er vesentlig at trafikantnytte og andre resultater beregnes per relasjon og ikke for en strekning samlet. Algoritmen for å beregne generaliserte reisekostnader per relasjon er også skreddersydd for evaluering av rutetabeller. Det er også lagt stor vekt på at algoritmene skal være teoretisk konsistente og regne riktige kostnadsbesparelser for alle relasjoner i modellen, uansett tilbudsending.

Det at Trenklin er en inkrementell modell, gjør at man med riktig inndata, vil ha god kontroll på referansetrafikken. Siden det er slik at referansetrafikken er det største bidraget til trafikantnytte for små tiltak, tilsier dette at modellen vil gi et godt estimat på trafikantnytte av mindre tiltak. Andre sentrale nytte-kost størrelser som økning i billettinntekter vil fremdeles avhenge av den trafikale effekten av tiltaket.

En annen viktig egenskap ved Trenklin i forhold til en del andre modeller og tilnærminger er at samme parameterverdier benyttes i både adferds- og evalueringsdelen av modellen. Det vil si at hvis tidsverdien er 60 kroner for ombordtid i nytte- kostanalysen, så velger også de reisende alternativ som om de hadde en tidsverdi på 60 kroner når de vurderer alternativet opp mot andre alternativ. Forskjeller i parameterverdier i adferd og evaluering kan i verste fall føre til fortegnsfeil i enkelte deler av trafikantnytteberegningen.

Når modellen er inkrementell og baserer seg på gitt togtrafikk i referanse, gir dette særlig noen utfordringer knyttet til nedleggelse av stasjoner eller opprettelse av nye stasjoner. Trenklin fordrer

i utgangspunktet at man har samme struktur på tognettverket før og etter tiltaket. Hvis tiltaket gjør at reisende kan forventes å bytte stasjon, er dette noe som ikke er helt rett frem å håndtere med modellen. Slike effekter ivaretas gjerne best i en bredere nettverksmodell med flere reisemidler.

Modellens mulighet for separat beskrivelse av to ulike togprodukter, gjør den egnet til å analysere de reisendes valg på tvers av konkurrerende operatører. Dette fordrer dog at man har en god beskrivelse av de reisendes preferanser, og de ulike tilbudenes egenskaper og kvaliteter.

Som følge av modellens oppbygning, det teoretiske grunnlaget, og undersøkelsene om de reisendes betalingsvillighet som ligger til grunn, er Trenklin uegnet til å analysere trengselseffekter for fjerntog produkter. Dette knytter seg i stor grad til operatørenes mulighet for dynamisk prising, at billetten gjelder for ett spesifikt sete, og at større grupper har mulighet til å bestille seter samlet, samt plasser med ulik komfort.

Trenklin er blitt vurdert og tatt i bruk av både Jernbanedirektoratet og eksterne miljøer i ulike utredninger. TØI rapport 1534/2016 (Stefan Flügel N. H., 2016) er den grundigste eksterne gjennomgangen av modellen (versjon 2). Rapporten konkluderer med at Trenklin kan være et godt verktøy for rutemodellprosjekter, og har ellers inngående vurderinger av begrensninger og muligheter for anvendelsesområde. Modellens versjon 2 er også nevnt i TØI Rapport 1551/2017 om trengsel om bord av Harald Minken (Minken, 2017), der med flere problematiseringer av virkemåte og forutsetninger for modellen. Modellen ble tatt i bruk ved ekstern kvalitetssikring av prosjektet «Planfri påkobling Østre Linje» (Glenn Steenberg, 2016) og ble vidt brukt i analysegrunnlaget for Nasjonal Transportplan 2018-2029, Nasjonal Transportplan 2022-2033 og Nasjonal Transportplan 2025-2036.

Oppsummert kan man si at Trenklin egner seg godt til tilbudsendringer som forventes å gi mindre total trafikal endring (antall togturer). Men modellen bør også kunne brukes på endringer i tilbudet av en viss størrelse. For helt nye togtilbud eller store endringer i tilbudet er modellen i utgangspunktet uegnet, i hvert fall som eneste modell brukt i analysen. Ved vurderingen om man kan bruke Trenklin eller andre modeller til analysen må man også trekke inn viktigheten av nøyaktig trafikantnytte og effekter av trengsel og man må se hen til hvilke andre modeller som er tilgjengelige og naturligvis de ressurser som er til rådighet for analysen. Trenklin kan brukes i kombinasjon med andre modeller. Modellvalget er selvfølgelig alltid en del av analysearbeidet.

2 Oppbygning

Dette kapittelet går gjennom ulike begrep og definisjoner i modellen, samt modellens oppbygning av inndata, parameteroppsett og resultater. Kapittelet kan benyttes sammen med kapittel 4 for en innføring i hvordan man kjører modellen.

2.1 Metodisk oversikt

Trenklin følger en etablert metodikk for transportanalyse, hvor turmatriser legges ut på et nettverk, og resultater beregnes både på matrise- og lenkenivå. Hovedforskjellen fra en tradisjonell multimodal firetrinnsmodell ligger i hvilke typer matriser som benyttes, og hvordan nettverket er definert.

I motsetning til sonebaserte turmatriser, opererer Trenklin med stasjon-til-stasjon-matriser for togreiser. Nettverket representerer ikke fysiske lenker som vei eller skinnegang, men bygger direkte på rutetabeller med full detaljgrad, (se kapittel 3.3).

Et sentralt prinsipp i Trenklin er at etterspørselen er gitt som inndata. Det vil si at turmatriser mellom hvert stasjonspar legges inn på forhånd og danner grunnlaget for antall reiser i modellen. Dette skiller seg fra turgenererende modeller, der etterspørselen skapes internt i modellen.

Basert på rutetilbudet beregner modellen generaliserte reisekostnader for alle stasjonspar. Disse kostnadene danner grunnlag for videre beregning av ny etterspørsel ved hjelp av elastisiteter. Trafikantnytte beregnes deretter ved bruk av trapesformelen, og endringer i tilbudet kan analyseres gjennom sammenligning av ulike scenarier.

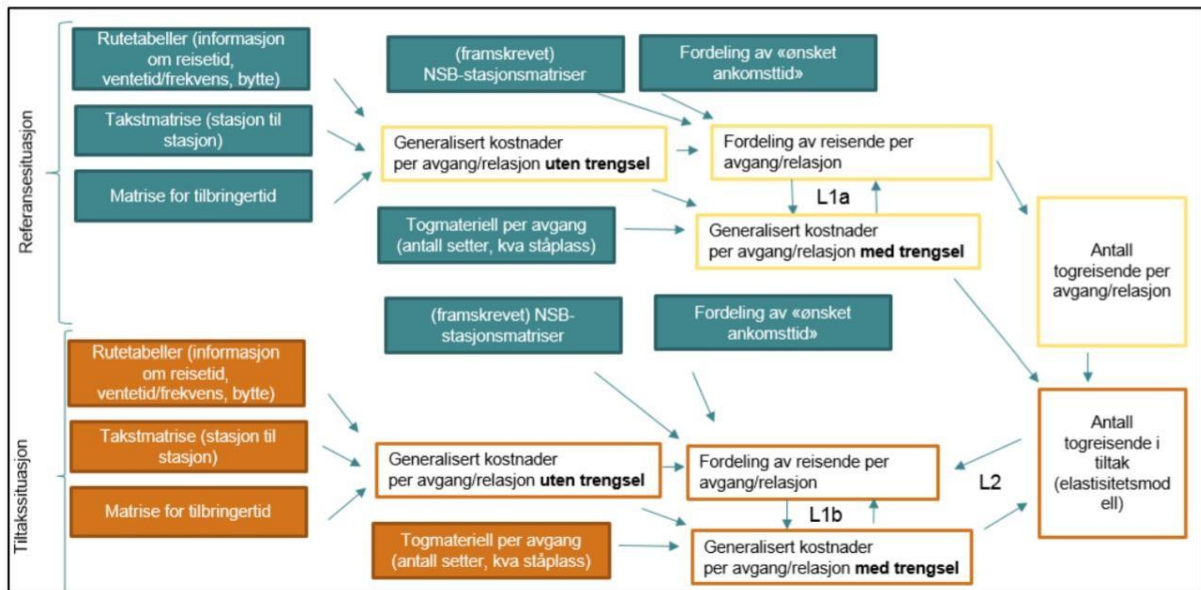
Den overordnede oppbygningen av Trenklin kan oppsummeres slik:

- Inndata i form av stasjon-til-stasjon-matriser.
- Togtilbud definert gjennom detaljerte rutetabeller.
- Algoritmer for beregning av reisekostnader, inkludert ventetid, ombordtid, trengsel, m.m.
- Etterspørselsendringer beregnet ved bruk av elastisiteter.
- Resultater i form av stasjon-til-stasjon-matriser.
- Resultater fordelt på linjer og avganger.
- Sammenstilte og oppsummerende resultater.

Trenklin er utviklet for å analysere to togtilbud samtidig. Modellen beregner resultater både for hvert av tilbudene isolert, og for forskjellene mellom dem – eksempelvis trafikantnytte som følge av endret tilbud.

Typisk bruk innebærer at det første alternativet representerer en referansesituasjon, mens det andre beskriver en endring som ønskes analysert. Det er imidlertid også mulig å bruke modellen for kun ett enkelt tilbud, dersom det er ønskelig. Uansett brukstilfelle er det viktig å sikre at etterspørselen som legges inn som referanse, er konsistent med det rutetilbudet som benyttes som referansegrunnlag.

Figur 1 er hentet fra (Stefan Flügel N. H., 2016), og beskriver beregningsgangen i modellen.



Figur 1 Beregningsgang i Trenklin.

Figuren viser en todelt struktur, der referansesituasjonen presenteres øverst og tiltakssituasjonen nederst. Inndata knyttet til referansesituasjonen er markert i blått, mens tiltakssituasjonen er vist med oransje. Tilbudsdata, som rutetabeller, takstmatriser og lignende, legges inn separat for henholdsvis referanse og tiltak, avhengig av hvilke endringer i tilbudet som skal analyseres.

Turmatrisene, som danner grunnlaget for etterspørselen, er imidlertid felles for begge situasjoner. I referansesituasjonen benyttes disse direkte som modellens reisemønster, mens de i tiltakssituasjonen danner utgangspunktet for beregning av endringer i reiseomfang. Disse endringene estimeres ved hjelp av elastisiteter, basert på den opprinnelige matrisen (se kapittel 3.4.7).

Modellen må tilpasses et definert geografisk område. Dette innebærer at inndatamatrixene må tilpasses området på forhånd, og rutetabellene må klippes slik at kun relevante togtilbud inkluderes. Trafikk som passerer gjennom området, eller har start- eller slutt punkt utenfor modellområdet, kan likevel inkluderes ved hjelp av fiktive eksterntasjoner. For eksempel kan en stasjon som «Ekstern Bergensbanen» opprettes for å representere gjennomgående trafikk på Bergensbanen, uten å måtte inkludere hele jernbanenettet i modellen. Dette bidrar til å holde modellen oversiktlig og håndterbar.

Trenklin beregner turer og tilhørende resultater for én angitt tidsenhet – vanligvis et døgn, som kan være definert som virkedøgn, årsdøgn eller et annet døgnbegrep. Modellen kan også bygges for å representere årstrafikk dersom dette er mer hensiktsmessig for analysen. Uansett må både inndata og forutsetninger være konsistente med valgt tidsenhet.

Modellen opererer med tre overordnede reisehensikter: Arbeid, fritid og forretning (tjeneste). I versjon 3.3 er det mulig å bryte disse ned i undersegmenter, men ulik verdsetting av tid og forskjellige rabattfaktorer. I denne versjonen er reisehensiktene også splittet ytterligere opp når det gjelder fordeling av turer over døgnet, til sammen ni separate hensikter. Dette innebærer at det må legges inn egne turmatriser for hver av disse.

Trenklin består i praksis av to (eller flere) arbeidsbøker i Excel.

- Trenklin modellen - inneholder selve modellversjonen med alle nødvendige VBA-moduler og algoritmer. Denne filen gjennomfører beregningene og forblir normalt uendret gjennom hele analyseprosessen.
- Inndata- og resultatfil(er) – én eller flere arbeidsbøker med arkfaner tilhørende hver enkelt modellkjøring. Her legges inndata som turmatriser og tilbudsbeskrivelser inn, og resultater skrives tilbake etter beregning.

Ofte benyttes ordet «modell» om alle disse arbeidsbøkene, og som en samlebetegnelse på bruken i kombinasjon. Dette kan virke forvirrende, og man må benytte konteksten for å forstå om det er snakk om Trenklin modellversjonen, eller en modell med inndata og resultater for et spesifikt område eller beregning.

Trenklin har mulighet for å modellere to ulike togprodukt i samme tilbudsbeskrivelse. De ulike togproduktene kan tilegnes separate billettpriser, og kvaliteter ved produktet.

For å starte en modellkjøring, oppgis filbanen og filnavnet til aktuell inndatafil i arbeidsboken med Trenklin modellen. Trenklin støtter også sekvensiell kjøring av flere modellfiler, forutsatt at man angir de ulike filnavnene, og alle filene ligger i samme mappe.

Ved kjøring lastes alle inndata inn som variabler eller matriser i minnet på PC-en. Dette gjør at modellen kan arbeide raskt og effektivt med datastrukturen, uten å lese eller skrive til regnearkene underveis i beregningsprosessen. Kontakt med regnearkene skjer først etter at beregningene er fullført, når resultatene skal skrives ut. Denne tilnærmingen er viktig for å sikre rask kjøretid i Excel/VBA-miljøet.

2.2 Definisjoner

Dette delkapittelet går gjennom ulike begreper og definisjoner som benyttes i Trenklin.

2.2.1 Turbegrep, reisehensikt og segmenter

Ulike transportmodeller benytter ulike definisjoner av begrepet tur, for eksempel enkeltturer, turkjeder eller tur-retur-turer. I Trenklin er to turbegreper relevante:

- Enkelttur - én sammenhengende tur fra en stasjon til en annen, inkludert eventuelle togbytter.
- Tur-retur tur – en tur fra en stasjon til en annen (inkludert bytter), og retur til utgangsstasjonen.

Begge begrepene omfatter hele reisen med tog, fra opprinnelig stasjon til destinasjon, *med* eventuelle togbytter. Eksempelvis regnes en reise fra Lørenskog til Drammen med bytte på Oslo S som én tur, ikke to. Dette gjør at modellen gir et bedre grep om det samlede togtilbudet og at korrespondanse og byttetider blir viktig for reisekostnadene. Som følge av dette, må turmatrisene i inndata angi *helturer*, fra start- til endestasjon.

Tur-retur-funksjonaliteten gjelder for arbeidsreiser, og ble introdusert i versjon 3 av modellen, som en oppfølging av anbefalingene fra (Stefan Flügel N. H., 2016). Denne endringen forbedret modellens evne til å fange opp sammenhenger mellom tur og returtur, som for eksempel at et forbedret tilbud i morgenrushet kan gi økt etterspørsel om ettermiddagen, i motsatt retning.

På overordnet nivå benytter Trenklin tre reisehensikter:

- Arbeidsreiser – reiser til og fra arbeid, foretatt på den reisendes egen tid.
- Forretningsreiser – Reiser foretatt i arbeidsgivers tjeneste, på arbeidsgivers tid.
- Fritidsreiser – Alle øvrige reiser

Reisehensiktene skiller seg fra hverandre ved å ha forskjellig reisemønster, verdsetting av tid, og billettpris.

I versjon 3.1 ble det introdusert en mulighet for å dele de reisende inn i ulike segmentmodeller. De ulike segmentmodellene forholder seg til de samme tre overordnede reisehensiktene. Hensiktene kan imidlertid ha ulik tidskostnad, rabatt på billettpris og inndeling av undersegmenter (beskrevet under), på tvers av de ulike segmentmodellene. Hver reiserelasjon tilegnes én spesifikk segmentmodell. Eksempelvis kan inndelingen gjøres basert på reiseavstand.

For hver segmentmodell, kan hver reisehensikt deles i undersegmenter, med egne verdier for tidskostnad og rabatt på billettpris. Disse segmentene brukes primært til å representere ulik betalingsvillighet innenfor samme hensikt, og ulike billettkategorier. De deler imidlertid samme fordeling av turer over døgnet.

Uavhengig av denne inndelingen, er de tre overordnede reisehensiktene også splittet i mer detaljerte kategorier for å modellere døgnfordelingen av turer. Arbeidsreiser er delt i arbeids- og skolereiser, mens fritidsreiser er delt i seks ulike hensikter. Totalt gir dette ni reisehensikter med egne døgnprofiler. Det er ingen direkte kobling mellom denne oppsplittingen, og undersegmentene innenfor de tre opprinnelige reisehensiktene.

Turene i modellen representeres i form av en $n \times n$ matrise, per reisehensikt h , der n er antall stasjoner i modellen. Trenklin modellerer ikke turer til og fra samme stasjon, slik at vi sitter igjen med $n(n - 1)$ mulige relasjoner. For hver reisehensikt og hver relasjon (i, j) angis antall turer. Summen av antallet turer i modellen er gitt ved:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^9 Turer_h(i, j)$$

2.2.2 Generaliserte reisekostnader

I Trenklin benyttes begrepet *Generaliserte reisekostnader* om summen av alle ulempene ved reisen, vektet med aktuell tidsverdi, pluss billettkostnaden. Reisekomponentene som inngår, er:

- Ombordtid (inkludert trengsel)
- Ventetid
- Bytteventetid
- Bytteulempe
- Bekvemmelighet (Convenience)
- Forsinkelse
- Billettkostnad

Trengsel påvirker ombordtidsulempen ved at høyere trengsel gir økt ulempe. Den samlede ombordtidsulempen er dermed en funksjon av både trengsel og tidsbruken om bord. Dette beskrives nærmere i kapittel 3.4.

Ventetid er definert som differansen mellom faktisk og ønsket ankomsttidspunkt, altså et skjult ventetidsbegrep.

Bytteventetid er den faktiske tiden brukt ved et togbytte, mens bytteulempen er en fast kostnad knyttet til selve byttet, uavhengig av varighet.

Billett-kostnad representerer de reisendes gjennomsnittlige monetære kostnad ved reisen. Den tar utgangspunkt i en takst på relasjonen og en rabattfaktor.

Når reisende velger mellom ulike alternativer, vil de velge det alternativet med lavest generaliserte reisekostnader. Dette innebærer en avveining mellom ulike komponenter. Et alternativ som ligger nært ønsket ankomsttid, kan for eksempel ha høy trengsel, og dermed høy ombordtidsulempe, mens et annet alternativ med lengre ventetid kan fremstå som mer attraktivt på grunn av lavere trengsel.

De generaliserte reisekostnadene beregnes for hver relasjon og hver reisehensikt, før de aggregeres til de tre overordnede reisehensiktene og skrives ut. Reisekostnadene varierer mellom de ulike hensiktene som følge av forskjellige tidsverdier, døgnfordelinger, rabattfaktorer og trengselsfunksjoner. Summen av de generaliserte reisekostnadene i modellen er da gitt ved:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^9 Turer_h(i, j) * gk_h(i, j)$$

2.2.3 Ventetid

Et særtrekk ved Trenklin er hvordan modellen behandler ventetid. Ventetid defineres i modellen som differansen mellom faktisk og foretrukket ankomsttidspunkt, der ankomsttidspunktet er angitt av døgnfordelingskurven. Eksempelvis: Dersom en reisende ønsker å ankomme 09:40, men beste tilgjengelige alternativ ankommer 09:45, utgjør dette fem minutters ventetidsulempe.

Modeller behandler ventetid på ulike måter. En vanlig tilnærming for *åpen ventetid* er å anta at den marginale ventetidsulempen avtar med økende ventetid. Ved kort ventetid har den reisende liten fleksibilitet og må kanskje vente stående på perrongen. Ved lengre ventetid kan tiden brukes mer fleksibelt. Det samme prinsippet antas å gjelde for *skjult ventetid*: Jo større avviket mellom ønsket og faktisk ankomsttid, jo større muligheter for tilpasning. Ulempen vil likevel øke med ventetiden, men ikke lineært. Å komme 45 minutter tidligere enn ønsket er en større ulempe enn 5 minutter tidligere, men ikke ni ganger større. Ulempen øker med differansen, men på en avtakende måte.

Funksjonen for ventetid i Trenklin er gitt ved:

$$U = V * (\ln(t + k) - \ln(k)) * \frac{\text{tidsverdi}}{60}$$

Der U er ventetidsulempen, t er ventetiden som differansen mellom faktisk og ønsket ankomsttidspunkt, og k og V er konstanter. V kan tolkes som en nivå-parameter, ventetidsulempen endres proporsjonalt med endringer i V . Konstanten k har en dempende effekt på funksjonens avtakende egenskaper. Verdien på konstantene kan settes slik at modellens resultater gir greie resultater for effekter av frekvensforbedringer.

I Verdsettingsstudien 2018-2020, dokumentert i (Stefan Flügel A. H., 2020), har man estimert de reisendes betalingsvillighet for en reduksjon i ventetiden. Tabell 1 er hentet fra kapittel 5.3.3 i rapporten. Den viser de anbefalte verdiene for verdsetting av tid mellom avganger.

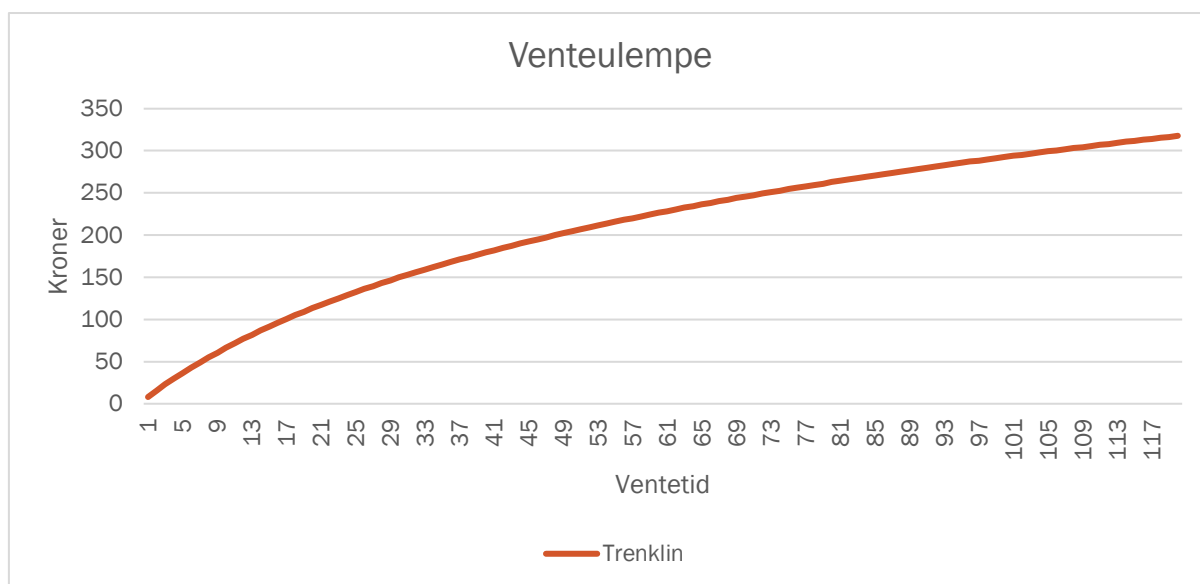
Tabell 1 Anbefalte faktorer for tid mellom avganger, relativt til reisetid om bord.

<i>Tid mellom avganger</i>	<i>Faktor per intervall</i>	<i>Faktor for generalisert kostnad</i>
0-15 min	1,07	1,07
16-30min	0,98	1,03
31-60 min	0,63	0,83
61-120 min	0,47	0,65
over 120 min	0,18	0,41

Faktorene i tabellen gjelder hele intervallet mellom avgangene, ikke ventetiden fra en ankommer stasjonen. For å kunne bruke en formel for ventetid, må faktorene regnes om. Gjennomsnittlig ventetid per reisende kan maksimalt bli halvparten av tida mellom avganger. Verdien for de korteste avgangsintervallene innebærer altså at de reisende opplever ventetid som minst to ganger så kostbart som reisetid om bord.

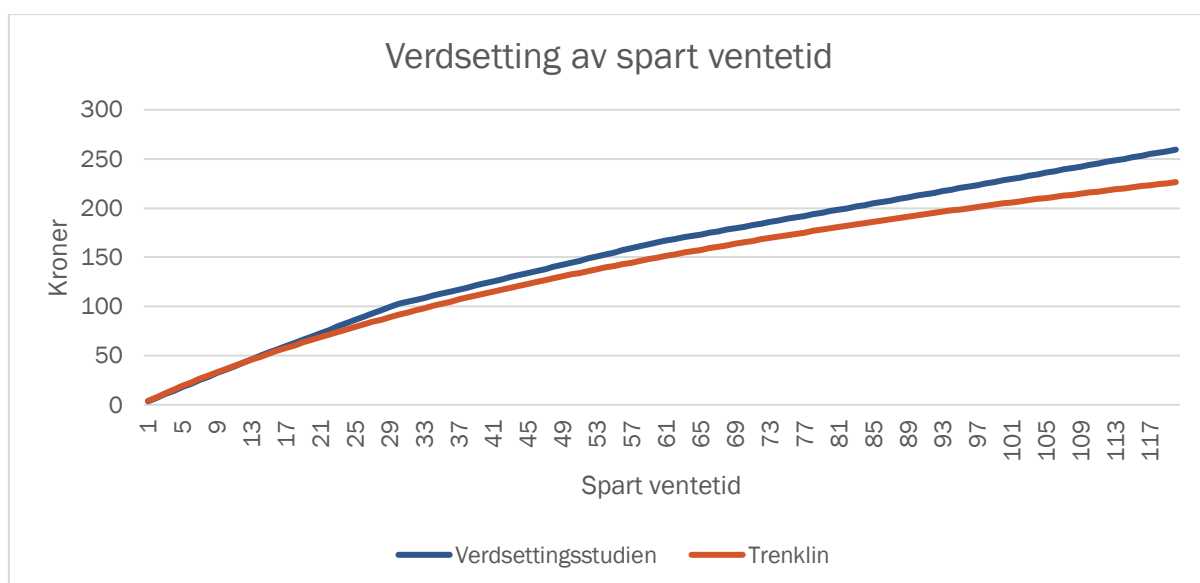
Selv om metodikken er annerledes, er det et mål at resultatene av frekvensforbedringer i Trenklin skal bli sammenlignbare med annen metodikk. Eksempelvis når man i Trenklin analyserer tiltak hvor man går fra 30 til 15 minutters intervall, er det ønskelig at trafikanthytten skal bli rimelig lik som om man gjorde endringen basert på offisielle tidsverdier. Fordelen med å bruke Trenklin er at man da kan få med nytten av mindre trengsel og andre effekter i én sammenhengende analyse. Med Trenklin vil det også være lettere å analysere mer kompliserte tilfeller; frekvens- og kapasitetsforbedringer som ikke rett frem kan analyseres med den enkle metodikken. Det bør presiseres her at i og med at Trenklin er rutetabellbasert og ikke frekvensbasert, og at de reisendes valg av avgang vil bli en avveining mellom ventetid og andre generaliserte reisekostnader blir det umulig å opprettholde akkurat samme behandling av ventetid som i andre tilnærminger. Modellen må være internt konsistent.

Som standard har vi satt $V = 98$ og $k = 20$. Figur 2 viser ventetidsulempen i Trenklin for disse verdiene av V og k . Her har vi lagt til grunn en tidsverdi på 100 kr/t.



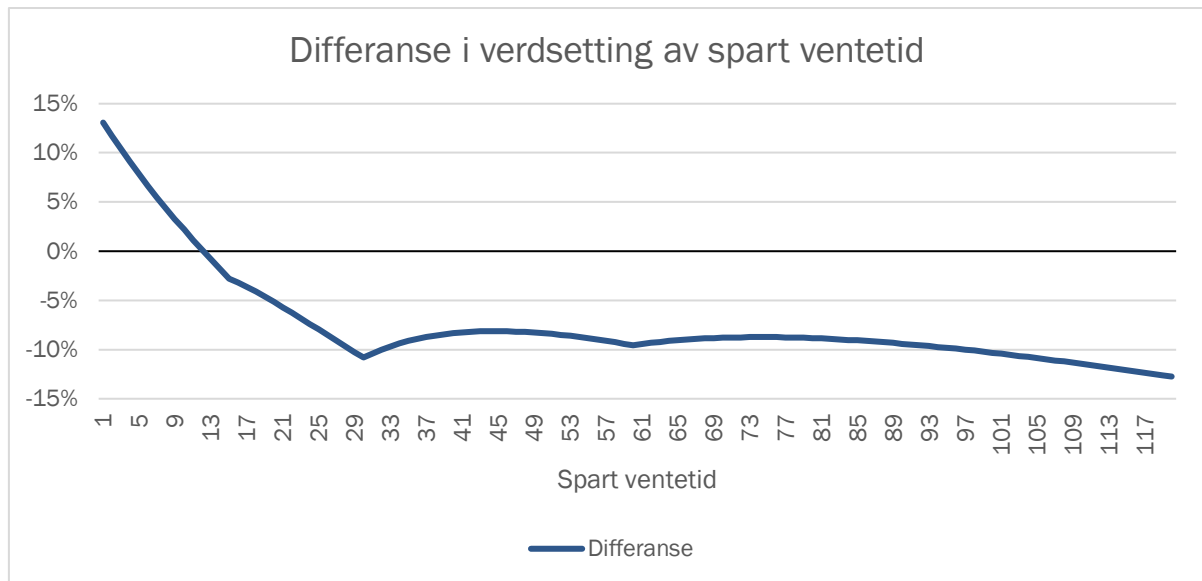
Figur 2 Kumulativ ventetidsulempe i Trenklin.

På grunn av måten Trenklin beregner venteulempe på, får vi resultatet vist i Figur 3 når vi sammenligner verdien av spart ventetid i Trenklin med verdsettingsstudien, med forutsetningene over.



Figur 3 Sammenligning av verdien av spart ventetid i Verdssettingsstudien og Trenklin.

Ved ventetider på under 13 minutter overestimerer Trenklin, med de nevnte forutsetningene, verdien av spart ventetid sammenlignet med Verdssettingsstudien. Mens for ventetider over 13 minutter underestimerer modellen verdien. Dette blir tydeligere i Figur 4.



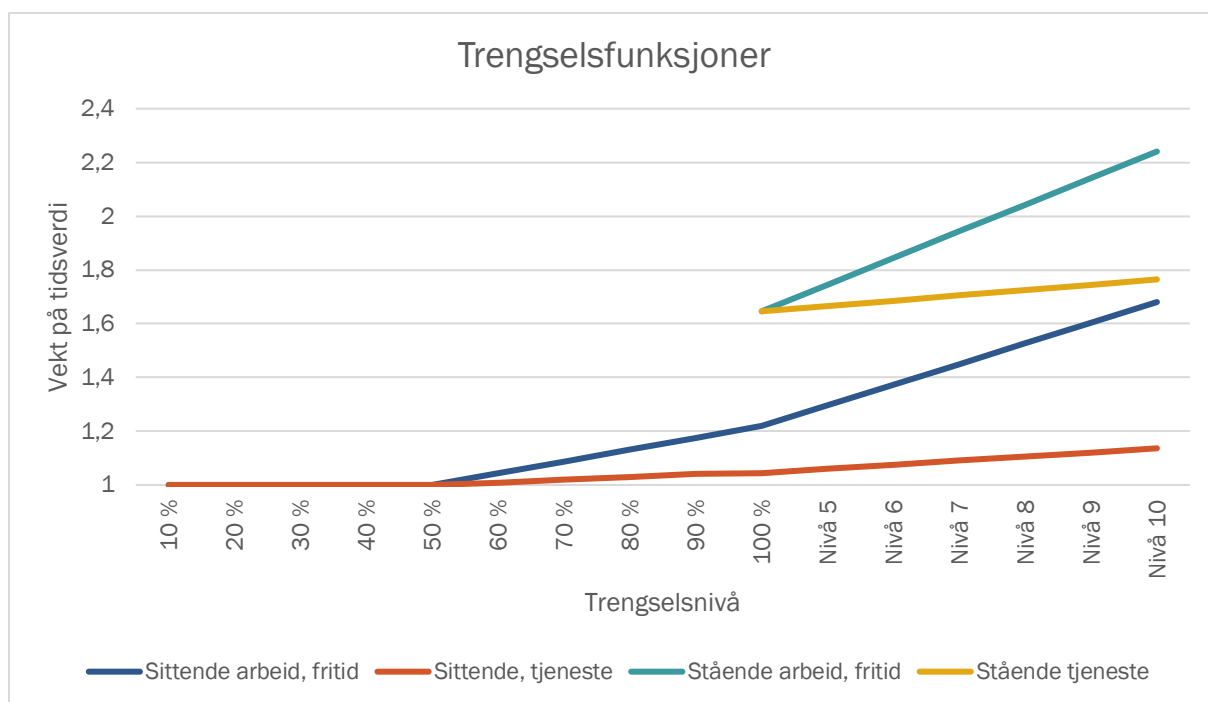
Figur 4 Relativ forskjell i verdsetting av spart ventetid mellom Verdssettingsstudien og Trenklin.

Det kan derfor være nødvendig å endre disse forutsetningene, avhengig av tilbudsendingene som skal analyseres.

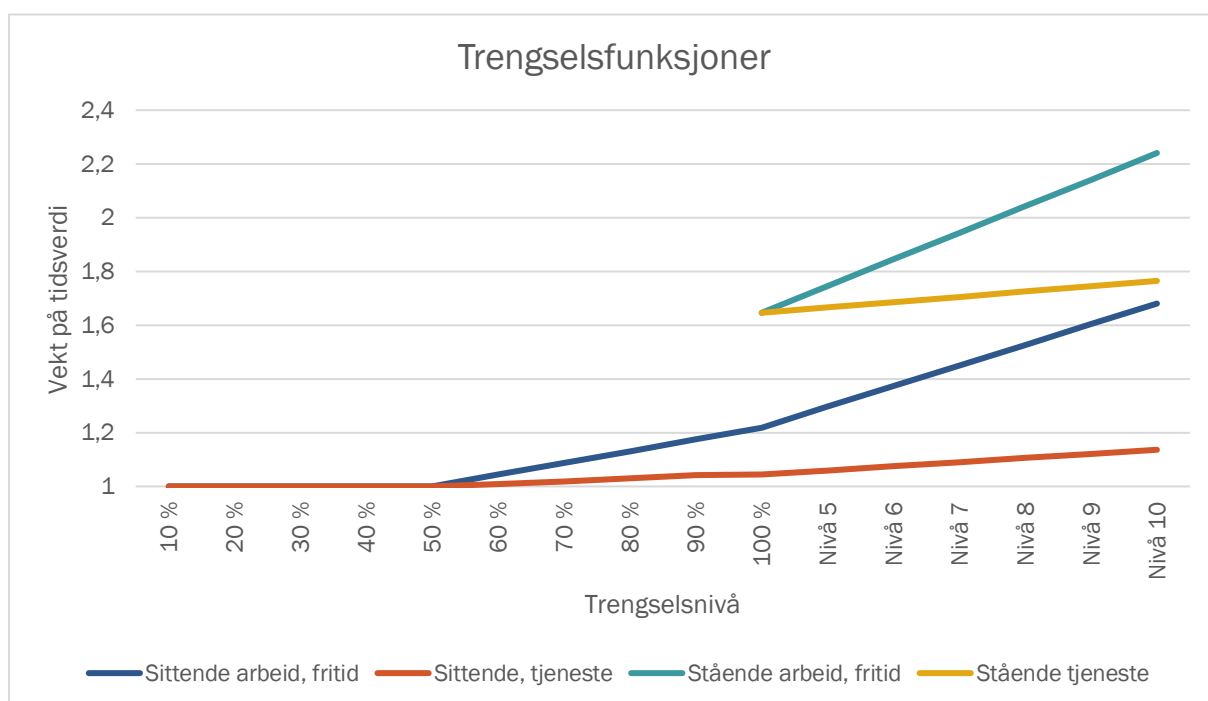
For ventetid ved bytter anbefales det i Verdssettingsstudien å benytte en faktor på 1,2 for alle intervaller. I nåværende Trenklin versjon er ikke dette implementert, og det benyttes samme ventetidsfunksjon for ventetid ved bytter, som annen ventetid.

2.2.4 Trengsel

I Trenklin beregnes trengsel som en tilleggsulempe på ombordtiden. Det vil si at de reisende opplever ombordtiden som mer belastende avhengig av hvor mange andre passasjerer som er om bord, og kapasiteten om bord på avgangen. Funksjonene som beskriver trengselskostnaden baserer seg på funn i (Stefan Flügel A. H., 2020). I alt er det fire funksjoner, fordelt på sittende og stående, og om det er en forretningsreise eller en annen reisehensikt. Parameterne i funksjonene kan justeres av brukeren i arkfanen «Parametere».



Figur 5 illustrerer vektene på ombordtid som følge av økt trengselsnivå.



Figur 5 Illustrasjon av trengselsfunksjoner.

I figuren angir de prosentvise verdiene på x-aksen utnyttelsesgraden av seter, mens «Nivå» beskrivelsene er hentet fra rapporten, der de reisende har begynt å måttet stå på Nivå 5, og Nivå 10 indikerer at det ikke er plass til flere passasjerer.

Hvilke parameter verdier som bør benyttes i beskrivelsen av trengselsfunksjonene i analysen, avhenger av blant annet av kjøretøyenes utforming, og forutsetninger rundt bagasje. Basert på telldata av passasjerer tilgjengeliggjort de senere årene, finner vi ingen avganger som oppnår like høy ombordkapasitet, som forutsatt for parameterverdiene i rapporten. Parameterverdiene fra (Stefan Flügel A. H., 2020) er utledet basert på materiell med antall ståplasser tilsvarende 6/kvm. Dersom man har materiell med en annen kapasitet, må man enten tilpasse arealet for

materiellet, eller parameterverdien i trengselsfunksjonen. Observerte data viser at det på togtype 75 er plass til totalt 595 passasjerer. Dette tilsvarer 4,5 stående per kvadratmeter. Det er svært få observasjoner med så mange passasjerer om bord, og vi antar at de reisende da har med seg lite bagasje.

Modelleringen av hvilke passasjerer som får sitteplass og hvilke passasjerer som må stå, baserer seg på et sett med antagelser:

- Alle sitteplasser blitt opptatt før noen begynner å stå.
- De stående fordeler seg over det tilgjengelige arealet, slik at ulempen av trengsel er lik over hele toget.
- De som får sitteplass, blir sittende helt til de går av.
- Når toget stopper for passasjerutveksling får de som står på toget fra før mulighet til å ta sitteplasser før nye påstigende får det.

2.2.4 Trafikantnytte

Trafikantnytte er de samlede beregnede effektene for de reisende, av en tilbudsending. Trenklin benytter trapesformelen for beregning av trafikantnyten, gitt ved

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^9 \Delta g k_h(i, j) * Turer_h^{referanse}(i, j) + 0,5 * \Delta g k_h(i, j) * \Delta Turer_h(i, j)$$

Der $\Delta g k = g k^{referanse} - g k^{tiltak}$ og $\Delta Turer = Turer^{tiltak} - Turer^{referanse}$.

2.2.5 Takst og billettinntekter

Prisene de reisende stilles ovenfor i Trenklin baserer seg på den angitte taksten for en gitt relasjon, kombinert med en rabattfaktor knyttet til reisehensikten og tilhørende undersegment. Rabattfaktoren representerer eksempelvis periodebilletter, barnebilletter og student- og honnørrabatter. For en bestemt relasjon, togprodukt og undersegment beregnes prisen ved:

$$Takst(i, j) * (1 - Rabattfaktor(i, j))$$

I Trenklin versjon 3.3 skilles det kun mellom de tre overordnede reisehensiktene når det gjelder takster og billettinntekter. Som beskrevet i kapittel 2.2.1, kan hver reisehensikt videre deles i undersegmenter, der hvert undersegment kan ha sin egen rabattfaktor. Dette åpner for en mer nyansert prissetting, tilpasset ulike reisetypene og markedssegmenter. Som beskrevet i kapittel 2.2.6 er det også mulig å modellere flere ulike togprodukt, med egne takster og rabatter. Dette åpner for en mer nyansert prissetting, tilpasset ulike tilbud og markedssegmenter. De samlede billettinntektene i modellen beregnes ved:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^3 \sum_{s=1}^{as} \sum_{q=1}^{aq} Turer_h^{s,q}(i, j) * Takst^q(i, j) * (1 - Rabattfaktor_h^{s,q}(i, j))$$

Der as er antallet undersegmenter for den gitte relasjonen og reisehensikten, og aq er antallet togprodukt.

2.2.6 Togprodukt, forsinkelse og bekvemmelighet

I versjon 3.1 ble det implementert funksjonalitet for å kunne modellere ulike togprodukt. Dette gjør Trenklin i stand til å modellere konkurrerende togtilbud, der produktene kan variere i pris og kvalitet. Hvert togprodukt har en tilhørende takst per relasjon, ulike rabattfaktorer, en angitt grad

av forsinkelse, og en parameter for bekvemmelighet. I rutetabellen må det spesifiseres hvilket togprodukt hver avgang tilhører.

For hvert togprodukt må det angis en forventet, eller effektiv forsinkelse. Denne verdien vil gjelde for alle som benytter togproduktet, uavhengig av relasjon. I tillegg må det oppgis hvilken tidsverdivekt de reisende har for forsinkelse. Denne vekten angir hvor mye forsinkelse vektlegges, relativt til ombordtid, og kan differensieres mellom de ulike segmentmodellene.

Forsinkelseskostnaden beregnes som en økning i de generaliserte reisekostnadene ved:

$$\text{forventet forsinkelse} * \text{forsinkelsesvekt} * \frac{\text{tidsverdi}}{60}$$

Eksempelvis vil en tidsverdivekt på 10 si, at ett minuts effektiv forsinkelse (for eksempel 10% sjanse for 10 minutters forsinkelse) vektlegges med ti ganger vanlig tidsverdi. Med en tidsverdi på 150, vil da verdien av ett minuts effektiv forsinkelse være $1 * 10 * \frac{150}{60} = 25$.

De ulike togproduktene kan ha andre kvaliteter som ikke lar seg kvantifisere av de øvrige generaliserte reisekostnadene. Se eksempelvis funn i (Ingunn Ellis, 2018). For å forsøke å fange opp dette, er det lagt inn mulighet for en parameter for bekvemmelighet, også omtalt som «Convenience». Parameteren uttrykkes som en andel av tidsverdien for en times ombordtid, og legges inn per togprodukt. Implementasjonen er gjort gjennom et fratrekk i reisekostnad ved påstigning ved:

$$\text{bekvemmelighetsfaktor} * \text{tidsverdi}$$

Eksempelvis vil en faktor på 0,2 og en tidsverdi på 150 redusere de generaliserte reisekostnadene med $0,2 * 150 = 30$. Dette gjør at togproduktet som er relativt mer bekvemmelig, får en høyere valgsannsynlighet blant de reisende, alt annet likt.

Det er mulig legge inn ulike verdier for forsinkelse og bekvemmelighet i referanse og tiltak. Ettersom disse verdiene inngår i beregningen av de generaliserte kostnadene, vil dette påvirke den beregnede trafikantnyten.

2.2.7 Bagasje

I versjon 3.1 ble det introdusert funksjonalitet for å modellere bagasjemengde per reisende. Dette gjøres ved å angi antall kolli per passasjer, og størrelse per kolli. I tillegg ble det lagt til mulighet for å skille mellom kjøretøytyper med ulik kapasitet og tilrettelegging for bagasje. For hver kjøretøytype spesifiseres antall tilgjengelige bagasjeplasser (kolli-plasser). Når disse plassene er fylt opp, vil overskytende bagasje oppta tilgjengelig gulvareal, noe som reduserer ståplasskapasiteten. Hvor mye gulvareal bagasjen opptar spesifiseres gjennom en egen parameter.

2.2.8 Reisehensiktsmodell og døgnfordelingsmodell

Med reisehensiktsmodell eller døgnfordelingsmodell menes modeller dokumentert i (Stefan Flügel A. U., 2022). Døgnfordelingene har flere funksjoner. De danner grunnlaget for fordeling av reisende på avganger da de har i seg de reisendes preferanser for ankomsttidspunkt. De er også viktige i beregningen av ventekostnader siden ventekostnader i modellen er en funksjon av avstand mellom faktisk og foretrukket ankomsttid. De reisendes valg av avgang kan bli en avveining mellom ventekostnader på den ene siden og andre generaliserte reisekostnader, inkludert trengsel på den andre. Løsningen med døgnfordelinger ble valgt nettopp fordi den ga denne avveiningen, samtidig som det muliggjorde fordeling av de reisende på avganger. Reisehensiktmodellen fordeler årlig antall reiser for en relasjon, på ulike døgntyper, med tilhørende fordeling på de ulike reisehensiktene.

2.3 Inndata

I dette delkapittelet beskrives Trenklins inndata knyttet til etterspørsel, reiseadferd og transporttilbud. Tabell 2 gir en overordnet beskrivelse av nødvendig inndata.

Tabell 2: Beskrivelse av nødvendig inndata.

Kategori	Arkfane	Beskrivelse
<i>Segmenter</i>	Segmentmodell	Matrise som angir hvilken segmentmodell som gjelder per relasjon. Verdi 1-4
	Segmentmodeller	De ulike segmentmodellene, med undersegmenter. Tidsverdier og rabattfaktorer.
<i>Diverse</i>	Forutsetninger	Linjer som inngår i modellen, togprodukter og egenskaper, forsinkelse og bekvemmelighet.
	Parametere	Oppsett for modellkjøring, diverse parametere, verdier til døgnfordelingsmodell.
<i>Reiseadferd</i>	Egne Døgnfordelinger	Matrise som angir om relasjoner skal benytte døgnfordelinger fra døgnfordelingsmodellen, eller fordelinger fra arkfane «Fordeling {hensikt}». Verdi 0-23.
	Bytteulemper	Liste over alle stasjoner i modellen, med tilhørende bytteulempe på stasjonen, i minutter.
	Pendlerindekser	Pendlerindeks per relasjon til døgnfordelingsmodell. Verdi [0.005, 200].
	Fordeling arbeid	23 ulike fordelinger for arbeidsreiser på relasjoner som ikke skal benytte døgnfordelingsmodell.
	Fordeling fritid	23 ulike fordelinger for fritidsreiser på relasjoner som ikke skal benytte døgnfordelingsmodell.
	Fordeling forretning	23 ulike fordelinger for forretningsreiser på relasjoner som ikke skal benytte døgnfordelingsmodell.
<i>Etterspørsel Turmatriser</i>	H_arb	Turmatrise for arbeidsreiser i referanse.
	H_skole	Turmatrise for skolereiser i referanse.
	H_fri	Turmatrise for fritidsreiser i referanse.
	H_handle	Turmatrise for handlereiser i referanse.
	H_service	Turmatrise for servicereiser i referanse.
	H_hl	Turmatrise for hente- og leverereiser i referanse.
	H_ferhyt	Turmatrise for ferie- og hyttreiser i referanse.
	H_bes	Turmatrise for besøksreiser i referanse.

	H_for	Turmatrise for forretningsreiser i referanse.
Transport-tilbud	Togmateriell	Liste over togmateriell med tilhørende egenskaper.
	Takst1	Matrise med takst per relasjon for togprodukt 1 i referanse.
	Takst2	Matrise med takst per relasjon for togprodukt 2 i referanse.
	Takst1_t	Matrise med takst per relasjon for togprodukt 1 i tiltak.
	Takst2_t	Matrise med takst per relasjon for togprodukt 2 i tiltak.
	tidstillegg	Matrise med eventuelle tillegg i reisetid per relasjon i referanse.
	tidstillegg_t	Matrise med eventuelle tillegg i reisetid per relasjon i tiltak.
	KM	Matrise med avstand per relasjon i referanse.
	KM_t	Matrise med avstand per relasjon i tiltak.
	R1_{linje x}	Rutetabell for «linje x» i retning 1 i referanse.
	R2_{linje x}	Rutetabell for «linje x» i retning 2 i referanse.
	R1_{linje x}_t	Rutetabell for «linje x» i retning 1 i tiltak.
	R2_{linje x}_t	Rutetabell for «linje x» i retning 2 i tiltak.
Annet	Befolkningsvekst	Matrise som angir om det skal beregnes ytterligere etterspørselsvekst mellom referanse og tiltak, utover tilbudsendringer. (Standard = 1)
	Soner_Faste	Gruppering av stasjoner i ulike soner.
	Faste	Matrise med soner fra "Soner_Faste" som angir om det skal beregnes ny etterspørsel mellom sonene. Verdi 0-1.
	Faste_relasjoner	Matrise som angir om det skal beregnes ny etterspørsel på relasjonen. (Duplikat av "Soner_Faste" og "Faste").
	Korridorer	Gruppering av stasjoner i ulike korridorer, til resultatutskrift.
	Arealsoner	Gruppering av stasjoner i kategorier til beregning av trafikk/transportarbeid i by, tettsted og landlig. Brukes til beregning av eksterne kostnader i SAGA.
	Areal_liste	Liste over stasjoner med tilhørende verdi 1-3 for by, tettsted, landlig. Brukes til beregning av eksterne kostnader i SAGA.
	Elastisitets-kalibrering	Matrise som angir mulighet for kalibrering av elastisiteter på relasjonsnivå. (Faktor: Standard = 1)

Det er viktig at navnene på arkfanene ikke endres, da Trenklin benytter disse til å lese inn inndataene. Rekkefølgen kan derimot endres etter brukerens ønske.

2.3.1 Segmenter

Segmenter, nærmere omtalt i kapittel 2.2.1, deler de reisende inn i ulike kundegrupper. Her kan man differensiere tidsverdier og rabattfaktorer.

1	Modell1	Arbeid	Fritid	Forretning	Andeler	Tidsverdier	Rabatt1	Rabatt2
2		Arbeid	Fritid	Forretning	100 % 100 % 100 %	95 75 272	40 % 25 % 10 %	0 % 0 % 0 %
3								
25								
26	Modell2	Arbeid	Fritid	Forretning	Andeler	Tidsverdier	Rabatt1	Rabatt2
27		Arbeid_pendler_fly	Voksen_mndkort	Voksen_lavpris	36 % 8 % 48 %	203 116 238	0 % 35 % 0 %	0 % 0 % 0 %
28		Arbeid_pendler_fly_mndkort	Voksen_utenmndkort	Voksen_middels	9 % 56 % 43 %	95 116 293	35 % 0 % 0 %	0 % 0 % 0 %
29		OSL_Ansatt_mndkort	Pensjonist	Voksen_høypris	26 % 14 % 9 %	95 116 342	35 % 50 % 0 %	73 % 50 % 0 %
30		OSL_Ansatt_ikkemndkort	Student_Ungdom		29 % 22 %	95 116	0 % 5 %	73 % 50 %

Figur 6 Eksempel på oppsett med to segmentmodeller og tilhørende undersegmenter.

I arkfanen «Segmentmodell» angis, ved nummerering, hvilken segmentmodell som skal gjelde for de ulike relasjonene.

2.3.2 Forutsetninger

Arkfanen «Forutsetninger» inneholder liste over hvilke linjer som inngår i modellen i referanse og tiltak, forutsatte egenskaper om de ulike togproduktene og hvilket takstsystem de skal benytte, samt oppsett for de ulike segmentmodellene knyttet til forsinkelse, bekvemmelighet, bagasje, og om det skal beregnes likevekt for fritids- og forretningsreiser.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
9									Liste over togprodukter m/egenskaper								
10	Liste Over Linjer								Forsinkelse								
11	Referanse	print	Maks sett	Tiltak	print	Maks sett			Nummer	Navn	Ref	Tiltak	Segmenmodellspesifikke verdier	Sm1	Sm2	Sm3	Sm4
12	FLY1	1 Oslo S	2	FLY1	1 Oslo S	2			1 VY		0	0	Vekt effektiv forsinkelse	0	0	0	2,5
13	FLY2	1 Oslo S	2	FLY2	1 Oslo S	2			2 Flytoget		0	0	Kolli per passasjer	0	0	0	0
14	L1	1 Oslo S	2	L1	1 Oslo S	2							Beregn likevekt fritid og forretning	0	0	0	0
15	L2	1 Oslo S	2	L2	1 Oslo S	2							Beregn convenience	0	0	0	1
16	R3+RE30	1 Oslo S	2	R3+RE30	1 Oslo S	2											
17	R12	1 Oslo S	2	R12	1 Oslo S	2											
18	R13	1 Oslo S	2	R13	1 Oslo S	2			1 VY		1	1					
19	R14	1 Oslo S	2	R14	1 Oslo S	2			2 Flytoget		2	2					
20	RE10	1 Oslo S	2	RE10	1 Oslo S	2											
21	RE11	1 Oslo S	2	RE11	1 Oslo S	2											
22	R21	1 Oslo S	2	R21	1 Oslo S	2											
23	R22	1 Oslo S	2	R22	1 Oslo S	2											
24	R23	1 Oslo S	2	R23	1 Oslo S	2			1 VY		0	0					
25	RE20	1 Oslo S	2	RE20	1 Oslo S	2			2 Flytoget		0,15	0,15					

Figur 7 Eksempel på oppsett av forutsetninger.

Kolonne A og E inneholder linjenavn. Kolonne B og F skal kun inneholde verdien 1, dette er noe som henger igjen fra tidligere, og har ingen betydning. Kolonne C og G angir hvilken stasjon ankomsttidspunkt skal skrives ut i enkelte resultatutskrifter. Kolonne D og H angir maks antall togsett som kan benyttes på en avgang per linje. Dette brukes kun dersom man ønsker å anvende funksjonalitet for beregning av settbruk, kapittel 5.3, og har ellers ingen betydning.

Kolonnene I:L inneholder forutsetninger knyttet til de ulike togproduktene, mens M:Q omhandler segmentmodellene. For N14:Q15 angis enten 0 eller 1, der 1 = ja.

2.3.3 Parametere

Parametere omtales separat i kapittel 2.4.

2.3.4 Egne døgnfordelinger

I denne arkfanen angis det hvorvidt en relasjon skal benytte døgnfordelinger produsert av døgnfordelingsmodellen, eller om det skal benyttes spesifikke døgnfordelinger angitt av brukeren i fanene «Fordeling arbeid», «Fordeling fritid» og «Fordeling forretning». Ved å angi verdien 0 for relasjonen, vil døgnfordelingsmodellen benyttes. Ved å angi et heltall mellom 1 og 23, vil den respektive fordelingen, for de ulike reisehensiktene, fra de tre arkfanene benyttes på relasjonen.

2.3.5 Bytteulemper

I kolonne A angis en liste over alle stasjonene i modellen. I kolonne B angis bytteulempen for den aktuelle stasjonen, i minutter.

2.3.6 Pendlerindekser

I denne arkfanen legges det inn matrise med pendlerindekser for hver relasjon. Disse verdiene benyttes i døgfordelingsmodellen for arbeidsreiser. Verdiene må være fra 0,005 til 200, og angis slik at verdien for relasjonen (j, i) er lik $\frac{1}{\text{verdien for } (i, j)}$. Høyere verdi medfører en større andel arbeidsreiser på morgenen, for en gitt relasjon.

2.3.7 Skoleindekser

I denne arkfanen legges det inn matrise med skoleindekser for hver relasjon. Disse verdiene benyttes i døgfordelingsmodellen for skolereiser. Verdiene må være fra 0,005 til 200, og angis slik at verdien for relasjonen (j, i) er lik $\frac{1}{\text{verdien for } (i, j)}$. Høyere verdi medfører en større andel skolereiser på morgenen, for en gitt relasjon. Etablering av indeksene er dokumentert i (Sandvik, Beregning av skoleindekser til Trenklin, 2025).

2.3.8 Brukerstyrte døgfordelinger

Døgfordelingen beskriver de reisendes ønskede ankomsttid. Fordelingen er diskret, med én verdi for alle minutt i døgnet, totalt 1440. I arkfanene «Fordeling arbeid», «Fordeling fritid» og «Fordeling forretning» angis ulike døgfordelinger som benyttes basert på verdiene angitt i arkfanen «Egne døgfordelinger». For relasjoner der verdien er satt til noe annet enn 0, plukkes den respektive fordelingen for de ulike reisehensiktene fra disse tre arkfanene. Det er en del ting ved fordelingene som er verdt å merke seg. For det første må de alltid summere seg til én over de 1440 minuttene. Det er altså å tolke som en slags sannsynlighetsfordeling. For det andre angir de ønsket ankomsttidspunkt ved stasjonen, ikke ved endelig ankomst for den reisende. Og for det tredje er disse fordelingene teoretiske konstruksjoner som er vanskelig å verifisere empirisk, i hvert fall direkte. Det er en fordel dersom modellbrukeren har tilgjengelig tellinger for modellområdet, som referansesituasjonen kan kalibreres mot. Under kalibreringsprosessen kan man endre fordelingene hvis det gir bedre samsvar med tellinger.

2.3.9 Etterspørsel/Turmatriser

Det er i alt ni arkfaner knyttet til etterspørsel, i form av turmatriser per reisehensikt. For hver reisehensikt legges det inn antallet reiser i referansesituasjonen. Se også ytterligere beskrivelse i kapittel 2.2.1.

2.3.10 Togmateriell

I arkfanen «Togmateriell» angis de ulike typene kjøretøy som benyttes i modellen, med tilhørende egenskaper.

1	Kjøretøy	Seter	Ståareal (kvm)	Antall sett	Kolli plass	Diesel
2	75-1	295	66	1	40	0
3	75-2	590	132	2	80	0

Figur 8 Eksempel på inndata for kjøretøy.

I kolonnen for «Diesel» angis 0 eller 1 avhengig av energibærer. Hva som legges inn knyttet til ståareal, må samsvare med trengselsfunksjonen som benyttes i beregningen. Det må også gjøres vurderinger av hvorvidt klappseter skal benyttes som sitteplasser eller til ståareal.

2.3.11 Takst

For hvert togprodukt i modellen er det to arkfaner med takstmatriser, en for referansesituasjonen og en for tiltak. Verdiene som oppgis i matrisene skal være prisen for en enkeltbillett uten rabatt. Det er også viktig at kroneåret i matrisene samsvarer med kroneåret for tidsverdiene i arkfanen «Segmentmodeller». Ved justering av kroneåret (endring av verdiene) må man passe på å benytte rett faktor knyttet til om det er takst eller tid. For å finne rett faktor, kan man slå opp i SAGA.

2.3.12 Tidstillegg

I disse fanene er det mulig å legge til ekstra reisetid på relasjonene. Merk at det ikke beregnes etterspørselseffekter av endring av disse tilleggene mellom referanse og tiltak.

2.3.13 Avstandsmatriser

Disse arkfanene inneholder avstanden mellom hver relasjon.

2.3.14 Rutetabeller

En fordel med Trenklin er at togtilbudet kan beskrives i full detalj, slik det oppleves av kunden, i form av rutetabeller. Rutetabellene følger samme format som de man leser som togpassasjer. Det kan opprettes så mange rutetabeller som modellområdet krever, gjerne en for hver linje og en for hver retning. Hver stasjon i rutetabellen må oppgis to ganger, slik at det kan settes inn et tidspunkt for ankomsttid og et for avgangtid. Alle avganger må beskrives i tabellen med klokkeslett for hvert ankomst- og avgangstidspunkt. Avgangene må også angis med hvilken kjøretøytype som benyttes på avgangen, og hvilket togprodukt det er. Figur 9 viser et eksempel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Togprodukt	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Materiell	72-1	72-1	72-1	72-1	72-2	72-2	72-2	72-2	72-2	72-2
3	Tognummer	R1_L1-1	R1_L1-2	R1_L1-3	R1_L1-4	R1_L1-5	R1_L1-6	R1_L1-7	R1_L1-8	R1_L1-9	R1_L1-10
4	Spikkestad	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	Spikkestad	x	516	x	546	x	616	x	646	x	716
6	Røyken	x	518	x	548	x	618	x	648	x	718
7	Røyken	x	519	x	549	x	619	x	649	x	719
8	Heggedal	x	523	x	553	x	623	x	653	x	723
9	Heggedal	x	524	x	554	x	624	x	654	x	724
10	Gullhella	x	527	x	557	x	627	x	657	x	727
11	Gullhella	x	527	x	557	x	627	x	657	x	727
12	Bondivann	x	529	x	559	x	629	x	659	x	729
13	Bondivann	x	530	x	600	x	630	x	700	x	730
14	Asker	x	533	x	603	x	633	x	703	x	733
15	Asker	504	534	548	604	618	634	648	704	718	734
16	Høn	506	536	550	606	620	636	650	706	720	736
17	Høn	506	536	550	606	620	636	650	706	720	736
18	Vakås	508	538	552	608	622	638	652	708	722	738

Figur 9 Utklipp fra rutetabell for L1, retning fra Spikkestad mot Oslo.

Et kryss angir at det ikke er mulig med henholdsvis av- eller påstigning på stasjonen, for den aktuelle avgangen. Kryss på begge rader for en stasjon og avgang, angir at toget kjører forbi stasjonen uten å stoppe.

Arkfanene med rutetabeller tilhørende tilbudet i tiltak, navngis med «_t» på slutten av navnet.



Figur 10 Eksempel på navngivning av rutetabeller i referanse og tiltak.

2.3.15 Faste relasjoner

I arkfanene knyttet til faste relasjoner er det mulig å angi hvorvidt det skal beregnes etterspørselseffekter for en gitt relasjon. Ved bruk av «Soner_Faste» kan stasjonene grupperes, og man kan deretter i arkfanen «Faste» angi om man ønsker å låse etterspørselen mellom grupperingene. Dette gjøres ved å sette verdien 0 eller 1, der 1 angir låste relasjoner. Arkfanen «Faste_relasjoner» er et duplikat av resultatet fra de to andre arkfanene. Dette er noe som henger igjen fra tidligere. Her angis det på tilsvarende måte, med 0 eller 1, hvorvidt man ønsker å låse noen relasjoner.

2.3.16 Arealsoner og Areal_liste

I disse arkfanene grupperes stasjonene til by, tettsted eller landlig, typisk basert på SSBs inndeling. I «Areal_liste» angis den samme informasjonen bare med verdier fra 1 til 3 i stedet, der 1 = by, 2 = tettsted og 3 = landlig. Inndelingen brukes til å beregne trafikk- og transportarbeid i de ulike kategoriene, til bruk eksempelvis i beregninger av eksterne kostnader i SAGA. Beregningene tar utgangspunkt i inndelingen og avstanden mellom stasjonene. Dersom to stasjoner har ulik kategori, antas det en fordeling på 50% i hver kategori.

2.3.17 Elastisitetsskalibrering

I arkfanen «Matrisekalibrering» kan man legge inn faktorer for å kalibrere etterspørselstettheten på relasjonsnivå. Dette gjøres ved å legge inn en faktor for den aktuelle relasjonen. Som standard settes verdien til 1, slik at elastisitetene oppgitt i «Parameter» fanen benyttes uskalert.

2.4 Parametere

I forrige delkapittel ble «Parametere» listet opp under inndata. Teknisk sett er ikke dette inndata, men valg modellbrukeren må gjøre før en beregning. Vi beskriver derfor parameterne i et eget delkapittel. Tabell 3 viser en oversikt over de ulike parameterne.

Tabell 3 Beskrivelse av parametere.

Kategori	Navn	Verdi	Beskrivelse
Modellmodus	Kjør til likevekt?	"True"/"False"	Skal det modelleres adferdsendring/bytte av avgang som følge av trengsel?
	Tiltak	1 eller 2	1 = beregne referanse, 2 = beregne referanse og tiltak
	Maxit	heltall	Maks antall iterasjoner
	Avslutt_it_antall	heltall	Antall iterasjoner hvor kriteriet skal være oppfylt
	Avslutt_it_crit	tall (single)	Iterasjonskriteriet

	Antall_it_nye_alt	heltall	Antall iterasjoner hvor det skal finnes nye alternativ
	ant_utlegg	heltall	Antall iterasjoner hvor det skal legges ut inkrementelt
	Vekt_matrise1	andel 0 til 1	Vekt for første beregnede turmatrise i tiltak
	Vekt_matrise2	andel 0 til 1	Vekt for andre beregnede turmatrise i tiltak
	Reduser byttelenker	"True"/"False"	Fjerne overflødige byttelenker?
	Omvalgsreduksjon	tall (single)	Hvordan andelen som kan ombestemme seg reduseres
	Antall reisehensikter	tall 1 til 3	1 for kun arbeidsreiser, 3 for alle hensikter
	Skriv lenker	"True"/"False"	Skrive lenker til fil
	les lenker	"True"/"False"	Lese lenker til fil
Trengsels-funksjon	F_sit	tall >0	Fastledd sittende (Arbeid, fritid)
	F_stå	tall >0	Fastledd stående (Arbeid, fritid)
	Mu_sit	tall >0	Utnyttelsesgrad hvor trengsel begynner å inntre (Arbeid, fritid)
	F_sit_ingenledig	tall >0	Tidsverdivekt ved ingen ledige sitteplasser (Arbeid, fritid)
	Sit_u_stå	tall >0	Påslag i tidsverdivekt per stående per kvm, sittende (Arbeid, fritid)
	Stå_u_stå	tall >0	påslag i tidsverdivekt per stående per kvm, stående (Arbeid, fritid)
	F_sit_tje	tall >0	Fastledd sittende (Forretning)
	F_stå_tje	tall >0	Fastledd stående (Forretning)
	Mu_sit_tje	tall >0	Utnyttelsesgrad hvor trengsel begynner å inntre (Forretning)
	F_sit_ingenledig_tje	tall >0	Tidsverdivekt ved ingen ledige sitteplasser (Forretning)
	Sit_u_stå_tje	tall >0	Påslag i tidsverdivekt per stående per kvm, sittende (Forretning)
	Stå_u_stå_tje	tall >0	påslag i tidsverdivekt per stående per kvm, stående (Forretning)
	Ståplasser perkvm	tall >0	Kun til kapasitetsberegninger i resultatutskrift, ikke til trengselsberegninger

<i>Funksjonalitet</i>	Beregn med kolli	"True"/"False"	Om bagasje skal redusere ståplassareal
	areal_per kolli	tall >0	Opptatt areal per kolli
	Beregn med likevekt frifor	"True"/"False"	Om det skal beregnes likevekt for fritid og forretning (etter egen funksjonalitet)
	Antall_segment modeller	heltall	Hvor mange ulike segmentmodeller det skal være
	Antall_togprodukt	heltall	Antall togprodukt i modellen
	Prisred_start	tall >0	Avstand der prisreduksjon starter (for minipris ol.)
	Prisfaktor	andel 0 til 1	Andel pris som blir med etter prisreduksjon inntreffer
<i>Ventetids-funksjon</i>	Vkal	tall >0	V (se kapittel 2.2.3)
	Vkonst	tall >0	k (se kapittel 2.2.3)
<i>Søk og alternativer</i>	Minimum byttetid	tall >0	Minste antall minutter nødvendig for bytte
	nattgrense	heltall >0	Minuttnummer hvor nytt døgn starter
	Max_bytter	heltall >0	Maks antall bytter
	Sperretall	tall >0	Minste antall turer på relasjon for å bli med i beregning
	minimum byttetakst	tall >0	Minste kostnad ved bytte av takstsystem
<i>Elastisiteter</i>	arbeid kort	tall <0	Etterspørselastisitet for korte arbeidsreiser (<70km)
	fri kort	tall <0	Etterspørselastisitet for korte fritidsreiser (<70km)
	forretning kort	tall <0	Etterspørselastisitet for korte forretningsreiser (<70km)
	arbeid lang	tall <0	Etterspørselastisitet for lange arbeidsreiser (>70km)
	fritid lang	tall <0	Etterspørselastisitet for lange fritidsreiser (>70km)
	forretning lang	tall <0	Etterspørselastisitet for lange forretningsreiser (>70km)
	befolkningselastisitet	tall >0	Faktor for skalering med arkfane "Befolkningsvekst"
<i>Døgnfordelingsmodell</i>	arb_gamma0	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell

	arb_gamma1	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	arb_beta01	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	arb_beta11	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	arb_beta02	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	arb_beta12	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	arb_sigma1	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	arb_sigma2	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	{hensikt}_lambda1	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	{hensikt}_beta01	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	{hensikt}_beta11	tall	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	{hensikt}_beta02	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	{hensikt}_beta12	tall	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	{hensikt}_sigma1	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
	{hensikt}_sigma2	tall >0	Se dokumentasjon av døgnfordelingsmodell
Annet	Max_Reisetid	heltall >0	Maksimal reisetid i modellen
	Utskriftsfil belegg	tekst	Navn på utskriftsfil (Kan være tom)
	Navn på referansescenariet	tekst	Navn på referansescenariet
	Navn på tiltaksscenarioet	tekst	Navn på tiltaksscenarioet
	Kjør m apc. Validering	"True"/"False"	Om funksjonalitet for validering skal kjøres

I tillegg til oversikten i Tabell 3 inneholder arkfanen også verdier knyttet til funksjonalitet for beregning av settbruk. Denne funksjonen er nærmere omtalt i kapittel 5.3.

I kategorien funksjonalitet finner man parametere for hvordan beregningen skal håndtere bagasje, samt om det skal tas høyde for trengselseffekter i adferden for fritids- og forretningsreisende. I tillegg er det to parametere, «Prisred_start» og «Prisfaktor». Disse styrer en funksjonalitet som ble innført for å forsøke å beregne mer riktige inntektsestimater i tilfeller hvor gjennomsnittlig billettpris ligger godt under takst og de hensiktsspesifikke rabattfaktorene ikke er nok til å korrigere, for eksempel ved minipris eller lignende rabatter. Tanken var da at dette gjerne gjelder for lengre turer. «prisred_start» angir fra hvilken initial takst prisreduksjonen skal starte, mens «Prisfaktor» angir hvor stor andel av initial takst over dette nivået som faktisk betales. Setter man den «Prisred_start» til 300 og «Prisfaktor» til 0,5 vil en takst på 600 bli til 450, før hensiktsspesifikke rabattfaktorer.

I kategorien «Søk og alternativer» følger en gruppe av viktige parametere. Dette er parametere som til en viss grad styrer hvordan algoritmene skal finne de beste rutene i nettverket utgjort av rutetabellene. «Minimum_byttetid» er minste tid i minutter som må være tilgjengelig for et bytte for at alternativet skal regnes med. «Nattgrense» er grensen der reisedøgnet slutter. Det er mulig å reise over døgn grensen, men prosedyrene må da regne om på reisetider. Se Figur 19 for illustrasjon. Parameteren brukes for å gjøre denne problematikken smidig, og bør settes til det tidspunkt hvor det er færrest mulig reisende. Her er den satt til 179 minutter som tilsvarer klokken 2:59. «Max_bytter» setter det maksimale antall bytter som er aktuelt for noe reisealternativ, å sette denne høyt, til 5 for eksempel, gir stor fleksibilitet i å finne beste veier, å sette den lavt reduserer beregningstiden. Anbefalt verdi er 2-3. «Sperretall» er en annen parameter som kan brukes for å redusere beregningstiden. Alle relasjoner med et totalt antall turer under eller likt Sperretallet blir ikke beregnet. Man får i utskriften oppgitt hvor mange turer som bortfaller på grunn av sperretallet.

2.5 Resultatutskrift

Dette delkapittelet beskriver de ulike resultatutskriftene fra Trenklin. Tabell 4 viser en oppsummering.

Tabell 4 Beskrivelse av resultatutskrifter.

Arkfane	Beskrivelse
Resultater	Sammenstilling av resultater for trafikantnytte, billettinntekter, produksjon m.m. Benyttes i SAGA. Utvalgte resultater fordelt på linje.
samlet_belegg_og_kapasitet	Inneholder de mest detaljerte resultatene. Av- og påstigninger per avgang per stasjon, belegg per avgang per snitt m.m.
Nøkkeltall_trengsel	Trengsel fordelt på linjer
Nøkkeltall_reisekostnader	Generaliserte reisekostnader fordelt på reisekomponent
U_linjer og U_grad_linjer	Utnyttelse av ombordkapasitet per linje, dimensjonerende avgang, time morgenrush og ettermiddagsrush
Snitt	Resultater for hvert snitt

b_{retning}_{linje}	Arkfaner per retning og linje for referanse og tiltak. Beleggsutskrift med av og påstigende for linjen per avgang.
Totalmatriser	Turmatriser for referanse og tiltak, samt etterspørselsendring. Total, arbeid, fritid og forretning.
GJT_matriser_envei	GK matriser for alle relasjoner, referanse og tiltak. Arbeid, fritid og forretning.
Venteulempematriser	Venteulempematriser for alle relasjoner, referanse og tiltak. Arbeid, fritid og forretning.
GJT_referanse_periode	GK matriser for referanse periodisert for morgen, lavtrafikk, ettermiddag og kveld. Arbeid, fritid og forretning.
GJT_tiltak_periode	GK matriser for tiltak periodisert for morgen, lavtrafikk, ettermiddag og kveld. Arbeid, fritid og forretning.
GJT_arb_uthjem	GK matriser for tur-retur turer, periodisert for morgen, lavtrafikk, ettermiddag og kveld. Referanse, tiltak og differanse.
Avg_ombordtid	Matrise med ombordtid for alle relasjoner, referanse, tiltak og differanse. Arbeid, fritid og forretning
Avg_bytter	Matrise med antall bytter for alle relasjoner, referanse, tiltak og differanse. Arbeid, fritid og forretning
Avg_Byttevent	Matrise med bytteventetid for alle relasjoner, referanse, tiltak og differanse. Arbeid, fritid og forretning
Avg_ventetid	Matrise med ventetid for alle relasjoner, referanse, tiltak og differanse. Arbeid, fritid og forretning
Avg_kostnad	Matrise med billett-kostnad for alle relasjoner, referanse, tiltak og differanse. Arbeid, fritid og forretning
Avg_convenience	Matrise med bekvemmelighet for alle relasjoner, referanse, tiltak og differanse. Arbeid, fritid og forretning
Avg_forsinkelse	Matrise med forsinkelse for alle relasjoner, referanse, tiltak og differanse. Arbeid, fritid og forretning
T_nytte	Matrise med trafikanntytte per relasjon. Totalt, arbeid, fritid og forretning
Iterasjoner	Utskrift av iterasjonsforløpet i beregningen

I tillegg til utskriftene i tabellen har noen tilleggsfunksjoner egne utskrifter. Eksempelvis til bruk i GIS, beskrevet i kapittel 5.4.

Figur 11 viser utklipp av resultater fra arkfanen «Resultater». Her skrives det ut oppsummerte verdier for beregnet antall turer, trafikanntytte, billettinntekter og produksjon. Denne utskriften benyttes blant videre i SAGA som grunnlag for samfunnsøkonomiske analyser.

	A	B	C	D	E
1		Referanse	Tiltak	Endring	Endring i prosent
2	Trafikantnytte				
3					
4					
5	Sum			1 683 634	
6	Antall reisende*				
7	Arbeid	12 000	18 000	6 000	50,0 %
8	Fritid	2 999	4 499	1 500	50,0 %
9	Forretning				
10	Sum	14 999	22 499	7 500	50,0 %
11	Antall enkeltturer*	14 999	22 501	7 502	50,0 %
12	Billettinntekter	9 449	14 174	4 725	150,0 %
13	Totale reisekostnader	4 096 657	4 124 751	28 094	100,7 %
14	Trengselskostnader	503 469	776 570	273 102	154,2 %
15	Forsinkelseskostnade	0	0	0	
16	Ventekostnader	2 953 760	2 388 881	-564 878	80,9 %
17	Passasjerkm				
18	By	16 998	25 497	8 499	50,0 %
19	Tettbygd strøk	0	0	0	
20	Land	0	0	0	
21	Sum	16 998	25 497	8 499	50,0 %
22	Uten bytter	14 999	22 499	7 500	50,0 %
23	Togproduksjon				
24	Settkm	48	77	29	60,4 %
25	Rutekm (el)	48	77	29	60,4 %
26	Rutekm (diesel)	0	0	0	
27	Togtimer	30	46	16	52,5 %
28	Settimer	30	46	16	52,5 %

Figur 11 Resultater for referanse og tiltak.

Lenger ned i samme arkfane skrives det ut resultater fordelt per linje.

29	Linjer-Referanse	Turer	Inntekt	Settkm	TogKM (el)	TogKM (diesel)	Togtimer	Settimer	Linjer-Tiltak	Turer	Inntekt	Settkm	TogKM (el)	TogKM (diesel)	Togtimer	Settimer
30	FLY1	11 509	2 274 067	12579	10 308	0	116,2	141,7	FLY1	11 509	2 274 076	12 579	10 308	-	116	142
31	FLY2	7915	1 573 882	6853	5 423	0	50,9	64,8	FLY2	7915	1 573 882	6 853	5 423	-	51	65
32	L1	40 029	736 783	8567	7 037	0	190,5	231,7	L1	40 028	736 775	8 567	7 037	-	191	232
33	L2	25 808	490 991	2683	2 683	0	70,7	70,7	L2	25 898	492 785	2 683	2 683	-	70	70
34	R3+RE30	6 686	313 387	5066	5 066	0	101,6	101,6	R3+RE30	6 686	313 387	5 066	5 066	-	102	102
35	R12	20 944	1 285 796	9581	7 626	0	75,4	94,7	R12	20 936	1 285 820	9 581	7 626	-	75	95
36	R13	30 867	1 051 381	12300	7 378	0	117,4	195,9	R13	30 867	1 051 383	12 300	7 378	-	117	196
37	R14	16 166	530 245	6498	4 852	0	69,7	93,6	R14	16 166	530 245	6 498	4 852	-	70	94
38	RE10	19 809	1 305 180	14021	7 324	0	126,4	244,6	RE10	19 809	1 305 181	14 021	7 324	-	126	245
39	RE11	25 250	1 894 398	17055	9 521	0	135,8	245,0	RE11	25 250	1 894 401	17 055	9 521	-	136	245
40	R21	17 537	537 672	5586	4 376	0	51,9	66,3	R21	17 449	535 756	5 586	4 376	-	52	66
41	R22	6 306	256 519	3667	3 281	0	45,0	50,2	R22	6 301	256 412	3 667	3 281	-	45	50
42	R23	2 487	60 161	1429	1 384	0	11,7	12,1	R23	2 489	60 214	1 429	1 384	-	12	12
43	RE20	9 188	803 618	4170	2 963	0	53,1	71,3	RE20	9 194	804 167	4 170	2 963	-	53	71

Figur 12 Linjevisse resultater i arkfane "Resultater".

Arkfane «samlet_belegg_og_kapasitet» inneholder de mest detaljerte utskriftene knyttet til passasjerer og tilbud. Tabell 5 viser en oversikt over hva som skrives ut.

Tabell 5 Utskrift i arkfane "samlet_belegg_og_kapasitet".

Navn	Beskrivelse
------	-------------

<i>Scenario</i>	Navn på scenario
<i>Linje</i>	Navn på linje
<i>Retning</i>	Retning
<i>Avgang</i>	Avgangsnummer, navn på avgang
<i>Materiell</i>	Type kjøretøy på avgangen
<i>Snitt</i>	Snitt
<i>Fra stasjon</i>	Fra stasjon på snittet
<i>avgangstidspunkt</i>	Avgangstidspunkt på frastasjon, minutt på døgnet
<i>Til stasjon</i>	Til stasjon på snittet
<i>ankomsttidspunkt</i>	Ankomsttidspunkt på tilstasjon, minutt på døgnet
<i>Togprodukt</i>	Togprodukt på avgangen
<i>Avgangsintervall kvarter</i>	Avgangsintervall kvarter
<i>Avgangsintervall halvtide</i>	Avgangsintervall halvtide
<i>Avgangsintervall time</i>	Avgangsintervall time
<i>Ankomstintervall kvarter</i>	Ankomstintervall kvarter
<i>Ankomstintervall halvtide</i>	Ankomstintervall halvtide
<i>Ankomstintervall time</i>	Ankomstintervall time
<i>Belegg</i>	Belegg på avgangen på snittet, antall
<i>Setekapasitet</i>	Setekapasitet på avgangen, antall
<i>Ståplasser</i>	Ståplasser på avgangen, antall (Basert på "Parametere" B34)
<i>Utnyttelse</i>	Utnyttelsesgrad på avgangen på snittet, prosent
<i>APC belegg</i>	Belegg fra telldata, antall
<i>Finnes APC gjennomsnitt</i>	Finnes APC gjennomsnitt, boolean
<i>KM</i>	Avstand mellom frastasjon og tilstasjon, fra kilometermatrise
<i>PersonKM</i>	Personkilometer på avgangen på snittet
<i>Antall sett</i>	Antall sett på avgangen
<i>SettKM</i>	Settkilometer på avgangen på snittet
<i>Påstigende(fra)</i>	Sum påstigende på frastasjon

<i>Avstigende(til)</i>	Sum avstigende på tilstasjon
<i>Påstigende Arbeid (fra)</i>	Påstigende arbeidsreiser på frastasjon
<i>Påstigende Fritid (fra)</i>	Påstigende fritidsreiser på frastasjon
<i>Påstigende Forretning (fra)</i>	Påstigende forretningsreiser på frastasjon
<i>Avstigende Arbeid (til)</i>	Avstigende arbeidsreiser på tilstasjon
<i>Avstigende Fritid (til)</i>	Avstigende fritidsreiser på tilstasjon
<i>Avstigende Forretning (til)</i>	Avstigende forretningsreiser på tilstasjon
<i>Påstigende sittende(fra)</i>	Påstigende på frastasjon som får sitteplass
<i>Avstigende sittende(til)</i>	Avstigende på tilstasjon som har hatt sitteplass
<i>Påstigende stående(fra)</i>	Påstigende på frastasjon som må stå
<i>Avstigende stående(til)</i>	Avstigende på tilstasjon som må stå

For hvert scenario som beregnes, skrives det ut én linje per snitt, for hver enkelt avgang. Utskriften i denne arkfanen egner seg godt til bruk i videre analyser, og til ulike sammenstillinger.

I arkfanen «Nøkkeltall_trengsel» skrives det ut på hvilke linjer trengselen oppstår, i form av antall ombordminutter i hver trengselskategori.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Referanse	Ombordminutter	Sitte minutter	Ståminutter	Nivå 5	Nivå 5-6	Nivå 6-7	Nivå 7-8	Nivå 8-9	Nivå 9-10	Nivå 10+
2	Totalt	6 613 218	5 899 807	713 411	39 658	43 312	95 655	10 377	111 694	105 606	307 110
3	FLY1	227 790	224 092	3 699	0	0	0	876	2 822	0	0
4	FLY2	157 906	157 906	0	0	0	0	0	0	0	0
5	L1	438 676	438 676	0	0	0	0	0	0	0	0
6	L2	253 795	239 726	14 070	2 615	11 455	0	0	0	0	0
16	RE20	1 155 658	528 872	626 786	0	5 211	90 487	9 500	108 871	105 606	307 110
17	Tiltak	Ombordminutter	Sitte minutter	Ståminutter	Nivå 5	Nivå 5-6	Nivå 6-7	Nivå 7-8	Nivå 8-9	Nivå 9-10	Nivå 10+
18	Totalt	6 606 510	5 893 312	713 197	39 083	43 674	95 654	10 377	111 695	105 601	307 114
19	FLY1	227 791	224 092	3 699	0	0	0	876	2 822	0	0
20	FLY2	157905,7078	157905,7078	0	0	0	0	0	0	0	0
21	L1	438 674	438 674	0	0	0	0	0	0	0	0
22	L2	247 801	233 705	14 096	2 263	11 833	0	0	0	0	0
32	RE20	1 155 818	529 033	626 785	0	5 212	90 485	9 500	108 873	105 601	307 114

Figur 13 Nøkkeltall trengsel.

Hvor mange stående passasjerer som ligger til grunn i de ulike kategoriene, avhenger av hva brukeren forutsetter av egenskaper på kjøretøyene, samt parameterverdi for trengselsfunksjonen. Nivå 5 representerer at passasjerer begynner å stå, mens Nivå 10 representerer at det ikke er plass til flere stående.

I arkfanene «b{retning}_{linjenavn}» skrives belegget, per avgang, for hvert snitt ut. I tillegg skrives det ut antall av- og påstigninger per avgang, per stasjon, for hver reisehensikt. Helt til høyre i arkfanen skrives det ut matriser som viser antall turer, bytter fra andre linjer, takst, og inntekt på relasjonsnivå. Utskriftene er for omfattende til å forsøke å legge ved utklipp her.

Arkfanene med resultater på matriseformat, vist i Figur 14, har ulike oppbygninger. For resultater som beskriver referanse og tiltak, kommer arkfanene med oppsettet:

$$\begin{array}{cccc} A_{ref,tot} & A_{ref,arb} & A_{ref,fri} & A_{ref,for} \\ A_{tilt,tot} & A_{tilt,arb} & A_{tilt,fri} & A_{tilt,for} \\ A_{diff,tot} & A_{diff,arb} & A_{diff,fri} & A_{diff,for} \end{array}$$

Der A representerer relasjonsmatrisen for stasjonene i modellen.

Arkfaner med periodiserte resultater for de ulike reisehensiktene har oppsettet:

$$\begin{array}{cccc} A_{M,tot} & A_{M,arb} & A_{M,fri} & A_{M,for} \\ A_{L,tot} & A_{L,arb} & A_{L,fri} & A_{L,for} \\ A_{E,tot} & A_{E,arb} & A_{E,fri} & A_{E,for} \\ A_{K,tot} & A_{K,arb} & A_{K,fri} & A_{K,for} \end{array}$$

Der $M = \text{Morgen}$, $L = \text{Lavtrafikk}$, $E = \text{Ettermiddag}$, $K = \text{Kveld}$.

Arkfanen «GJT_arb_uthjem» har oppsettet:

$$\begin{array}{ccc} A_{M,ref} & A_{M,tilt} & A_{M,diff} \\ A_{L,ref} & A_{L,tilt} & A_{L,diff} \\ A_{E,ref} & A_{E,tilt} & A_{E,diff} \\ A_{K,ref} & A_{K,tilt} & A_{K,diff} \end{array}$$

Resultatene i denne arkfanen tar utgangspunkt i fra-stasjonen, og beregner summen tur-retur.

[TotalMatriser](#)
[GJTmatriser_envei](#)
[Ventelempematiser](#)
[GJT_ref_periode](#)
[GJT_tiltak_periode](#)
[GJT_diff_periode](#)
[GJT_arb_uthjem](#)
[T_nytte](#)
[Avg_ombordtid](#)
[Avg_bytter](#)
[Avg_Byttevent](#)
[Avg_ventetid](#)
[Avg...](#)

Figur 14 Arkfaner med resultater på matriseformat.

3 Beregningsgang

I dette kapittelet beskriver vi beregningsgangen i Trenklin. Kapittelet er ikke nødvendig lesning for å kunne kjøre modellen, men er nyttig for forståelsen av resultatene, samt gjennomføre eventuell feilsøking. Oppbygningen i kapittelet avviker noe fra rekkefølgen de ulike VBA modulene kjøres i, da vi har forsøkt å forenkle lesningen med en tematisk inndeling.

Når man starter Trenklin aktiveres først modulen «A_____KJØR_MODELL». Denne leser inn hvilke Excel bøker med inndata (modeller) som skal beregnes, og kaller modulen «A_MODELL» som starter en Trenklin beregning for hver av disse.

3.1 Innlesing av inndata

Det første som skjer i en beregning, er at parameterverdier leses inn, samt at nødvendige variabler opprettes. Dette gjøres i modulene «A_____Parametere», «A_____Variabler» og «A_____Redimensjonering». Deretter leses inndataene inn, og tar plass som variabelverdier i minnet slik at de er umiddelbart tilgjengelige for beregninger. Dette skjer i modulene «B_inndata» og «B_segmentmodeller». Alt som behøves av inndata leses inn i dette trinnet, og oppbevares i minnet inntil beregningene er ferdig. Etter inndatainnlesninger er det ikke lenger noen kontakt med regnearkene før alle beregningene er ferdig, og resultatene skal skrives ut igjen. Dette følger prinsippet om å minimere kontakten med regnearkene, noe som er viktig for å holde beregningstiden nede når man bruker VBA sammen med Excel.

3.2 Døgnandeler og tur-retur turer

Det opprettes døgnfordelinger av de reisendes ønskede ankomsttidspunkt, basert på døgnfordelingsmodellen, eller de angitte fordelingene av brukeren. Disse benyttes så til å opprette reiseandeler for døgnet. I tillegg etableres tur-retur turer basert på enkelturer for arbeidsreiser. Dette er et hovedgrep som følger i kjølvannet av evalueringen i (Stefan Flügel N. H., 2016). Det er to hovedpoeng med omleggingen:

- Tilbudsforbedringer for en bestemt del av døgnet skal gi størst effekt for akkurat denne delen av døgnet.
- Arbeidsreiser skal behandles som tur-retur reiser i den grad det er mulig, slik at tilbudsforbedringer i morgenrush en vei, gir etterspørselseffekter i ettermiddagsrush den andre veien.

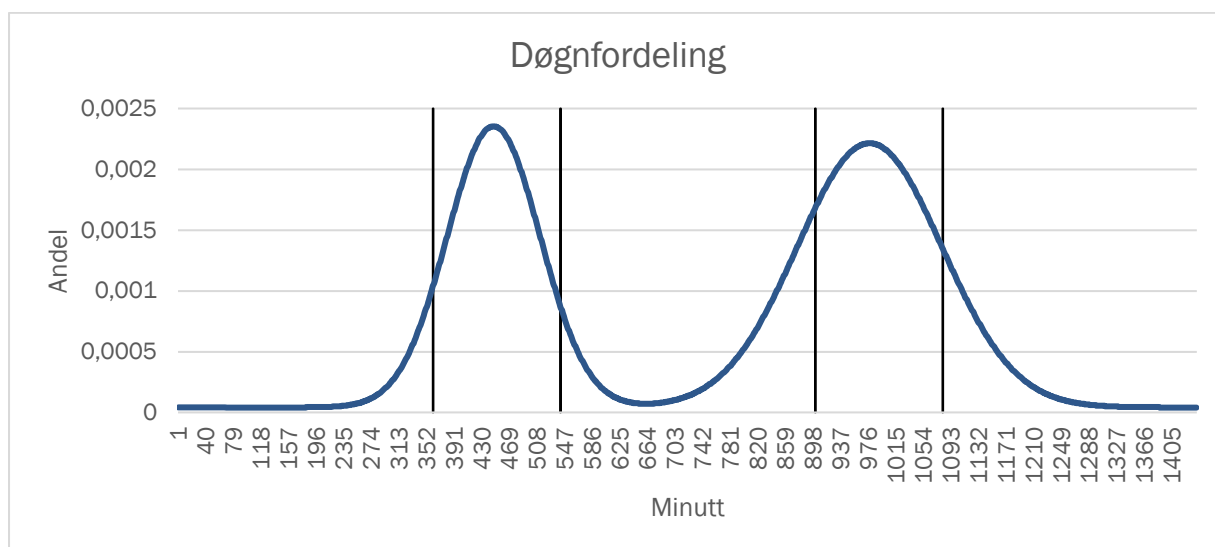
3.2.1 Døgnandeler

For hvert stasjonspar og reisehensikt, aggregeres døgnfordelingen opp til fire døgnandeler, vist i Tabell 6.

Tabell 6 Inndeling av døgnandeler.

Periode	Klokkeslett	Minuttnummer
<i>Morgenrush (M)</i>	6-9	360-540
<i>Lavtrafikk (L)</i>	9-15	540-900
<i>Ettermiddagsrush (E)</i>	15-18	900-1080
<i>Kveld/Natt (K)</i>	18-6	1080-1440, 0-360

Verdien i hver periode tilsvarer arealet under grafen til den respektive døgnfordelingen. Figur 15 viser sammenhengen.



Figur 15 Illustrasjon av døgnfordeling og døgnandeler.

I dette eksempelet blir døgnandelene: $M = 0,32$, $L = 0,17$, $E = 0,35$ og $K = 0,16$.

3.2.2 Tur-retur turer

Ettersom arbeidsreiser behandles som tur-retur reiser, tidfestes både utreise- og hjemreisetidspunkt. Totalt gir dette 16 mulige kombinasjoner av utreise og hjemreise perioder:

Ut/hjem	Morgen	Lav	Ettermiddag	Kveld
Morgen				
Lav				
Ettermiddag				
Kveld				

Vi kaller disse MLEK matriser. For å tidsbestemme tur-retur turene for relasjonen (i, j) , benyttes informasjon om døgnandelene for begge relasjonene (i, j) og (j, i) . Tur-retur matrisene må være konsistent på tvers av begge relasjonene og de ulike periodene, gitt at ut-turer den ene veien blir hjemturer den andre veien. Metoden som benyttes er en form for iterativ matrisebalansering. De ulike elementene tilpasses etter en bestemt prosedyre, inntil man treffer tilstrekkelig godt på oppsummeringsbetingelsene, som er at det aggregerte turantallet for hver periode stemmer med utgangspunktet gitt av døgnfordelingene. Prosedyren har som forutsetning at turmatrisene for arbeidsreiser er symmetriske, det vil si at det er like mange enveis turer hver vei.

Det er ikke alle elementer i MLEK-matrisen som er like relevant, ettersom retur reisen nødvendigvis må foregå etter ut-reisen. Det antas at de reisende må tilbringe en viss tid på arbeidsplassen, slik at retur reisen foregår enn viss tid etter ut-reisen. Følgende elementer i matrisen settes derfor til null:

Ut/hjem	Morgen	Lav	Ettermiddag	Kveld
Morgen				
Lav				
Ettermiddag				
Kveld				

3.2.3 Matrisebalansering

For hvert stasjonspar (i, j) , med tilhørende beregnede døgnandeler, etableres det én MLEK-matrise for hver retning:

- Matrise 1 ($Ut/hjem\ i - j$): Ut-turer fra i til j og tilhørende hjemturer fra j til i .
- Matrise 2 ($Ut/hjem\ j - i$): Ut-turer fra j til i , og tilhørende hjemturer fra i til j .

Vi ønsker at:

1. Summen av ut-turer i én periode i én retning + hjemturer i samme periode i motsatt retning skal være lik den gitte døgnandelen.
2. Summen av alle elementene i **begge matriser** skal være 1, da de representerer andelen av alle tur-retur reiser.

Ut/hjem i-j	M	L	E	K	
M					$M1_{ut}$
L					$L1_{ut}$
E					$E1_{ut}$
K					$K1_{ut}$
	$M2_h$	$L2_h$	$E2_h$	$K2_h$	

Ut/hjem j-i	M	L	E	K	
M					$M2_{ut}$
L					$L2_{ut}$
E					$E2_{ut}$
K					$K2_{ut}$
	$M1_h$	$L1_h$	$E1_h$	$K1_h$	

Dersom eksempelvis døgnandelene for i til j er $[0,5, 0,1, 0,3, 0,1]$ og døgnandelene j til i er $[0,3, 0,1, 0,5, 0,1]$, får vi følgende sett med ligninger:

$$\begin{array}{l|l}
 M1_{ut} + M1_h = 0,5 & M2_{ut} + M2_h = 0,3 \\
 L1_{ut} + L1_h = 0,1 & L2_{ut} + L2_h = 0,1 \\
 E1_{ut} + E1_h = 0,3 & E2_{ut} + E2_h = 0,5 \\
 K1_{ut} + K1_h = 0,1 & K2_{ut} + K2_h = 0,1
 \end{array}$$

Matrisene initieres med hvert element lik 0, før det settes en startverdi lik produktet av de relevante døgnandelene. Her ville startverdien for (M, L) i Matrise 1 vært $0,5 * 0,1 = 0,05$.

Ut/hjem i-j	M	L	E	K	
M	0	0,05	0,25	0,05	$M1_{ut}$
L	0	0	0,05	0,01	$L1_{ut}$
E	0	0	0	0,03	$E1_{ut}$
K	0,03	0,01	0	0,01	$K1_{ut}$
	$M2_h$	$L2_h$	$E2_h$	$K2_h$	

Ut/hjem j-i	M	L	E	K	
M	0	0,03	0,09	0,03	$M2_{ut}$
L	0	0	0,03	0,01	$L2_{ut}$
E	0	0	0	0,05	$E2_{ut}$
K	0,05	0,01	0	0,01	$K2_{ut}$
	$M1_h$	$L1_h$	$E1_h$	$K1_h$	

Deretter starter iterasjonsprosessen ved at elementene oppdatert basert på formelen:

$$a_{IJ}^K = a_{IJ}^K * e^{\left[\sqrt{\frac{D1_I}{I1_{ut} + I2_h} * \frac{D2_J}{J1_h + J2_{ut}}} - 1 \right]}$$

Her representerer I og J perioder, K matrisenummer (1 eller 2), $D1_I$ er døgnfordelingen i matrise 1 periode I , og $D2_J$ er døgnfordelingen i matrise 2 periode J . $I1_{ut} + I2_h$ er sum av ut-turer i periode I fra matrise 1 pluss hjemturer i periode I fra matrise 2. $J1_h + J2_{ut}$ er sum av hjemturer i periode J fra matrise 1 pluss ut-turer i periode J fra matrise 2.

Iterasjonene løper til kriterium for likevekt er oppnådd. Dette kriteriet er ikke styrt ved noen parameter, men hardkodet inn i kildekoden. Kriteriet er satt strengt, og prosedyren går såpass fort, at det i utgangspunktet ikke vil være grunn til å endre denne verdien. Iterasjonsprosessen har også en ilagt «nød-ventil», som slår inn etter 250 iterasjoner uten likevekt. Dette skjer høyst sannsynlig dersom det faktisk ikke eksisterer noen likevekt. Et utslag på denne ventilen kan tyde på at modellen har ikke-kompatible døgnfordelinger for et stasjonspar.

Prosedyren er sensitiv for hvilke startverdier som velges. Å bruke produktet av betingelsene har vist seg å gi resultater som virker plausible, slik at valget falt på denne løsningen.

3.3 Rutetilbud og nettverk

For å kunne beregne reisekostnader mellom relasjonsparene for ulike tider av døgnet, konverteres rutetabellene til et nettverk bestående av noder og lenker. Oppbygning av rutetabellene er nærmere beskrevet i 2.3.14.

3.3.1 Etablering av nettverk

Først leses nodene inn og lagres i hensiktsmessige datastrukturer, deretter, basert på dette, opprettes det lenker. For hvert klokkeslett i rutetabellene opprettes det en node, med egenskaper som blant annet klokkeslett, om det er av- eller påstigning, linje, retning, avgang og hierarkisk nummer.

I samme modul gjøres følgende kvalitetssikring av rutetabellene:

- **Dublerte avganger:** Sjekk om flere linjer har avganger med tilnærmet samme stopptid på to eller flere stasjoner. Dersom mulig duplisering oppdages, varsles brukeren i Immediate-vinduet.
- **Ulogiske klokkeslett:** Verdier over 2359 eller minutter over 59 (for eksempel «461» i stedet for «501») flagges.
- **Negative framføringstider:** Eventuelle negative framføringstider mellom noen stasjoner identifiseres og skrives ut i Immediate-vinduet.

Etter at kvalitetssikringen, opprettes lenker mellom alle noder det er mulig å reise direkte mellom, eller bytte mellom. Lenker man kan reise direkte mellom deles inn i ombordlenker og oppholdslenker. Oppholdslenker er lenker mellom to etterfølgende noder på samme stasjon for samme avgang. Modellen har da tre typer lenker:

- **Ombordlenker:** Mellom stasjoner på samme avgang.
- **Oppholdslenker:** Mellom to påfølgende noder på samme stasjon for samme avgang.
- **Byttelenker:** Overgang mellom ulike avganger.

Som for noder opprettes det hensiktsmessige datastrukturer for lenkene, med egenskaper som blant annet linje, avgang, retning, og tidsbruk.

Etter at alle lenker er lest inn, fjernes helt urealistiske byttelenker. Dette er lenker som innebærer at de reisende står over en avgang, og heller en senere, identisk avgang.

3.3.2 Innledende nettverksanalyse

Formålet med den innledende analysen er å forberede nettverket slik at senere beregninger kan utføres raskere. For hver node med påstigningsmulighet brukes en korteste-vei-algoritme for å finne beste vei til alle andre stasjoner. Analysen skiller ikke mellom reisehensikter, men bruker en fast tidsverdi for å beregne reisekostnader.

En vei er en sekvens av noder og lenker, der nodene alternerer mellom på- og avstigning. Faktisk på- og avstigning skjer kun ved start og slutt, samt før og etter eventuelle byttelenker.

Ved å bruke alle påstigningsnoder for fra-stasjonen, fanges alle reisemuligheter gjennom hele døgnet opp, siden avgangstidene er spredt. For hver node søkes det vei til alle stasjoner slik at alle mulige reisemål inkluderes.

Det lagres hvilke stasjoner som kan nås fra hver node, samt hvilke lenker som benyttes. Lenkene som aldri brukes fjernes permanent fra nettverket for å redusere beregningstiden. Lenkene som fjernes antas å være irrelevante, selv om det i teorien kan finnes spesielle tilfeller der de kunne blitt brukt ved trengsel. Slike tilfeller vurderes som svært lite sannsynlige, og analysen kan eventuelt slås av dersom det er nødvendig. Se (Ranheim, 2019) for diskusjon rundt fjerning av byttelenker.

3.4 Reisealternativer, reisekostnader og turer

Dette kapittelet beskriver hoveddelen av beregningene i modellen. Det er disse beregningene det itereres over når modellen skal nå likevekt. Enkelte av trinnene utføres dermed ved hver iterasjon, se 3.4.8. De reisendes mulige reiseruter finnes ved å analysere nettverket som er etablert. Dette gjøres for hver relasjon og reisehensikt over døgnet. For en gitt reise kan det finnes flere mulige ankomsttidspunkt, knyttet til forskjellige avstigningsnoder ved til-stasjonen, og ulike reiseruter som leder dit. For å finne det beste alternativet, gjennomføres det en trinnvis analyse.

3.4.1 Trinn 1: Beste veier for alle reisehensikter

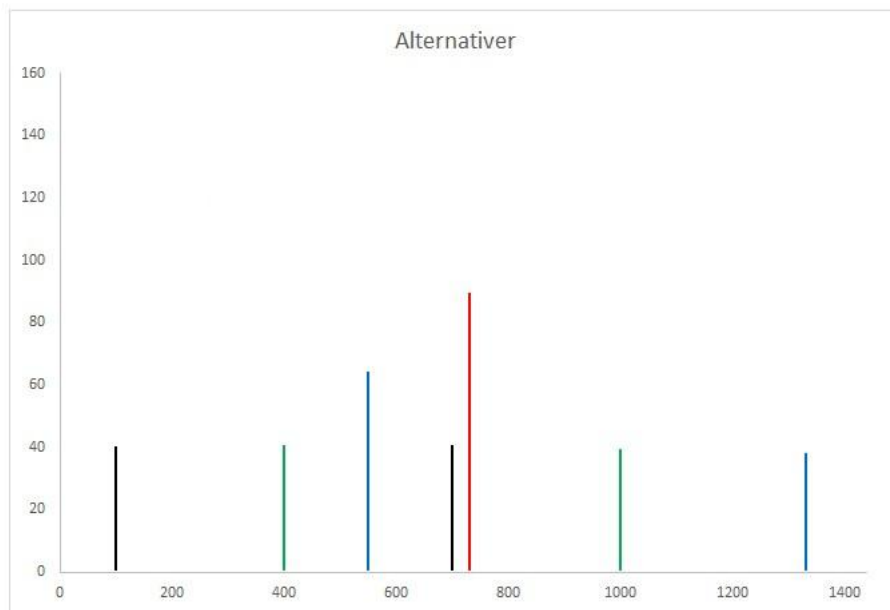
I første trinn beregnes beste vei for hver reisehensikt ved bruk av hensiktsspesifikke tidsverdier. Siden modellen har tre reisehensikter, utføres denne beregningen tre ganger. Her kommer tidsbesparelsene fra den innledende nettverksanalysen til nytte. For hver kombinasjon av avstigningsnode og tilgjengelig stasjon lagres omfattende informasjon om alle identifiserte veier, inkludert hvilke noder og lenker de passerer.

I første iterasjon gjennomgås nettverket uten å inkludere trengselskostnader. Reisekostnaden på ombordlenker og oppholdslenker beregnes da som $F_{sit} * tidsverdi$, mens byttelenker kun belastes med bytteventetid. Sannsynligheten for å få sitteplass beregnes ikke på dette stadiet, men håndteres i trinn 4.

Algoritmen tar utgangspunkt i hver mulig påstigningsnode i modellen og regner utover helt til alle tilgjengelige stasjoner ved en avstigningsnode er nådd og det ikke lenger er håp om å finne stasjoner til lavere reisekostnad. Det vil si når nye uutforskede lenker gir total reisekostnad fra noden som er høyere enn høyeste registrerte minste reisekostnad for å finne en tilgjengelig stasjon og alle tilgjengelige stasjoner er funnet. Høyeste registrerte reisekostnad for å nå en tilgjengelig stasjon oppdateres hver gang maksimale reisekostnad reduseres ved funn av nye veier.

3.4.2 Trinn2: Fordeling av turer på alternativer

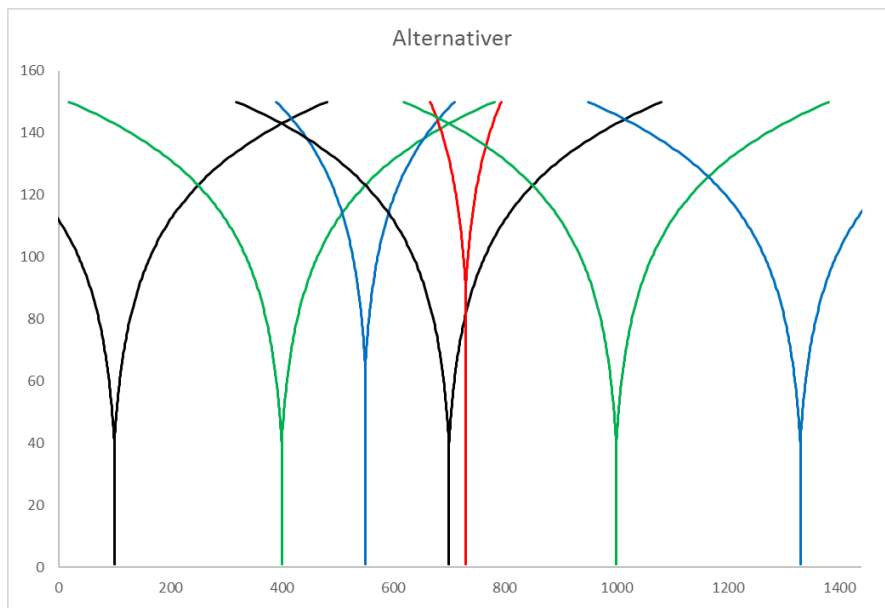
Resultatet av trinn 1 for de potensielle startnodene er et sett av alternativer med ulik generalisert reisekostnad og ulike ankomsttidspunkt. Figur 16 viser hvordan dette kan se ut for en relasjon og reisehensikt med syv mulige alternativer.



Figur 16 Illustrasjon av generalisert reisekostnad for mulige alternativer.

Her er generalisert reisekostnad angitt på y-aksen og ankomstminutt angitt på x-aksen. Merk at de generaliserte reisekostnadene på dette tidspunktet ikke inkluderer ventetid.

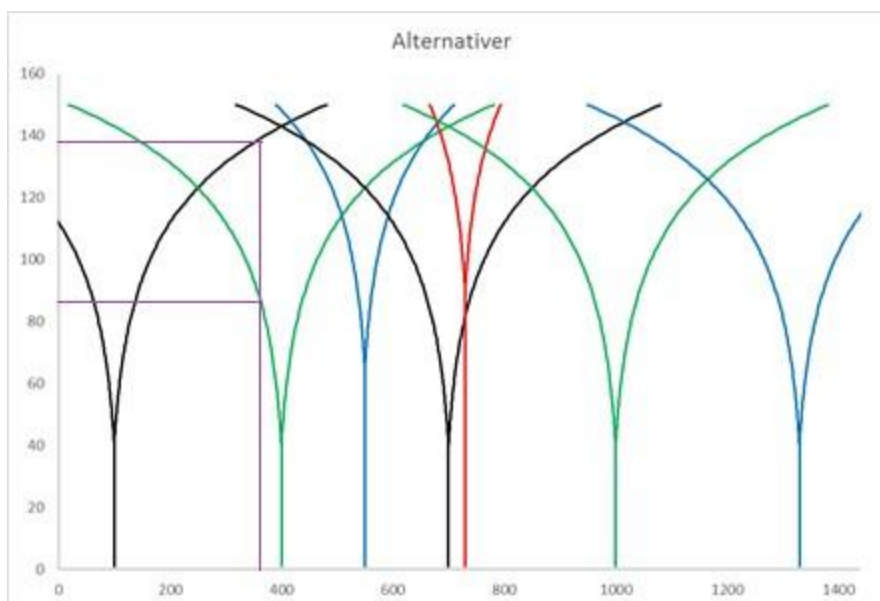
I trinn 2 kombineres ønsket ankomsttidspunkt med venteulampen, definert av ventetidsfunksjonen i kapittel 2.2.3. Dette medfører økte generaliserte reisekostnader jo større avstanden mellom ønsket og faktisk ankomsttidspunkt er. Figur 17 viser generaliserte reisekostnader for de ulike alternativene når man inkluderer ventetid.



Figur 17 Illustrasjon av reisekostnad inkludert ventetid for ulike alternativer.

Å inkludere ventetid i valg av avgang er en vanlig modelleringsstrategi når målet er å fordele belegg over avganger. Se for eksempel (Langdon, 2011) og (Martin Prior, 2011). Som følge av den visuelle framstillingen, kalles metoden gjerne en «Rooftop modell».

Når avviket mellom ønsket og faktisk ankomsttidspunkt øker, blir reisekostnadene høyere. Figur 18 viser reisekostnaden for en reisende som ønsker å ankomme i minutt 380 (klokken 6:20).



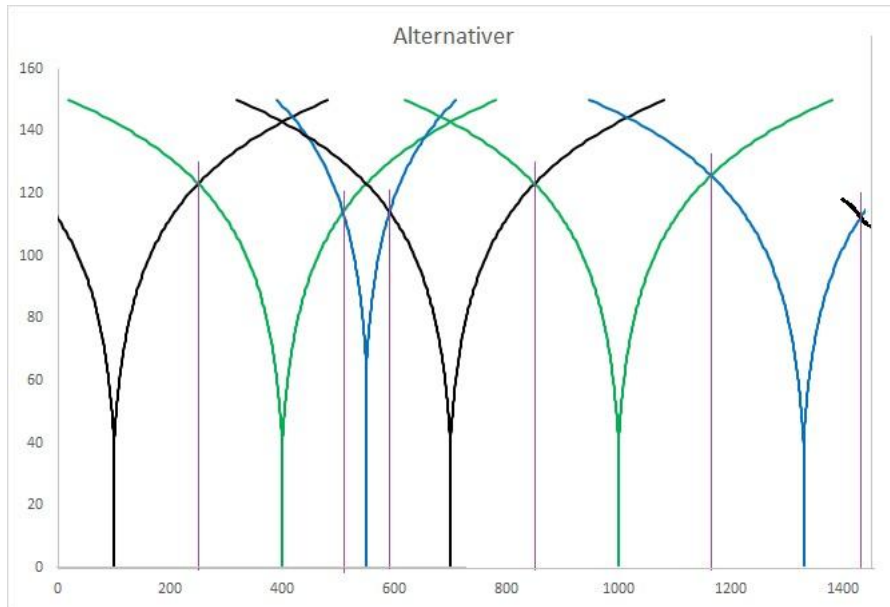
Figur 18 Illustrasjon av reisekostnad for ulike alternativer ved ønsket ankomst lik 380.

Av figuren ser vi at det grønne alternativet, til venstre i figuren, har en reisekostnad på 85, og er dermed det foretrukne alternativet. Det svarte alternativet er nest best, men gir vesentlig høyere reisekostnad. For alle ønskede ankomsttidspunkt vil det være ett alternativ som gir lavest sum av ventekostnad og øvrige generaliserte reisekostnader.

Figuren viser også at det, gitt et ønsket ankomsttidspunkt, finnes et krysningspunkt mellom hvert par av alternativer, der alternativene fremstår som like gode for den reisende. Det kan være

alternativer som ikke vil bli valgt av noen uansett. Det røde alternativet i figuren er et eksempel, da det sorte alternativet rett til venstre alltid blir foretrukket. Disse kalles dominerte alternativer.

I trinn 2 fjernes alle de dominerte alternativene før krysningspunktene mellom de gjenværende alternativene regnes ut. Figur 19 illustrerer hvordan resultatet av dette ser ut for eksempelet over.



Figur 19 Illustrasjon av krysningspunkt mellom gjenværende alternativer.

Her ser vi også at alternativet til venstre i figuren kommer igjen på høyre side, da det er mulig å reise over midnatt i modellen. Det vil da være like mange krysningspunkt, som ikke-dominerte alternativer. Disse brukes i kombinasjon med døgnfordelingene til å angi andeler og etterspørsel på de ulike alternativene.

De ikke-dominerte alternativene får hver sin andel $[0,1]$, der andelene summeres til 1. Dette omsettes så til antall turer, ved å multiplisere andelene for alternativet n med antallet turer for den aktuelle reisehensikten k , og reiserelasjonen (i, j) :

$$Turer(k, i, j)(n) = andel(k, i, j)(n) * Turer(k, i, j)$$

Merk at denne metoden for fordeling av turer, medfører at Trenklin og verdsettingsstudien (Stefan Flügel A. H., 2020) beregner ventetidskostnader for ulike ventetidsintervaller, gitt samme rutetilbud. Konsekvensene av dette omtales nærmere i (Sandvik, 2023). Som det fremgår av notatet, må man i praksis velge mellom en ventetidsfunksjon som gir samsvar med øvrige reisekomponenter og adferd, og en som gir rett beregning av trafikantnytte ved endringer i tilbudet.

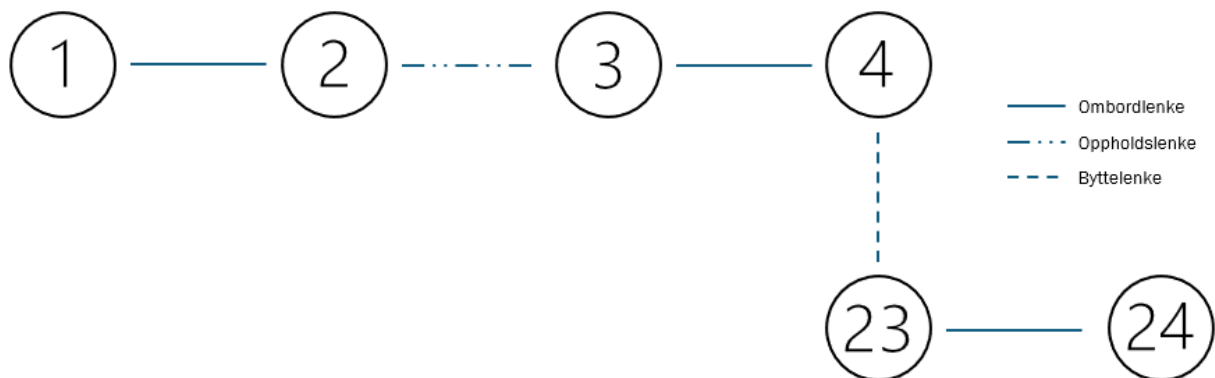
3.4.3 Trinn 3: Fordeling av turer i nettverket

Nettutlegging av turer skjer basert på de hierarkiske nodenumrene. Disse tildeles linjevis og avgangsvis, hvor nummereringen fortsetter fra der forrige linje slutter, slik at første stasjon på første avgang i linje 2 får nummeret etter siste stasjon på siste avgang i linje 1

Linje 1					Linje 2				
Avgang	1	2	3	4	Avgang	1	2	3	4
Oslo S	x	x	x	x	Drammen	x	x	x	x
Oslo S	1	7	11	17	Drammen	23	27	31	35
Asker	2	x	12	18	Lier	24	28	32	36
Asker	3	x	13	19	Lier	25	29	33	37
Drammen	4	8	14	20	Asker	26	30	34	38
Drammen	5	9	15	21	Asker	x	x	x	x
Tønsberg	6	10	16	22					
Tønsberg	x	x	x	x					

Figur 20 Hierarkisk node nummerering.

Basert på nettverket fra Figur 20 kan én vei fra Oslo S til Lier, for et alternativ, være som beskrevet i Figur 21.



Figur 21 Illustrasjon av reisevei i nettverket.

Når veiene for hvert alternativ leses inn, starter prosedyren ved første påstigningsnode. Linje, retning og avgang for denne noden registreres, og prosedyren følger deretter veien til enten sluttnoden eller til en byttelenke. Dersom en byttelenke møtes, lagres informasjon om noden før og etter byttet, og prosedyren fortsetter til slutten eller neste byttelenke.

Hver reise deles dermed inn i én eller flere delreiser, avhengig av antall bytter. I eksemplet over består alternativet av to delreiser: «1-lenke-2-lenke-3-lenke-4» og «23-lenke-24». Siden informasjonen om nodene er lagret, legges turene for alternativet på de ulike lenkene i alternativets vei. Et eksempel der $andel(k, i, j)(n) = 0,2$ og $turer(1,1,5) = 230$ vil gi resultatet vist i Figur 22.

Linje 1					Linje 2				
Avgang	1	2	3	4	Avgang	1	2	3	4
Oslo S - Asker	46	0	0	0	Drammen - Lier	46	0	0	0
Asker - Drammen	46	0	0	0	Lier - Asker	0	0	0	0
Drammen - Tønsberg	0	0	0	0					

Figur 22 Resultat av nettutlagte turer.

3.4.4 Trinn 4: Beregning av trengsel

Etter at turene er lagt ut på nettverket beregnes trengselen. Dette er noe mer komplisert enn beregning av kø i veinettet, der alle kjøretøy påvirkes likt. Trengselsulempen om bord på kollektivtransport avhenger blant annet av om passasjerer sitter eller står. I Trenklin avhenger sannsynligheten for å få sitteplass av hvor man går på toget, og påvirkes av passasjerutveksling ved hver avstigningsnode. Passasjerer som allerede står, kan kapre ledige seter før nye reisende kommer om bord. Disse mekanismene gjør at trengsel ikke kan beregnes som en enkel funksjon av belegget på en lenke alene. Detaljer om beregningene finnes i Vedlegg 5.1.

3.4.5 Trinn 5: Måling av iterasjonsprosessen

Når trengselskostnadene legges til på lenkene, endres den generaliserte reisekostnaden for alternativene. Dette kan føre til at andelen reisende som velger de ulike alternativene også endrer seg, slik at belegget på avgangene, og dermed trengselsnivået, igjen endres.

Iterasjonsprosessen går ut på å legge ut turer, oppdatere lenkebelegg og trengsel, og gjenta dette til endringene mellom to påfølgende iterasjoner blir små. Målet er å oppnå en tilnærmet likevekt der fordelingen på alternativene stabiliserer seg. Ved høy trengsel kan det være nødvendig med mange iterasjoner før modellen når dette punktet, og likevekten vil alltid være en tilnærming, ikke perfekt.

Prosessen for iterasjon til likevekt er ikke helt rett frem i Trenklin. Den beskrives derfor i mer detalj i Vedlegg O. I dette delkapittelet beskrives hvordan konvergensen måles. Etter hver modellkjøring skrives det ut en oversikt over iterasjonsforløpet, som viser både referansescenario og tiltaksscenario. Den grunnleggende idéen er lik for begge, men tiltaksscenarioet kan være mer komplekst, ettersom både rutevalg og totalt antall turer kan endres.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M		Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
1	Alt	Lenke	Omv	Treng	Nye	Ombestemme		1.	2.	3.	4.	5.	6.		Alt	Lenke	Omv	Treng	Nye	Ombestemme		1.	2.	3.	4.	5.	6.
2	fordeling	Belegg	andsel	lenker	alternativ	Isr (hyp)	It gk	ending	ending	ending	ending	ending	ending		fordeling	Belegg	andsel	lenker	alternativ	Isr (hyp)	It gk	ending	ending	ending	ending	ending	ending
3					95 886															94 794							
4	0	14 761	0,20	0	0	0	49 761	0	0	0	0	0	0	0	14 767	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	10 940	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10 946	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	7 129	0,20	1	103	0	6	103	103	103	140	672	798	2	7 133	0,20	38	103	8	265	103	109	256	633	1 262	1 395	
6	25	303	0,20	341	176	123	3 897	176	300	1 923	3 105	3 796	3 902	30	375	0,20	471	176	149	4 992	176	303	1 975	3 029	3 793	3 815	
7	17	208	0,20	217	0	86	-475	0	56	1 367	2 729	3 614	3 720	21	260	0,20	308	0	104	-690	0	59	1 596	2 767	3 563	3 646	
8	9	98	0,20	91	0	45	-738	0	6	813	2 448	3 583	3 712	11	126	0,20	142	0	57	-794	0	6	1 128	2 551	3 511	3 652	
9	5	46	0,20	43	0	25	-381	0	6	258	2 169	3 478	3 710	6	63	0,20	77	0	32	-530	0	6	462	2 315	3 433	3 644	
10	4	39	0,20	36	0	20	-83	0	4	120	2 006	3 439	3 710	5	51	0,20	58	0	25	-45	0	6	391	2 203	3 423	3 650	
11	3	25	0,17	23	0	16	-235	0	0	25	1 751	3 364	3 749	4	39	0,20	44	0	21	-170	0	2	214	2 063	3 383	3 686	
12	2	17	0,14	16	0	13	-49	0	0	12	1 416	3 161	3 710	3	28	0,17	29	0	17	-19	0	0	121	1 760	3 211	3 657	
13	2	22	0,12	22	0	16	-16	0	0	52	1 220	2 999	3 687	2	24	0,14	25	0	16	120	0	0	154	1 435	2 057	3 637	
14	1	16	0,10	16	0	15	-15	0	0	37	1 172	2 685	3 647	1	14	0,12	14	0	13	-298	0	0	10	1 157	2 885	3 589	
15	1	7	0,08	6	0	10	-47	0	0	6	648	2 367	3 557	1	11	0,10	13	0	12	85	0	0	7	931	2 642	3 524	
16	1	8	0,08	8	0	10	26	0	0	6	611	2 313	3 535	1	13	0,08	15	0	14	-50	0	0	6	899	2 494	3 501	
17	1	6	0,06	5	0	9	-117	0	0	6	505	2 058	3 458	1	11	0,07	12	0	14	61	0	0	6	827	2 278	3 443	
18														1	7	0,05	6	0	13	7	0	0	3	464	2 044	3 357	
19														0	6	0,04	6	0	12	-20	0	0	0	521	1 929	3 258	
20														14	880	0,20	600	0	69	-3 526	0	0	1 257	5 608	9 951	11 716	
21														11	107	0,16	80	0	67	-872	0	0	996	4 805	9 322	11 669	
22														7	68	0,13	49	0	54	97	0	0	480	4 011	8 591	11 503	
23														5	46	0,11	31	0	45	76	0	0	131	3 484	7 960	11 301	
24														4	34	0,09	22	0	39	74	0	0	35	2 914	7 345	11 058	
25														3	25	0,08	16	0	36	3	0	0	6	2 396	6 748	10 769	
26														2	19	0,06	12	0	33	2	0	0	0	1 946	6 207	10 428	
27														2	15	0,05	9	0	31	2	0	0	0	1 517	5 769	10 447	

Figur 23 Utskrift av iterasjonsforløp.

I utskriften skrives resultater for referansescenariet ut til venstre og resultater for tiltaksscenariet ut til høyre. Hver rad representerer én iterasjon. Hver kolonne representerer en størrelse som kan variere fra iterasjon til iterasjon, med unntak av kolonnen «Omvandsandel», som er en styringsparameter (se Vedlegg O).

Den første kolonnen, «Alternativfordeling», er den summerte forskjellen, over alle alternativer, mellom iterasjon t og $t - 1$ gitt ved:

$$\sum_{k=1}^9 \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^a Turer(k, i, j) * \sum_{n=1}^{m_{k,i,j}^{t-1}} \sqrt{(andel_t(n) - andel_{t-1}(n))^2} + \sum_{k=1}^9 \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^a Turer(k, i, j) * \sum_{n=1}^{m_{k,i,j}^{t-1}} \sqrt{(andel_t(n))^2}$$

Der a er antall stasjoner, og m^t er antall alternativ for hensikten og relasjonen i i iterasjon t .

Dette målet uttrykker hvor mye reiseadferden endrer seg mellom to påfølgende iterasjoner. For hver reisehensikt og relasjon sammenlignes andelen som velger hvert alternativ i iterasjon t

med andelene i iterasjon $t - 1$. Summen vektet med antall turer for den aktuelle relasjonen. Hvis nye alternativer dukker opp i en iterasjon, inngår de i beregningen med sin andel for den aktuelle iterasjonen.

Når denne summen blir lav, betyr det at få reisende bytter alternativ fra én iterasjon til den neste. Dette er et tegn på at modellen trolig nærmer seg likevekt. Merk at beregningen inkluderer alle alternativer, både dominerte og ikke-dominerte, og krever at alternativene har samme rekkefølge i hver iterasjon.

Den neste kolonnen er lenkebelegg. Her beregnes hvor mye belegget på hver lenke endrer seg fra en iterasjon til den neste ved:

$$\sum_n^{\text{alle lenker}} \sqrt{(belegg_t(n) - belegg_{t-1}(n))^2}$$

Kolonne tre er omvalgsandelen, som angir hvor mange som tillates å endre alternativ for hver iterasjon. Denne styringsparameteren er nærmere omtalt i Vedlegg 0.

Kolonne fire angir trengselskostnaden summert over lenkene:

$$\sum_n^{\text{alle lenker}} \sqrt{(trengselskostnad_t(n) - trengselskostnad_{t-1}(n))^2}$$

Kolonne fem angir hvor mange nye alternativer som dukker opp fra en iterasjon til den neste.

Kolonne seks, hypotetiske ombestemmelser angir antallet reisende som, alt annet likt, ville ombestemt seg og byttet alternativ om de hadde hatt mulighet:

$$\frac{\sum_n^{\text{alle lenker}} \sqrt{(belegg_t(n) - belegg_{t-1}(n))^2}}{\text{Omvalgsandel}}$$

Det betyr ikke nødvendigvis at alle faktisk ville ønsket å bytte, ettersom noen kanskje ville beholdt sitt opprinnelige valg etter at andre hadde endret sitt. Målet er derfor et statisk øyeblikksbilde for siste iterasjon, og viser antallet reisende som kunne funnet et bedre alternativ akkurat da.

Kolonne syv angir endringer i generaliserte reisekostnader:

$$GK_{tot_t} - GK_{tot_{t-1}}$$

Der GK_{tot_t} er gitt ved

$$\sum_{k=1}^9 \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^a Turer(k, i, j) * \sum_{n=1}^{m_{k,i,j}^t} andel_t(n) * GK_{alt_t}(n)$$

Som angir den totale generaliserte reisekostnaden i modellen. Ettersom beregningen angir endringer i GK, indikerer det også endringer i trafikanthytte. Det sier også noe om hvor presise resultatene er ved avslutning av prosessen.

De seks siste kolonnene angir «Alternativ fordeling» men beregnet for hvert sett av reisehensikt og relasjon:

$$\sum_{n=1}^{m_{k,i,j}} \sqrt{(andel_t(n) - andel_{t-1}(n))^2} + \sum_{m_{k,i,j}^{t-1}}^{m_{k,i,j}^t} \sqrt{(andel_t(n))^2}$$

Resultatet plasseres inn i intervallene:

Endringsintervall	
1.ending	>0,1
2.ending	>0,01
3.ending	>0,001
4.ending	>0,0001
5.ending	>0,00001
6.ending	>0,000001

Beregningene løper frem til iterasjonskriteriene, definert i parameterfanen er oppnådd.

3.4.6 Trinn 6: Beregning av GK og fastsettelse av beregningstype for nye turer

Når iterasjonsprosessen er ferdig, er fordelingen på alternativer og belegget i nettverket fastsatt (i hvert fall inntil videre). Neste trinn nå er å beregne generaliserte reisekostnader for hver reisehensikt og relasjon, samtidig som det bestemmes hvilken metode som skal brukes for å beregne nye turer.

Ettersom turer i Trenklin enten er enveis turer inkludert bytter, eller tur-retur inkludert bytter begge veier, skal det enten beregnes nye enveis turer eller nye tur-retur turer. I tillegg er det to ulike måter å beregne nye enveis turer på; periodevis og døgnavis. Til sammen gir dette tre ulike måter å beregne nye turer på:

Tabell 7 Metoder for beregning av nye turer.

Type	Navn	Beskrivelse
1	Døgn	Beregning av enveis turer for hele døgnet samlet.
2	Periode	Beregning av enveis turer for periodene morgen, lav, ettermiddag og kveld/natt.
3	Tur-retur	Periodevis beregning av ut- og hjemreise (tur-retur)

Tur-retur-turer beregnes alltid periodevis. For at GK-beregningene skal være konsistente med beregningene av nye turer, brukes alltid samme beregningstype for begge.

For å bestemme hvilken beregningstype som skal benyttes, settes det først opp en matrise «Beregn_periodevis», med verdi *SANN/USANN* for hver kombinasjon av reisehensikt og relasjon:

- Sann: Minst to alternativer i hver periode (MLEK).
- Usann: Færre enn to alternativer i én eller flere perioder.

For fritids- og forretningsreiser benyttes beregningstype 1 dersom verdien er *USANN*, og type 2 dersom verdien er *SANN*.

For arbeidsreiser benyttes beregningstype 3 dersom verdien er *SANN* for både relasjonen (*i, j*) og relasjonen (*j, i*). Hvis ikke vurderes hver retning separat, tilsvarende som de andre reisehensiktene.

Beregning av GK med type 1 gjøres ved at GK (uten ventetid), for alle alternativ, vektet med alternativets beregnede andel. Ventetidsulempe legges til ved å gå gjennom alle minutter mellom alternativets to krysningspunkt, og det beregnes ventekostnad etter venteulempenfunksjonen, vektet med minuttets døgnandel.

Beregning av GK med type 2 gjøres tilsvarende som type 1, men kun alternativer med ankomsttidspunkt innenfor perioden tas med. Ved beregning av ventetidsulempe brukes alle minutter mellom alternativenes krysningspunkt, selv om disse ligger utenfor tidsperioden.

Beregning av GK med type 3 gjøres for de fire periodene, tilsvarende som type 2. Men for hver periode er GK en vektet sum av ut-reisen i perioden, og hjemreisen. Denne periodevise GK-en, hver vei, beregnes på samme måte som for type 2. Tur-retur reisens periode bestemmes av når ut-reisen foretas. Gitt utreiseperiode er det imidlertid ikke gitt når hjemreisen foretas. GK for hjemreisen beregnes derfor som en vektet sum av GK for de hjemreiseperiodene som kan være aktuelle. Vektene er gitt av sannsynlighet for hjemreise i perioden, gitt utreiseperiode.

3.4.7 Trinn 7: Nye turer

Når GK er beregnet, beregnes nye turer for alle kombinasjoner av reisehensikt og relasjon, etter deres beregningstype. Beregningen av nye turer baserer seg på elastisiteter. Formuleringen er noe annerledes for priselastisitet og elastisitet for generaliserte enn den mest vanlige formen, og er gitt ved:

$$y_1 = y_0 * e^{\left(\frac{\Delta x}{x_0} * el_x^y\right)}$$

Forskjellen med den vanlige formuleringen, er analog med årlig og kontinuerlig forrentning. Med fire prosent rente i året har man akkurat 4% mer penger ved årets slutt om det er årlig forrentning, mens man har 4,08% mer om det er kontinuerlig forrentning. Forskjellen mellom de to måtene å regne på øker med Δx . Formuleringen er valgt på grunn av fordelene i at slutteffekten blir lik uavhengig av om tilbudsforbedringen kommer i flere trinn eller om alt kommer på en gang.

For alle kombinasjonene av reisehensikt og relasjon beregnes nye turer ved:

$$Turer_{ref} * e^{\left(\frac{GK_{tiltak} - GK_{ref}}{GK_{ref}} * el_{GK}\right)} + Turer_{ref} * (Bvekst - 1) * el_{Bvekst}$$

Der *Bvekst* er vekstraten angitt i arkfanen «Befolkningsvekst». For dette leddet benyttes ikke den kontinuerlige formuleringen.

Metodikken er som vist med elastisiteter, bare tilpasset beregningstypene. I alle tilfeller lages det også aggregerte døgnmatriser for tiltaksscenariet. Beregningen itererer videre for å oppnå likevekt både i rutevalg og turantall. Likevekt i turantallet beregnes i tre trinn:

1. Lager nye turmatriser basert på etterspørselseffekt av tiltaket hvor ny trafikk enda ikke er regnet ut, slik at trengselseffekten av den nye trafikken ikke har hatt dempende effekt på etterspørselen.
2. Lager nye turmatriser basert på etterspørselseffekten av tiltaket hvor den fulle trengselseffekten av ny trafikk regnes med.
3. Vekting av matrise 1 og 2. Man vil forvente at endelig resultat ligger et sted imellom.

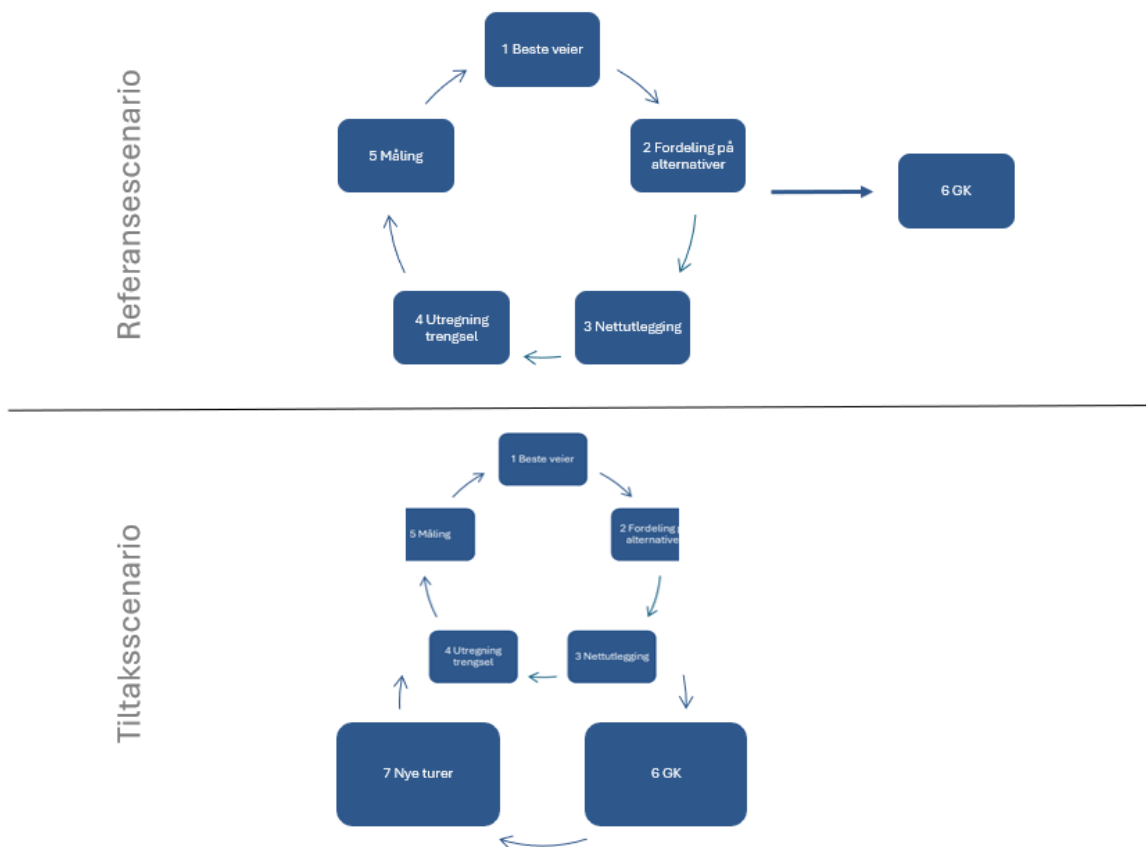
Når turene beregnes periodevis eller som tur-retur blir ikke turene fordelt over døgnet på samme vis som ved den opprinnelige døgnfordelingen. Turene faller da kun i de periodene det beregnes mertrafikk. Det betyr igjen at døgnfordelingene endrer seg noe fra referanse til tiltak.

3.4.8 Oppsummering av iterasjonsprosessen

Delkapitlene over beskriver beregningen av generaliserte reisekostnader og nettutlegging av turer. Prosessen ble delt opp i trinnene:

1. Beste veier for alle reisehensikter.
2. Fordeling av turer på alternativer.
3. Fordeling av turer i nettverket.
4. Beregning av trengsel.
5. Måling av iterasjonsprosessen.
6. Beregning av GK og fastsettelse av beregningstype for nye turer.
7. Nye turer.

Modellen itererer over disse trinnene for å oppnå likevekt. Først itereres det over trinn 1-5 for å oppnå likevekt i rutevalg, deretter beregnes de generaliserte reisekostnadene i trinn 6. Trinn 7 gjøres kun i beregning av tiltaksscenariet. Her itereres det over alle trinnene til det er likevekt både i turantall og rutevalg.



Figur 24 Iterasjonsforløp i referansescenario og tiltaksscenario.

Beregningen av tiltaksscenariet har en ytterløkke for å inkludere endringer i turantallet. Omfanget av nye turer beregnet basert på turer i referanse, endringen i generaliserte kostnader, og elastisiteter angitt av brukeren.

4 Brukerveiledning

Dette kapittelet forsøker å gi en veiledning i bruk av modellen. For å unngå for mye gjentakelser fra kapittel 2, fokuseres det her mest på ting som er lurt å tenke på ved oppsett av en beregning. Det anbefales derfor også å se til kapittel 2, blant annet til oppsett av inndata. Kapittelet tar utgangspunkt i at leseren fra før, har kjennskap til transportanalyse som fag.

4.1 Oppsett av beregning

Før en beregning, er det nødvendig å legge inn inndata, som beskrevet i kapittel 2.3. I tillegg må man sette opp verdier for parametere, samt fylle inn forutsetninger, for å sikre seg at modellen er satt opp riktig til beregningens formål.

I arkfanen «Parametere» kan man endre på verdiene for de ulike døgnfordelingen til bruk i kalibreringsprosessen, for å få modellen til å stemme bedre med observerte data. Dokumentasjonen til døgnfordelingsmodellen beskriver hva de ulike parameterne gjør. Typisk gjøres det endringer i disse verdiene underveis i kalibreringsarbeidet.

Det er mulig å sette opp at modellen skal beregne likevekt for fritids- og forretningsreiser. Disse er typisk mer sporadiske enn arbeidsreiser, og det er mindre rimelig å anta at disse kan avpasse sitt valg av avgang til forventninger om trengsel. I tilfeller hvor det er to konkurrerende togprodukt kan det imidlertid være rimelig å anta at disse to etter hvert får hvert sitt rykte for å være fulle eller ha god plass til ulike tidspunkt og at en langsiktig likevekt kan innebære at reisende velger basert på forventet trengsel for et togprodukt i en bestemt tidsperiode. Løsningen som er valgt for dette er at det først i arket forutsetninger kodes inn for hvilke segmentmodeller som det skal beregnes likevekt for, også for fritid og forretning. Dette vil da gjelde for alle undersegmenter for fritid og forretning. Likevekten beregnes basert på en forventning om sannsynlighet for sitteplass ved påstigning knyttet til togprodukt, tidsperiode (morgenrush, lavtrafikk ettermiddagsrush og kveld/natt) og retning. Hvis det er en tendens til at eksempelvis VY tog er veldig fulle i morgenrushet i retning fra Oslo lufthavn Gardermoen til Oslo, vil det bli større sannsynlighet for at Flytoget velges. Tidsverdien for ombordtid på reisen er dobbel hvis sannsynligheten for sitteplass er null, mens den ikke er noe høyere om sannsynlighet for sitteplass er én. Tidsverdien interpoleres lineært mellom disse to verdiene slik at om sannsynligheten for sitteplass er 50 % er også tidsverdien for ombordtid 50 % høyere. Det er viktig å være klar over at oppsettet krever at alt tilbud som trafikkerer flyplassen kodes enhetlig med hensyn til retning. For eksempel mot flyplassen er alltid retning 1.

I arkfanen «Forutsetninger», nærmere beskrevet i kapittel 2.3.2, setter man opp hvilke takstsystem togproduktene skal benytte, verdier knyttet til bekvemmelighet og forsinkelse, og hvilke segmenter beregning av likevekt for fritid og forretningsreiser eventuelt skal gjelde for. For hver segmentmodell kan man legge inn en vekt på ombordtiden knyttet til forsinkelse. Kostnaden ved forsinkelse beregnes da basert på tidsverdien for segmentmodellen, oppgitt forsinkelse for togproduktet, og denne vekten.

4.2 Etablering av dagens situasjon, kalibrering og validering

I dette delkapittelet går vi gjennom hvordan man kan etablere en beskrivelse av dagens situasjon i Trenklin.

Det finnes ingen definisjon av begrepet «dagens situasjon», og det er heller ikke omtalt i Jernbanedirektoratets begrepskatalog. Her brukes begrepet om et år, en dag, eller en annen, gitt tidsperiode, der det finnes datagrunnlag for å si noe om etterspørselen. I praksis vil dette si at

dagens situasjon må være noe bakover i tid. Et scenario der man har modellert eller framskrevet etterspørselen, vil ikke kunne kategoriseres som dagens situasjon.

For å beskrive dagens situasjon tar vi utgangspunkt i at etterspørselen brytes ned til fem delkomponenter.

- Hvor mange som reiser
- Hvorfor de reiser
- Hvor de reiser
- Når de reiser
- Hvilken billettype de reiser med

Fornuftig detaljeringsnivå for hver av komponentene avhenger av hva man har av datagrunnlag, og hvor detaljert analysen skal være.

4.2.1 Datakilder

Hvilke datakilder, og kunnskapsgrunnlag, som er tilgjengelig, og kvaliteten på disse, avhenger av hvilke marked man skal se på. Tabell 8 beskriver noen kilder som kan være nyttig i arbeidet.

Tabell 8 Eksempler på datagrunnlag for etablering av dagens situasjon.

Grunnlag	Beskrivelse	Kilde
<i>Landsdekkende relasjonstall</i>	Beskriver årlig antall reiser mellom stasjonspar, fordelt på togprodukt.	Operatør
<i>FRAM data / telldata</i>	Antall av- og påstigninger per stasjon, per tognummer, per dato.	JDIR/Operatør
<i>Reisehensikt og døgnfordeling</i>	Metode for å fordele reiser på hensikt, og ønsket ankomsttid over døgnet.	(Stefan Flügel A. U., 2022)
<i>Preferanse for tog til og fra Oslo lufthavn</i>	Rapport som beskriver etterspørsel med tog til og fra Oslo lufthavn Gardermoen	(Ingunn Ellis, 2018)
<i>Trafikkdata</i>	Rapporteringskrav 1 - Trafikkinntekter	Operatør

Landsdekkende relasjonstall rapporteres årlig av operatørene, og angir hvor mange årlige reiser som foretas mellom de ulike stasjonsparene, fordelt per linje. Vi har i dag ikke full innsikt i hvordan disse tallene utarbeides. Undersøkelser viser at tall etter 2019 i større grad enn tidligere inneholder feil og mangler. Eksempelvis virker relasjonstall på Jærbanen de senere årene å være av lav kvalitet. Sammenligninger mot årlige tall fra FRAM viser også betydelige forskjeller mellom datakildene, for enkelte markeder.

I skrivende stund er data fra FRAM tilgjengelig for lokal- og regiontog på Østlandet, Bergensområdet og Trondheimsområdet. Det arbeides med å få på plass en avtale for Jærbanen. Datagrunnlaget er en blanding av observerte APC tellinger, og estimerte verdier der APC tellinger ikke er tilgjengelig. Dataene inneholder antallet av- og påstigninger per tognummer per dato, og kan benyttes til å si noe om hvor mange som er om bord, på ulike deler av strekningene, for hver avgang. For fjerntogprodukter kan statistikk om salg av billetter benyttes. Om man skal analysere markedet på Østlandet, er man for eksempel avhengig av å ha informasjon om reisende med Flytoget i tillegg til dataene som finnes i FRAM.

Metoden for reisehensikt og døgnfordeling brukes for å bryte ned reiser på forskjellige hensikter og tidspunkt på døgnet, for de ulike døgntypene. Dette gjøres for hvert stasjonspar. Metoden er estimert på nasjonalt nivå, og det anbefales å gjøre kalibreringer for hver enkelt analyse opp mot telldata eller andre datakilder. Metoden egner seg best for lokal- og regiontog.

Det er utarbeidet en rapport som beskriver reiser til og fra Oslo lufthavn. Rapporten omtaler blant annet reisehensikter og informasjon om hvorvidt passasjerene skal videre med fly. Rapporten inneholder også informasjon fordelt mellom daværende NSB, og Flytoget. Det anbefales å benytte informasjon fra rapporten til å kalibrere modellen for reisehensikter til og fra Oslo lufthavn Gardermoen, eventuelt til å overskrive resultatene for relasjoner der stasjonen inngår. Det er verdt å merke seg at rapporten ble utarbeidet før pandemien i 2020 og at markedet kan ha endret seg siden den gang.

Inntektsdata kan benyttes til å justere de faktiske billettprisene de reisene stilles ovenfor. Typisk kan denne type data brukes til å kalibrere rabattfaktorer, eller fordeling av ulike billettyper, avhengig av analysen. I områder med takstsamarbeid er det viktig å ha kontroll på hvorvidt inntektene tilfaller togoperatøren eller øvrige kollektivselskap.

4.2.2 Metode

For å få en god beskrivelse av dagens situasjon, er man avhengig av å kombinere de ulike datakildene. Metoden som beskrives her tar utgangspunkt i at det er et vesentlig poeng å beskrive trengselseffekter i analysen. For å kunne studere trengsel, er man avhengig av å kunne beskrive antallet passasjerer om bord på hver enkelt avgang, på hvert enkelt snitt, til enhver tid. For å kunne benytte resultatene i en samfunnsøkonomisk analyse, er man i tillegg avhengig av å kunne si noe om hvor mange dager i året denne effekten oppstår, da det er resultater aggregert til årlige nivåer som benyttes. Metoden er best egnet for lokal- og regiontog.

Steg 0: Bestemme analysens oppbygning og detaljeringsgrad

Før man går i gang med bearbeiding av datagrunnlaget, er man nødt til å bestemme seg for analysens oppbygning og detaljeringsgrad. Det er flere faktorer som spiller inn her. Hva man skal svare ut, hvilket detaljeringsnivå som er hensiktsmessig eller godt nok, og hvor mye tid og ressurser man har til å gjennomføre analysen må vurderes.

Det første som må gjøres er å bestemme hvilket geografisk område, og hvilket rutetilbud analysen skal omfatte. Den geografiske avgrensningen gjøres ved å velge ut hvilke stasjoner det skal analyseres turer mellom, og rutetilbudet defineres av hvilke linjer som inkluderes. Det er viktig å passe på at stasjonsparene og tilbudet som velges ut samsvarer, slik at man eksempelvis ikke blir stående med stasjoner uten tilbud.

I tillegg er det nødvendig å avklare hvilken døgntype beregningen skal gjelde for. Dette vil ha påvirkning på forutsetninger om turomfanget for de ulike reisehensiktene, og kan også påvirke valg av rutetilbud, da dette varierer mellom ulike dager. Typisk deles dagene i året inn i ulike grupperinger, basert på noen fellestrekk. Vi pleier å si at året består av tre døgntyper:

- Høye virkedøgn: Døgn der både etterspørsel og tilbud er høyt. Typisk mandag-fredag utenom ferie og helligdager.
- Lave virkedøgn: Døgn der tilbudet er høyt, men etterspørselen lavere. Typisk ferieperioder.
- Restdøgn: Døgn der både tilbud og etterspørsel er lavere. Typisk helg og helligdager.

Ved en slik inndeling, regner man normalt at året består av 215-220 høye virkedøgn, 35 lave virkedøgn og 110-115 restdøgn. Dette kan imidlertid variere noe fra år til år. Inndelingen passer åpenbart ikke for fjerntogmarkedet, og her må man lage en annen type inndeling basert på de samme prinsippene. Ofte har man begrenset tid og ressurser til å gjennomføre analysene. Derfor

er det vanlig at man slår sammen lave virkedøgn og restdøgn, slik at man opererer med 215-220 virkedøgn og 145-150 restdøgn.

Det bør gjøres en vurdering av markedene som skal analyseres, og segmentering av disse. Arkfanene «Segmentmodell» og «Segmentmodeller» hører sammen. Her angis tidsverdi og rabattfaktorer for de ulike segmentmodellene. Det er også mulig å splitte opp hvert segment i undersegmenter. For hver relasjon i «Segmentmodell» angis så, med tallverdi, hvilken modell som er gjeldene for hver relasjon. Hvilken inndeling man ønsker er opp til brukeren, eksempelvis kan man dele inn etter avstand mellom relasjonene, med tilhørende tidsverdier fra (Stefan Flügel A. H., 2020). Et alternativ er å benytte de kontinuerlige tidsverdiene fra studien, for å etablere et tydeligere skille mellom relasjoner typisk betjent av lokaltog og relasjoner betjent av regiontog.

Turer til og fra flyplasser skiller seg en del fra det øvrige markedet. Ofte benyttes derfor en egen segmentmodell for disse. Avhengig av hvor viktige disse turene er for analysen, kan det være lurt å splitte disse opp i undersegmenter. (Ingunn Ellis, 2018) studerte disse turene nærmere, og kan være et grunnlag for denne segmentmodellen.

I arkfanen «Parametere» må man oppgi hvor mange segmentmodeller, eksklusive undersegmenter, som skal benyttes i beregningen.

40	Antall_segmentmodeller	4	heltall	Hvor mange ulike segmentmodeller det skal være
----	------------------------	---	---------	--

Figur 25 Parameter for antall segmentmodeller.

I arkfanen «Parametere» kan man endre på verdiene for de ulike døgnfordelingen til bruk i kalibreringsprosessen, for å få modellen til å stemme bedre med observerte data. Dokumentasjonen til døgnfordelingsmodellen beskriver hva de ulike parameterne gjør. Typisk gjøres det endringer i disse verdiene underveis i kalibreringsarbeidet.

Det er også mulig å endre verdiene for ventetidsfunksjonen og trengselsfunksjonene. Som nevnt tidligere, er det viktig at trengselsfunksjonen og det oppgitte arealet for de ulike materielltypene til sammen representerer trengselsulempen passasjerene opplever om bord.

Steg 1: Etablere sammenligningsgrunnlag

Basert på oppbygningen av analysen, er første steg å etablere et representativt sammenligningsgrunnlag. Formålet er å finne etterspørselsvolumet, av/påstigninger og antall passasjerer om bord, per stasjon og snitt, for de ulike avgangene. Dette gjøres for de ulike døgn typene man skal se på. Om man er interessert i årlige resultater, men har begrenset tid og ressurser, er det lurt å prioritere (høye)virkedøgn. Det er her det er flest reisende, og størst utfordringer med ombordkapasitet. Dette gjøres ved å ta utgangspunkt i FRAM data, eller andre tilgjengelige observerte data, og så gruppere data for de relevante datoene sammen. Verdiene for hver enkelt dato summeres og deretter deles på antallet dager i døgn typen. Til slutt ender man opp med en gjennomsnittsdag for døgn typen. Det er viktig å sette seg inn i sammenligningsgrunnlaget, blant annet ved å kartlegge eventuelle driftsavvik eller andre hendelser, som kan påvirke datagrunnlaget.

Steg 2: Etablering av OD matrise og annen inndata

For å kunne si noe om hvor passasjerene reiser, er det lurt å ta utgangspunkt i de landsdekkende relasjonstallene. Tallene er rapportert per linje, og må sammenstilles til en felles helturmatrise for hele landet. Dette gjøres typisk én gang i året, når tallene rapporteres inn. I den enkelte analyse kan det imidlertid oppstå behov for å gjøre endringer i matrisen, enten ved feilrettinger, eller ekskludering av enkelte linjer som ikke skal inngå i analysen.

Enkelte turer rapporteres som «gjennomgående turer» på en linje, og må fjernes fra datagrunnlaget, da vi kun er interessert i helturer. Ofte opereres det under en antagelse om at

turmatrisene er symmetriske, men det er ikke et krav, med unntak for arbeidsreiser. Et eksempel på usymmetriske matriser, er om man skal analysere reiser til og fra flyplass på en fredag eller en søndag.

Steg 3: Fordeling på døgntyper og reisehensikt, og annen inndata

Det er utviklet en arbeidsbok i Excel som forenkler prosessen med å etablere nødvendige arkfaner med inndata til Trenklin. I tillegg er det nødvendig å legge inn arkfaner med rutetabeller og togmateriell.

Inndata i arkfanen «Forutsetninger» er nærmere omtalt i kapittel 2.2.6 og 2.3.2. I kolonnene A:H legges det inn en rad per linje i henholdsvis referanse og tiltak. Antallet i referanse og tiltak kan være ulikt, og er avhengig av rutetabellene.

Det er nødvendig å bryte ned de årlige turene til reiser per dag, samt å fordele de på ulike reisehensikter. For å gjøre det, kombineres matrisen fra steg 2 med resultatene fra reisehensiktmodellen. Resultatet blir turmatriser for de ulike reisehensiktene per døgntype.

En oversikt over parameterne finnes i Tabell 3. Det er viktig å gå gjennom denne arkfanen før en beregning, for å sikre seg at modellen er satt opp riktig til beregningens formål. Det kan være lurt å sette *Kjør til likevekt* = *USANN*, og *Tiltak* = 1. Dette gjør at modellen kun beregner referansesituasjonen, og ikke itererer over de reisendes rutevalg. For store modellområder sparer dette mye beregningstid. Verdier endres igjen i henholdsvis steg 5, og når man skal beregne tiltak.

Steg 4: Fordeling over døgnet

Steg 3 gir oss informasjon om hvor mange som reiser mellom hvert stasjonspar per dag, og hvorfor de foretar reisen. Fordeling av etterspørselen over døgnet kan gjøres på to måter i Trenklin. Enten ved bruk av døgfordelingsmodellen, eller ved forhåndsdefinerte fordelinger. I fanen «Egne Døgfordelinger» angis det hva som skal benyttes for hver relasjon. For verdien 0 benyttes døgfordelingsmodellen, mens for andre verdier benyttes fordelinger fra arkfanene «Fordeling_arbeid», «Fordeling_fritid» og «Fordeling_forretning».

Parameterverdier til døgfordelingsmodellen kan endres i arkfanen «Parametere». Ved bruk av døgfordelingsmodellen er det mulig å ha ulik fordeling for de ulike reisehensiktene som fritidsreiser er splittet opp i. I versjon 3.3 er det en svakhet i døgfordelingen for skolereiser. Fordelingen burde trolig inkludert et slags pendler element, tilsvarende som for arbeidsreiser.

Steg 5: Fordeling på avgang og mellom togprodukt

Etter å ha kommet frem til fordelingen over døgnet, er neste steg å fordele turene ut på de ulike avgangene, og mellom de ulike togproduktene. Dette gjøres automatisk med en beregning i Trenklin, ved at modellen kombinerer etterspørselen og adferdsparameterne med det tilhørende tilbudet. Modellen skriver ut antallet av- og påstigninger, per stasjon, per avgang, per reisehensikt, samt antall passasjerer om bord på hvert snitt for hver avgang. I disse beregningene, er det lurt å sette *Kjør til likevekt* = *SANN* dersom man forventer at trengselsnivået vil påvirke valg av avgang.

Kalibrere og Validere modellen

I arbeidet med å forsøke å få modellens resultater til å stemme godt overens med observerte data fra virkeligheten, benyttes ofte begrepene «kalibrering» og «validering».

- Kalibrering er en prosess der man sammenligner modellresultater mot empiriske data, og bruker tilgjengelige kalibreringsgrep for å oppnå samsvar mellom de to.
- Validering er en prosess der man sammenligner modellresultater mot empiriske data, uten å gjøre justeringer i modellen.

Som hovedregel bør validering gjøres mot andre data enn de som er benyttet til kalibrering. Bakgrunnen for dette er at formålet med valideringen er å dokumentere hvorvidt det gjennomførte kalibreringsgrepet har hatt ønsket effekt. Typisk benytter man et utvalg av datasettet til kalibrering, og de resterende dataene til validering.

Arkfanen «samlet_belegg_og_kapasitet» inneholder de nødvendige resultatene for å gjennomføre kalibrering og validering av modellen.

Kalibreringsprosessen i Trenklin består av å iterere over steg 3-5 til man oppnår akseptabelt samsvar med datagrunnlaget fra steg 1.

Ved å kombinere de ulike datakildene, øker usikkerhetsgraden noe, og det kan oppstå større eller mindre avvik når man går mer i detalj. Dersom man oppdager avvik som anses som uakseptable, er det nødvendig å gå tilbake til steg 3-5, og kalibrere/justere parameterne som er benyttet. Hvilke avvik som anses som uakseptable, vil variere fra analyse til analyse. Eksempelvis er man i enkelte analyser kun interessert i å se på rushtid. I slike tilfeller er det mindre problematisk med avvik utenfor rushperioden, enn analyser der man ser på endringer i tilbudet i grunnrute. For å vurdere hva som er akseptabelt er det viktig med kunnskap om hvordan avvikene påvirker resultatene av analysen man gjør. Under følger et forslag til rekkefølge for validering, og noen tips til noen kalibreringsgrep.

1. Sum av- og påstigninger for alle stasjoner i området man analyserer.
2. Sum av- og påstigninger for alle stasjoner i området fordelt per time.
3. Sum av- og påstigninger per stasjon per time og retning.
4. Belegg per snitt fordelt per time.
5. Belegg per snitt fordelt per time, linje og togprodukt.
6. Av- og påstigende, og belegg, per stasjon/snitt, per avgang.

Avvik i det første punktet kan ha to årsaker. Den første er at man har feil fordeling av antallet turer mellom de ulike døgntypene. Dette kan korrigeres ved å gjenta steg 2 med andre parametere. Den andre årsaken er at det rett og slett kan være forskjeller mellom datakildene for telldata og relasjonsdata. Altså at summen av antallet årlige turer varierer mellom de to datakildene. Dette vil ikke kunne korrigeres ved å flytte turer mellom døgntypene. Det er imidlertid viktig å huske på at antallet påstigninger i telldataene inkluderer bytter, slik at én reise kan ha flere påstigninger, mens i relasjonsdataene er det kun helturer. Det er derfor naturlig at antallet påstigninger i telldata er høyere enn i relasjonsdata. Men da hovedsakelig for stasjoner der det er naturlig å foreta bytter. Om man finner avvik som ikke kan forklares med bytter, må man bestemme seg for om det er telldataene eller relasjonsdataene som har det «korrekte» volumet på den årlige etterspørselen. Vanlig praksis har vært å anta at det er relasjonsdataene som er førende for årlig etterspørsel, mens telldata er førende for fordeling av etterspørsel mellom døgntyper. Dette har blant annet sammenheng med at man tidligere har hatt relasjonsdata for alle markeder, mens det har vært mindre tilgjengelig telldata. Ved å benytte relasjonsdataene som kilde for antall årlige reiser, blir analyser på tvers av markeder mer sammenlignbare.

Gitt at man har kalibrert inn det første punktet, vil avvik i punkt to skyldes forutsetninger i steg 3 og steg 4. Typisk vil man her gå inn å justere parameterne for døgnfordelingene for de ulike reisehensiktene. Om man benytter 2019 som dagens situasjon, er det sjeldent behov for å justere reisehensiktsfordelingen på overordnet nivå. Dette gjøres heller når man går inn og ser på enkelt stasjoner, eller relasjoner. Om man derimot benytter 2023 eller senere år som dagens situasjon, kan det være behov for å gjøre tilpasninger i inndeling av reisehensiktene, for å, blant annet, fange opp endringer som følge av pandemien.

For å kunne beregne korrekte effekter knyttet til trengsel eller retningsavhengige tilbudsendringer, er det nødvendig å ha kontroll på at passasjerene reiser i riktig retning til riktig tid. Avvik i det tredje punktet pleier å være knyttet til arbeids- og skolareiser. Et grep som typisk benyttes i kalibreringen, er å justere pendlerindeksene for relasjoner som inkluderer stasjonen man ser på. Ved å justere opp verdien på pendlerindeksen mellom stasjon A og stasjon B, flytter man antallet arbeidsreiser som foregår fra A til B om ettermiddagen til å foretas om morgenen. Tilsvarende må man så endre pendlerindeksen fra stasjon B til stasjon A ned, slik at man har konsistens i indeksene. Pendlerindeks $BA = 1/\text{pendlerindeks } AB$. Tilsvarende justering kan gjøres for skolareiser.

Det er verdt å merke seg at når man kommer ned på dette detaljeringsnivået, vil det være utfordrende å få alle stasjoner, retninger og tidsperioder til å stemme samtidig. Spesielt dersom man ser på et område med mange stasjoner. Om man justerer parameterne for døgnfordelingene ender man fort opp med at det stemmer noe bedre for enkelte stasjoner, mens andre stasjoner trekkes i motsatt retning. Her må man gjøre en vurdering av hva man anser som godt nok, og hvilke stasjoner som er mest relevant for analysen som skal gjøres. En siste mulighet som kan benyttes dersom man ikke klarer å få samsvar, er å gå bort i fra døgnfordelingsmodellen for relasjoner man har utfordringer med, og heller benytte egendefinerte døgnfordelinger. Dette grepet benyttes eksempelvis ofte for relasjoner som inkluderer Oslo lufthavn Gardermoen.

Avvik i punkt 4 henger tett sammen med punkt 3, og er egentlig bare en ekstra valideringsmulighet for de samme kalibreringsgrepene. Gitt at man har fått samsvar på de foregående punktene, kan avvik i punkt 5 justeres ved flere grep:

- Justere døgnfordelingene.
- Gjøre endringer i segmentmodellene.
- Justere forholdet mellom ventetid og trengselsulempe.
- Justere byttemotstand.
- Justere de ulike togproduktenes forsinkelse og bekvemmelighets verdier.

4.3 Beregning av tilbudsendringer

I mange analyser er man interessert i å, ikke bare beskrive markedet slik det er i dag, men også å studere hvilke effekter endringer i togtilbudet vil ha. For å gjøre dette må man sette parameterverdien *Tiltak* = 2.

Tilbudet som skal gjelde for tiltaket legges inn i arkfanene som slutter med benevnelsen «_t». Man må også huske å oppdatere listen over hvilke linjer som inngår i tiltaket i arkfane «Forutsetninger». Hvis beregningen skal representere et annet beregningsår enn dagens situasjon, må turmatrisene endres til å representere etterspørselen i det aktuelle året og referansesituasjonen. Man kan også vurdere om kroneåret til tidsverdier og takster skal endres for å samsvare med beregningsåret.

4.4 Beregning av etterspørselsvekst

Trenklin kan benyttes til å beregne etterspørselseffekter på to måter, som følge av tilbudsendringer, eller som følge av eksogene vekstfaktorer i kombinasjon med Trenklins trengselseffekter.

De eksogene vekstfaktorene legges inn i arkfanen «Befolkningsvekst», og parameteren *Kjør til likevekt* settes til *SANN*. Dersom det oppstår trengsel for de reisende, vil etterspørselsveksten fra vekstfaktorene dempes noe.

Etterspørselsmatrisene i arkfanen «Totalmatriser» viser resultatet av etterspørselsendringen for de ulike reisehensiktene. Disse kan eksempelvis benyttes som input matriser i beregningen av en fremtidig situasjon.

4.5 Feilmeldinger og debugging

For å følge beregningsgangen i modellen er det lurt å åpne Visual Basic vinduet. Dette gjøres fra utviklerfanen, eller ved å trykke Alt+F11. Herfra kan man åpne Immediate vinduet, som viser utskrifter fra beregningsgangen, ved å trykke CTRL+G. For enkelte feil vil meldingen vist i Figur 26 dukke opp.



Figur 26 Feilmelding.

Man må da trykke på «break» knappen på tastaturet og velge «End» når det kommer opp en ny valgboкс. På noen pc-er finnes det ingen break knapp, man må da trykke CTRL+ALT+FN+shift/pause, eller en annen tastekombinasjon som gir den ønskede funksjonaliteten.

Figur 27 viser utskrift av tre feil som kan oppstå.

```
Immediate
=== Kjøring startet 17.02.2017 09.41.14 ===
Initialisering: 0,00 sekunder
Inndata: 0,08 sekunder
Referanse-----

Ulogiske klokkeslett:
Linje: Retning: Avgang: Stasjon nummer: Verdi:
      2         2         8             11      2428
      2         2         8             12      2428

Sjekk følgende ruter for doble oppføringer: (linje-retning-avgang)
2-1-4 mot 1-1-42

Negative kjøretider
Linje: Retning: Avgang: Stasjoner:
      1         2         2             4-6
      1         2         2             5-6
      1         2         2             5-7

|
```

Figur 27 Feilrapport.

Den første indikerer feil klokkeslett. I dette tilfellet skulle 2428 vært 28. Utskriften angir for hvilken linje, retning, avgang og stasjon feilen finnes.

Den andre feilmeldingen indikerer at det potensielt kan være duplikat av en avgang. Dette er ikke nødvendigvis feil, men burde sjekkes.

Den tredje feilmeldingen betyr at en avgang har negativ oppholdstid eller framføringstid mellom to stasjoner.

5 Vedlegg

5.1 Trengsel

Som beskrevet over er trengsel grunnen til at modellen må itereres. Problemstillinger knyttet til trengsel om bord på togene og kapasitetsutnyttelse var en sentral og viktig motivasjon for utviklingen av Trenklin. Modellen kan gi innsikt i disse problemstillingene på flere måter.

5.1.1 Beregning av trengsel

For det første fordeles trafikken på de enkelte avgangene i rutetabellen. Hvis modellen er rimelig godt kalibrert mot faktisk belegg på togene, kan dette gi et godt bilde av trengselssituasjonen på ulike tidspunkt. Med dette som utgangspunkt kan man utforske trengsels- og kapasitetsproblemer tilknyttet forskjellige ruteplaner.

For det andre reagerer de reisende på trengsel. Først og fremst gjennom rutevalget, men også det totale antallet passasjerer vil avhenge av graden av trengsel på togene. Passasjerenes tilpasning til trengsel er viktig for å få et realistisk bilde av trengselen og kapasitetsutnyttelsen i nettet.

For det tredje verdsettes trengselen og denne inkluderes i trafikantnyttens. Dette er viktig for å få et realistisk estimat på trafikantnytte ved endringer i ruteplanen. Enkelte tiltak som plattformforlengelser med påfølgende lengre tog vil ikke ha noen effekter utover redusert trengsel for de reisende slik at trengselsvurderinger er nødvendig for i det hele tatt å kunne beregne trafikantnytte for endringen i tilbudet.

Beregningen av trengsel skjer som nevnt samtidig med at nettverket analyseres i hver iterasjon, der enkelte størrelser som sannsynligheten for å ta sitteplass ved hvert stopp gitt at man står åpenbart må beregnes etter at belegget er lagt ut på nettverket. Siden den reisende enten sitter eller står på hver lenke (snitt) blir trengselen på hver lenke ulik avhengig om man sitter eller står når man når lenken. Denne sannsynligheten er vei-avhengig og potensielt unik for hver vei som går innom lenken. Formelverket nedenfor er da en beskrivelse av hvordan trengselen konseptuelt regnes ut, men ikke en nøyaktig beskrivelse av hvordan beregningen i Trenklin gjennomføres i forhold til prosedyre og beregningsflyt. Dette formelverket er omtrent det samme som finnes i TØI rapport 1283/2013 (Jørgen Aarhaug, 2013).

Følgende forutsetninger ligger til grunn for trengselsberegningen:

- Forutsetning 1: de som tar sitteplass blir sittende til de går av toget igjen (enten fordi turen er over eller fordi de skal bytte) fra og med det tidspunkt de får sitteplass
- Forutsetning 2: Ulempen ved trengsel er lik over hele togsettet
- Forutsetning 3: Når sittende går av toget slik at det blir ledige plasser er det de stående på toget som tar disse før nye påstigende får muligheten
- Forutsetning 4: Alle sitteplasser opptas før passasjerer begynner å stå

Tabell 9 Notasjon i beregning av trengsel.

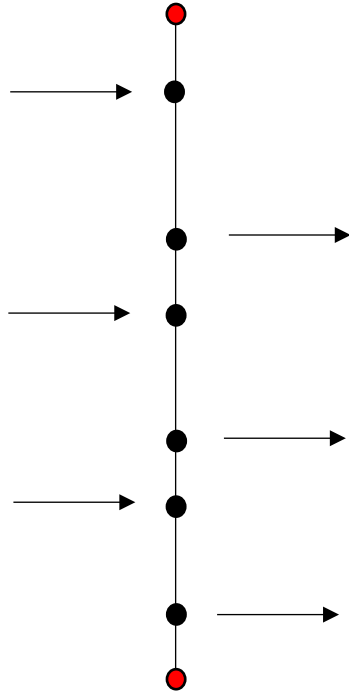
Avstigende node i	Av_i
Påstigende node i	$P_{\text{å}}^i$
Antall seter	S
Belegg på lenke i, i+1	$B^{i,i+1}$
Avgangsturer (til/fra matrise for den enkelte avgangen)	$T_{avgang}^{i,j}$
Påstigende som får sitteplass	$P_{sit}^{\text{å}^i}$
Sannsynlighet for å kapre sitteplass som stående på toget når man ankommer node i	P_{sit*}^i
Sannsynlighet for å starte som sittende	P_{sit}
Sannsynlighet for å starte som stående	$P_{stå}$
Stående belegg	$B_{stå}^{i,i+1}$
Antall avstigende med ståplass	$Av_{stå}^i$
Antall avstigende med sitteplass	Av_{sit}^i
Sannsynlighet for å gå av som stående etter å ha reist på avgangsrelasjonen i – j	$P(Av_{stå}^{i,j})$

De uthevede punktene er det som er kjent i utgangspunktet. Belegget og turmatrise for avgangen får vi fra nettutleggingsprosessen.

Som nevnt er trengselskostnaden på en lenke avhengig av om man står eller sitter, noe som igjen er veiavhengig. Denne veiavhengigheten gjelder på avgangsnivå da enhver sannsynlighetshistorikk i forhold til om en reisende går fra stående til sittende nullstilles ved en eventuell avstigning (byttelenke)

Vi tenker oss at toget på en avgang kjører i en retning og at toget starter på stasjon 0. Vi husker at vi i modellen har to noder for hver stasjon. Den første noden er avstigningsnode og den andre er påstigningsnode. Mellom avstigningsnoden og påstigningsnoden for samme stasjon er det en oppholdslenke.

Under er tegnet en tenkt linje med fire stasjoner og åtte noder. Det er tegnet piler som peker inn mot avgangen for å indikere mulige påstigninger og piler som peker fra linjen for å indikere mulige avstigninger. De tre lengre lenkene er da vanlige ombordlenker, mens de kortere er oppholdslenker. Den første og siste oppholdslenken er egentlig ikke aktuelle da det ikke er mulig med avstigning på første node i en linje eller påstigning på siste node i en linje. Disse er merket med rødt i figuren.



Figur 28 Noder og lenker i en avgang.

Det er altså på oppholdslenkene at stående har mulighet til å kapre sitteplasser. Idéen er at etter avstigning har de som står en mulighet til å ta sitteplassene før nye påstigende kan ta dem. Sannsynligheten for å ta sitteplass som stående er da alltid større eller lik den for nye påstigende til å ta sitteplass.

Videre betegnes nodene med i eller j , lenker (mellom to noder) betegnes med $j, j + 1$ eller $i, i + 1$, da mellom node i og $i + 1$.

Belegget på avgangen er til enhver tid gitt ved:

$$B^{i,i+1} = B^{i-1,i} + P_{\text{å}}^i - Av^i \quad (1)$$

Hvis vi tar med avstigningsnode på første stasjon har vi at belegget på første lenker er 0 og at belegget på andre lenke er gitt ved $B^{1,2} = P_{\text{å}}^1$. Dette gir følgende sammenheng for belegget på toget:

$$B^{i,i+1} = \sum_{j=0}^{j=i} (P_{\text{å}}^j - Av^j) \quad (2)$$

Videre vil det til enhver tid være et stående belegg på toget gitt ved:

$$B_{\text{stå}}^{i,i+1} = \text{maks}(B^{i,i+1} - S, 0) \quad (3)$$

Der S er totalt antall sitteplasser på togavgangen. Sannsynligheten for å få sitteplass ved påstigning på node i er gitt ved:

$$P_{\text{sit}}^i = \text{maks}\left(\min\left(\frac{P_{\text{å}}^i}{P_{\text{å}}^i}, 1\right), 0\right) \quad (4)$$

Hvor $P_{\text{å}}^i$ er antall påstigende som får sitteplass, gitt ved:

$$P_{\text{å}}^i = \text{maks}(P_{\text{å}}^i - B_{\text{stå}}^{i,i+1}, 0) \quad (5)$$

Dette gir da:

$$P_{st\ddot{a}}^i = 1 - P_{sit}^i \quad (6)$$

For å beregne trengselen nøyaktig, må muligheten for de som til enhver tid er stående på toget til å kapre en sitteplass ved oppholdslenker også vurderes. Der frigjøres et antall sitteplasser, tilsvarende antall avstigende som er sittende.

For å regne ut sannsynligheten for å få sitteplass gitt at passasjerer står, er man avhengig av å vite hvor mange av de avstigende som står, og hvor mange som sitter. Denne utregningen må gjøres for alle relasjoner på avgangen, da sannsynligheten for å gå av som stående ikke bare avhenger av hvor man går av, men også hvor man går på.

For alle linjerelasjoner $i, i + 1$ vil sannsynligheten for å gå av som stående være lik sannsynligheten for å gå på som stående, da det ikke er noen muligheter for å kapre sitteplass underveis så lenge man ikke passerer noen stasjoner med passasjerutveksling:

$$P(Av_{st\ddot{a}}^{i,j}) = P_{st\ddot{a}}^i \quad (7)$$

For relasjoner som går over to stasjoner, er det mulig å kapre sitteplass underveis. For relasjoner hvor man passerer én avstigningsnode a underveis, er sannsynligheten gitt ved:

$$P(Av_{st\ddot{a}}^{i,j}) = P_{st\ddot{a}}^i * \frac{B_{st\ddot{a}}^{a,a+1}}{B_{st\ddot{a}}^{a,a+1} + Av_{sit}^a} \quad (8)$$

Hvis $P_{st\ddot{a}}^i = 1$, vil sannsynligheten for å gå av som stående, gitt våre forutsetninger, være null. Dersom dette ikke er tilfelle, er sannsynligheten likevel null om man er sikret sitteplass underveis, det vil si om $B_{st\ddot{a}}^{i,i+1} = 0$. Hvis ikke, er sannsynligheten gitt ved produktet på høyre side i (8). Her er Av_{sit}^a antallet ledige sitteplasser rett etter avstigning gitt at $B_{st\ddot{a}}^{a,a+1} \geq 0$. Summen $B_{st\ddot{a}}^{a,a+1} + Av_{sit}^a$ er det stående belegget på snittet etter avstigningsnoden pluss antall sittende avstigende på noden. Intuitivt er dette summen av de som fikk sitteplass og de som ikke fikk det, etter avstigning på node a . $B_{st\ddot{a}}^{a,a+1}$ kan tolkes som de som ikke fikk sitteplass etter avstigning på noden. Brøken gir da antallet som ikke fikk sitteplass, og som må stå videre, delt på alle stående før avstigning. Det vil si sannsynligheten for å måtte stå videre. For å finne sannsynligheten må Av_{sit}^a og $Av_{st\ddot{a}}^a$ også regnes ut. Ved å generalisere for alle linjerelasjoner som passerer et sett av avstigningsnoder r , er sannsynligheten for å gå av som stående gitt ved:

$$P(Av_{st\ddot{a}}^{i,j}) = P_{st\ddot{a}}^i * \prod_{a \in r} \frac{B_{st\ddot{a}}^{a,a+1}}{B_{st\ddot{a}}^{a,a+1} + Av_{sit}^a} \quad (9)$$

Med andre ord er (7) og (8) spesialtilfeller av (9) med henholdsvis $r = 0$ og $r = 1$.

For å finne antallet avstigende som er henholdsvis sittende og stående må $P(Av_{st\ddot{a}}^{i,j})$ multipliseres med turmatrisen for den aktuelle avgangen. Denne hentes fra nettutleggingen. For hver avstigningsnode er det et sett med mulige avgangsrelasjoner som ender med avstigning på en bestemt avstigningsnode. Gitt et sett v av mulige påstigningsnoder i for å nå avstigningsnode a , og gitt et sett av mulige avstigningsnoder underveis $r(i)$ for alle relasjoner i, a , vil totalt antall avstigende på node a være gitt ved:

$$Av_{st\ddot{a}}^a = \sum_{i \in v} T_{avgang}^{i,a} * P_{st\ddot{a}}^i * \prod_{k \in r(i)} \frac{B_{st\ddot{a}}^{k,k+1}}{B_{st\ddot{a}}^{k,k+1} + Av_{sit}^k} \quad (10)$$

Merk at denne kan regnes ut for alle noder ved å starte med første node i avgangen og jobbe fremover til den siste. Antall avstigende på første avstigningsnode er gitt ved turantallet på

avgangsrelasjonen (fra første påstigningsnode til første avstigningsnode) multiplisert med sannsynligheten for å gå av som stående, som da er gitt ved antall påstigende på første påstigningsnode, delt på tilgjengelige seter på avgangen, eventuelt en sannsynlighet på 0.

Eksempel:

Gitt en avgang som trafikkerer fire stasjoner (a,b,c,d) med mulighet for av- og påstigning. Avgangen har 25 sitteplasser, og kjører i retning fra a til d. Nettutleggingen har gitt følgende avgangsmatrise:

Tabell 10 Avgangsmatrise.

Fra/til	a	b	c	d
a		10	10	20
b			5	10
c				10
d				

Ved å nummerere nodene bortover fra 1 til 8, får man følgende oppstilling for på- og avstigninger, og lenkebelegg på noden:

Tabell 11 På- og avstigninger på noder, og belegg.

Stasjon	Node	På	Av	Lenke	Belegg	Stående
A	1			1-2	0	0
A	2	40		2-3	40	15
B	3		10	3-4	30	5
B	4	15		4-5	45	20
C	5		15	5-6	30	5
C	6	10		6-7	40	15
D	7		40	7-8	0	0
D	8					

Deretter regner vi ut $P(Av_{stå}^{i,j})$, først ved å beregne $P_{stå}^i$ for alle påstigningsnoder. På node 2 er det 40 påstigninger hvorav 15 må stå. Dette gir $P_{stå}^2 = 0,357$. For node 4 og node 6 er sannsynligheten 1, da alle sitteplasser er opptatt.

Videre må vi fylle ut for de andre avgangsrelasjonene. Vi begynner med å regne ut sannsynligheten for å måtte stå videre ved node 3. Da $T_{avgang}^{2,3} = 10$, er antall avstigende på denne noden, som er stående, gitt ved $10 * 0,375 = 3,75$. Dette gir at 6,25 av de avstigende er sittende. I henhold til (10) har vi da $\frac{5}{5+6,25} = 0,444$. Vi fyller dette inn i en midlertidig matrise:

Tabell 12 Første sannsynlighetsmatrise for avstigning som stående.

$P(Av_{stå}^{i,j})$	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2			0,375					
3								
4					1			
5								
6							1	
7								
8								
$Av_{stå}^a$			3,75					
Av_{sit}^a			6,25					

Med dette kan vi regne ut totalt antall stående avstigende på node 5. Her er det to relevante relasjoner; 2 til 5 og 4 til 5. 4 til 5 er grei å regne ut, da alle her vil gå av som stående, det blir da 5. I tillegg kommer bidrag fra relasjon 2 til 5 som, i henhold til (10) gir $10 * 0,375 * 0,444 = 1,67$. Vi får dermed 6,67 avstigende stående og 8,33 avstigende sittende.

Vi kan nå regne ut for den siste avstigningsnoden, 7. Sannsynligheten for å forbli stående ved node 5, er $\frac{5}{5+8,33} = 0,375$. For de gjenværende relasjonene har vi da, i henhold til (10), følgende sannsynligheter for å gå av som stående:

$$2 \text{ til } 7: 0,375 * 0,444 * 0,375 = 0,062$$

$$4 \text{ til } 7: 1 * 0,375 = 0,375$$

$$6 \text{ til } 7: 1$$

Totalt antall stående avstigende på node 7 blir: $0,062 * 20 + 0,375 * 10 + 1 * 10 = 15$. Noe som gir 25 sittende avstigende. Vi oppdaterer matrisen og får:

Tabell 13 Andre sannsynlighetsmatrise for avstigning som stående.

$P(Av_{stå}^{i,j})$	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2			0,375		0,167		0,062	
3								
4					1		0,375	
5								
6							1	
7								
8								
$Av_{stå}^a$			3,75		6,67		15	
Av_{sit}^a			6,25		8,33		25	

Trengselsulempe

Utrekningene til nå viser hvordan det for hver avgangsrelasjon avgjøres hvorvidt man står eller sitter. Eller rettere sagt, det er gjerne en viss sannsynlighet for at man er stående og en viss sannsynlighet for at man er sittende. Når algoritmene for korteste vei jobber seg fremover i nettverket vil denne sannsynlighetshistorikken være med for alle mulige veier som finnes i nettverket. Belegg på de ulike lenkene og antall stående avstigende per avgangsnod er da regnet ut på forhånd, fra forrige iterasjon.

Etter hvert som veien utvides i antall lenker vil hver ny lenke øke veiens trengselsulempe med ulempen for stående vektet med sannsynligheten for at man er stående på lenken og ulempen for sittende vektet med sannsynligheten for at man er sittende på lenken. Denne ulempen er altså tidsverdivekter; ved trengsel øker vektene på tidsverdier og et gitt antall reiseminutter om bord gir høyere personlig kostnad for den reisende. Dette i henhold til trengselsfunksjonene i 2.2.4 som gir tidsverdivekter for hver enkelt reisehensikt.

Dette avsnittet kan leses i sammenheng med 2.2.4 for å forstå beregningen av trengselsulemper. Her er det vist hvordan trengselen om bord utvikler seg med trafikken og hvordan det er ulike veiavhengige sannsynligheter for å være stående og sittende på hver enkelt lenke. I 2.2.4 vises grafisk hvordan trengselen på hver enkelt lenke verdsettes som kostnad av de reisende.

5.1.2 Forslag til trengselsparametere

Trengselsfunksjoner, forutsetninger om ombordkapasitet, og forutsetninger om bagasje må alle vurderes når man skal beregne trengsel. Basert på observerte passasjertall, kan eksempelvis følgende verdier benyttes.

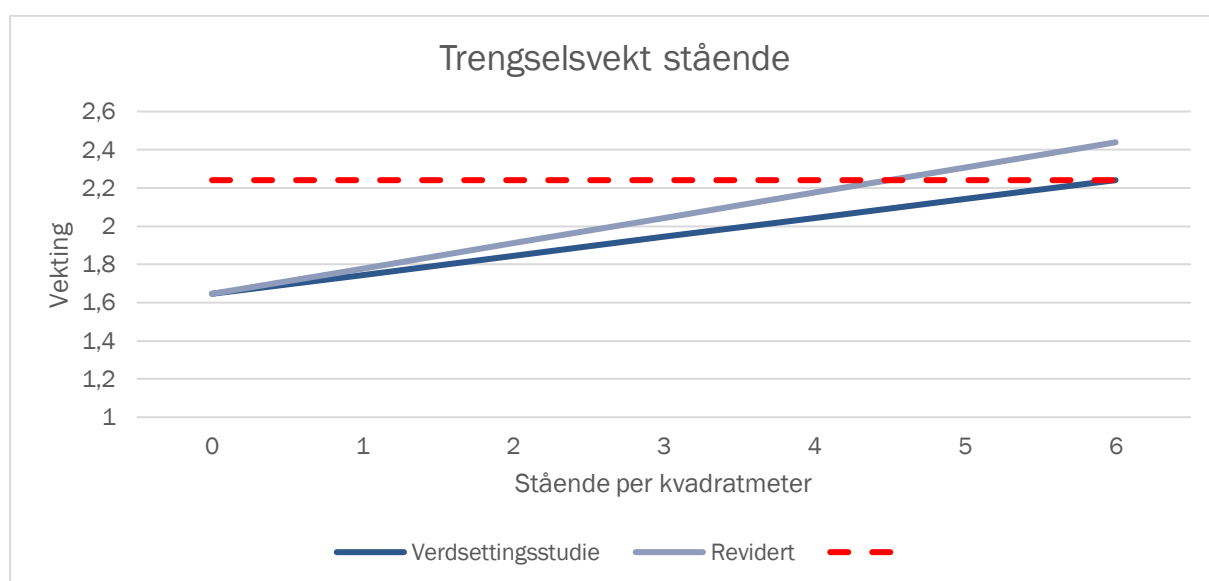
Materiell	Sitteplasser	Kvm	Kolli plass
Type 75 eks. klappseter	235	82	40
Type 75 ink. Klappseter	295	67	40

Figur 29: Eksempel på ombordkapasitet for Type 75.

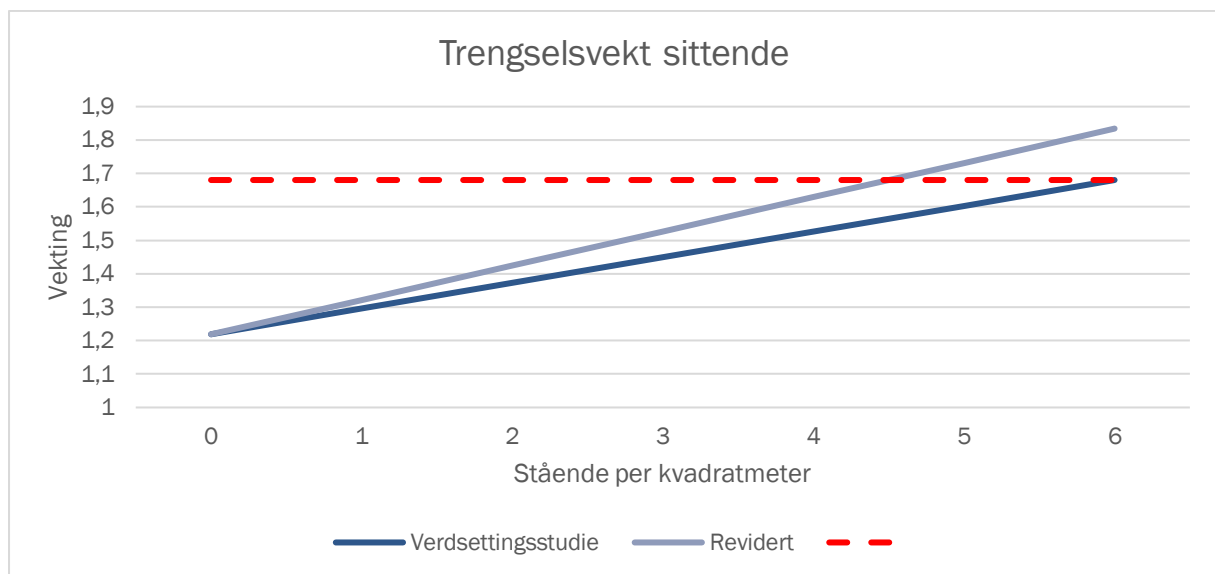
Verdsettingsstudie Reviderte verdier		
Trengselsfunksjon (fritid, arbeid)		
F_sit	1	1
F_stå	1,646	1,646
Mu_sit	0,5	0,5
F_sit_ingenledig	1,219	1,219
Sit_u_stå	0,0769	0,1025
Stå_u_stå	0,0991	0,1321
Trengselsfunksjon (tjeneste)		
F_sit_tje	1	1
F_stå_tje	1,646	1,646
Mu_sit_tje	0,5	0,5
F_sit_ingenledig_tje	1,044	1,044
Sit_u_stå_tje	0,0154	0,0205
Stå_u_stå_tje	0,0198	0,0264

Figur 30 Trengselsfunksjoner tilpasset observerte passasjertall.

De reviderte trengselsfunksjonene gir utslag som vist i Figur 31 og Figur 32.

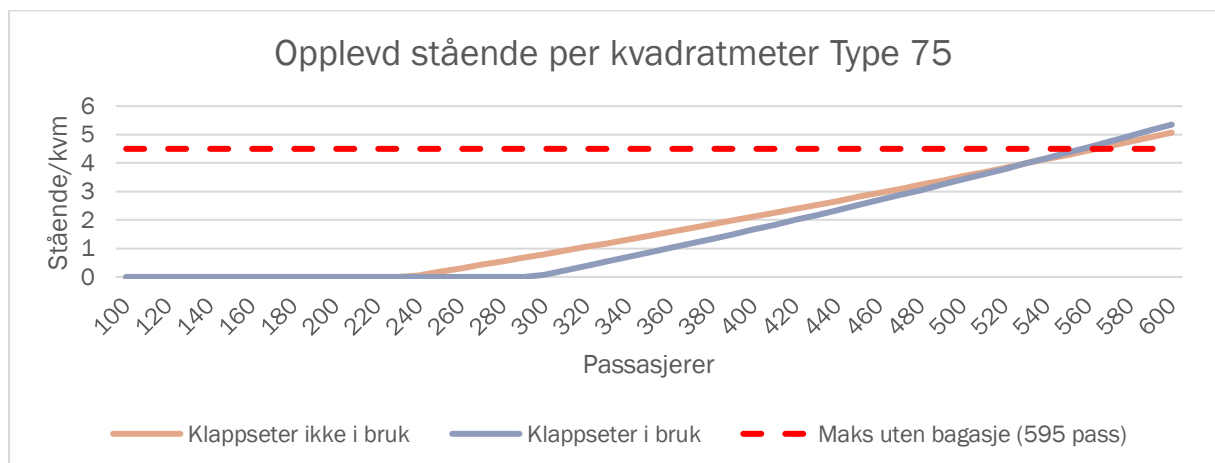


Figur 31 Reviderte trengselsvekter stående.



Figur 32 Reviderte trengselsvekter sittende.

Ved å så sette parametere for antall kolli per passasjer til 0,15, og størrelsen per kolli til 0,2, vil man få et opplevd antall stående som vist i Figur 33.



Figur 33 Opplevd antall stående per kvadratmeter med reviderte trengselsfunksjoner.

Figuren viser at ved 565 passasjerer tilsvarer det maksimalt trengselsnivå. 565 passasjerer tilsvarer et antall stående per kvadratmeter på 4,02 både der klappseter er i bruk og ikke. I praksis betyr dette at man sier at i en situasjon med normal bagasje, er det plass til 565 personer om bord i et Type 75 sett.

For reiser til og fra flyplasser bør det vurderes å øke andelen som har med bagasje, og/eller øke størrelsen på bagasjen.

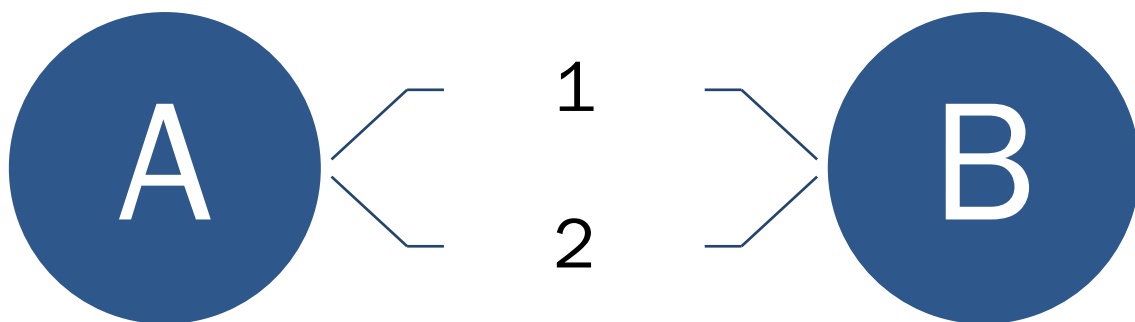
I tillegg burde det gjøres en vurdering av antall kolli det er plass til for de ulike materielltypene.

5.2 Iterasjonsprosessen

Iterasjonsprosessen og likevekt er en utfordring i Trenklin modellen. Flere fremgangsmåter er prøvd ut.

5.2.1 Eksempel og metoder

I prosedyrer hvor man søker etter likevekt er det overhengende målet gjerne å få konvergens. Altså for hver iterasjon som kjøres blir forskjellen fra en iterasjon til neste mindre og mindre. Et klassisk iterasjonsproblem i transport er nettutlegging for biltrafikk i et nettverk av veier hvor det kan danne seg kø på de forskjellige lenkene. Ta for eksempel et meget enkelt tilfelle hvor det kun er to noder A og B og to lenker 1 og 2. La oss si det er 100 biler som skal ut på nettverket og at for begge veiene er kjøretiden avhengig av hvor mange som reiser lenken, la oss si at $Kjøretid_1 = 12 + \frac{\text{Antall biler}}{5}$ og $Kjøretid_2 = 10 + \frac{\text{Antall biler}}{10}$. I dette tilfellet kan vi raskt regne ut at likevekten er at det kjører 27 (eller 26,67) biler på lenke 1 og 73 (73,33) biler på 2 slik at reisetiden er 17,33 minutter på begge lenker. Ingen kan spare tid på å bytte alternativ i likevekt.



Figur 34 Illustrasjon av likevektsproblem.

Rutevalgsproblemer av denne typen er gjerne mer komplisert enn som så, med en myriade av lenker og noder og trafikkstrømmer som påvirker hverandre på uoversiktlige måter. Det gjør, at for de praktiske tilfellene er det ikke mulig å regne ut likevekten som her, løsningen må finnes numerisk ved en iterasjonsprosess hvor man kommer stadig nærmere likevekten; der hvor ingen vil ønske å endre atferd gitt alle andres atferd.

Under vises hvordan en iterasjonsprosess vil se ut i dette enkle tilfelle dersom vi lar alle reisende velge den lenken med lavest reisekostnad i forrige iterasjon:

Tabell 14 Oscillerende iterasjonsprosess.

	Belegg lenke 1	Belegg lenke 2	Reisetid lenke 1	Reisetid lenke 2
Iterasjon 1			12	10
Iterasjon 2	0	100	12	20
Iterasjon 3	100	0	32	10
Iterasjon 4	0	100	12	20
Iterasjon 5	100	0	32	10
Iterasjon 6	0	100	12	20
Iterasjon 7	100	0	32	10
Iterasjon 8	0	100	12	20
Iterasjon 9	100	0	32	10
Iterasjon 10	0	100	12	20
Iterasjon 11	100	0	32	10
Iterasjon 12	0	100	12	20
Iterasjon 13	100	0	32	10
Iterasjon 14	0	100	12	20
Iterasjon 15	100	0	32	10
Iterasjon 16	0	100	12	20

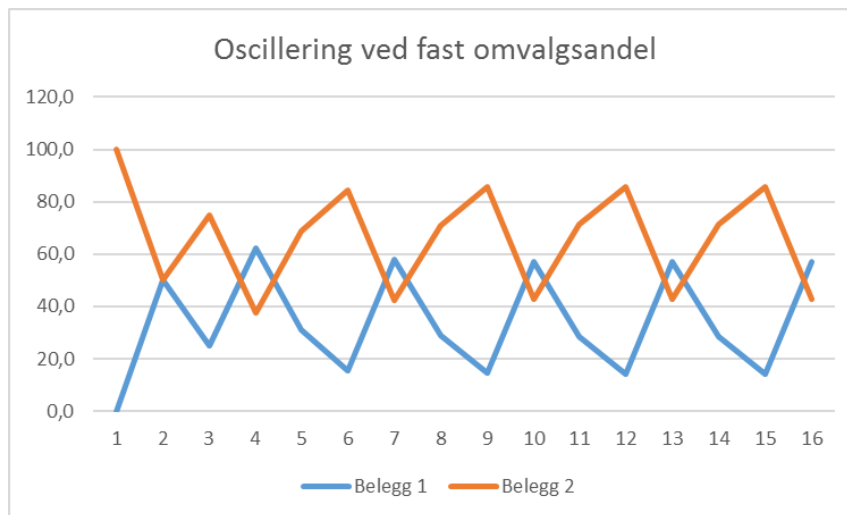
Som forventet vil lenkebelegget slå fra den ene til det andre ytterpunktet. Når den ene lenken har trafikken, vil denne få beregnet høy reisekostnad mens den lenken som ikke har trafikken vil få beregnet lav reisekostnad. I neste omgang velges den med lavest kostnad.

Et alternativ er å la kun en andel av de reisende ombestemme seg for hver iterasjon. Ved å la halvparten ombestemme seg, har man følgende bilde:

Tabell 15 Fast omvalgsandel.

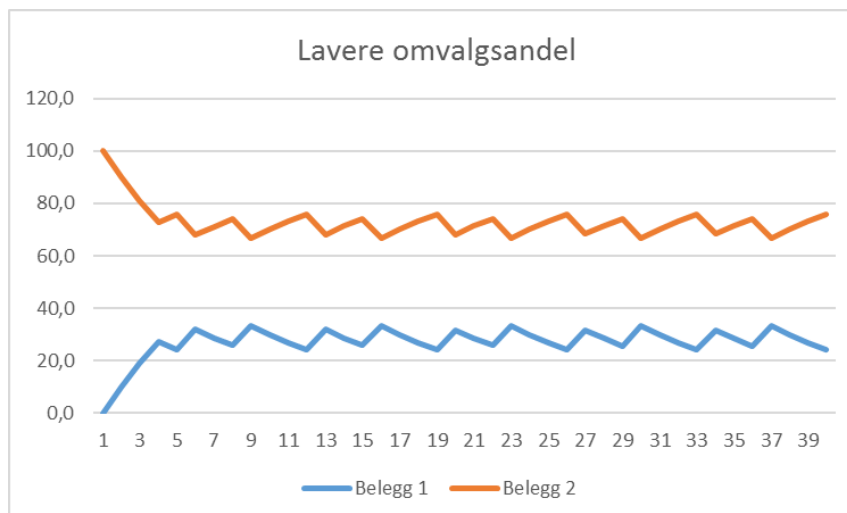
	Omvalgsandel	Belegg lenke 1	Belegg lenke 2	Reisetid lenke 1	Reisetid lenke 2
				12	10
Iterasjon 1		0	100	12	20
Iterasjon 2	0,5	50	50	22	15
Iterasjon 3	0,5	25	75	17	17,5
Iterasjon 4	0,5	62,3	37,5	24,5	13,8
Iterasjon 5	0,5	31,3	68,8	18,3	16,9
Iterasjon 6	0,5	15,6	84,4	15,1	18,4
Iterasjon 7	0,5	57,8	42,2	23,6	14,2
Iterasjon 8	0,5	28,9	71,1	17,8	17,1
Iterasjon 9	0,5	14,5	85,5	14,9	18,6
Iterasjon 10	0,5	57,2	42,8	23,4	14,3
Iterasjon 11	0,5	28,6	71,4	17,7	17,1
Iterasjon 12	0,5	14,3	85,7	14,9	18,6
Iterasjon 13	0,5	57,2	42,8	23,4	14,3
Iterasjon 14	0,5	28,6	71,4	17,7	17,1
Iterasjon 15	0,5	14,3	85,7	14,9	18,6
Iterasjon 16	0,5	57,1	42,9	23,4	14,3

Men nå blir prosessen stående å oscillere mellom tre ulike løsninger. Omvalgsandelen gjør at etter 3 iterasjoner er reisetiden på lenke 2 høyere enn for lenke 1, slik at de som kan ombestemme seg nå legger seg på lenke 1. Da øker reisekostnaden på lenke 1 med såpass mye at for de neste to iterasjonene velger de som kan ombestemme seg lenke 2, før da igjen lenke 2 får høyere reisekostnad og det hele gjentar seg:



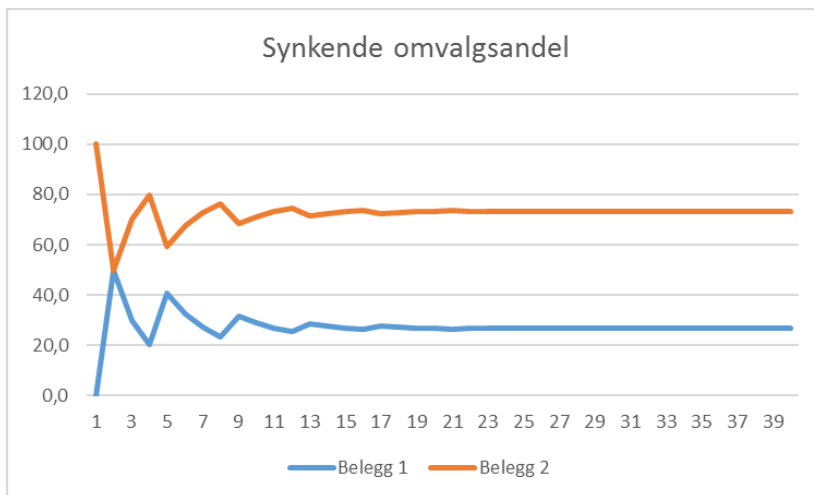
Figur 35 Fast omvalgsandel.

Ved å redusere omvalgsandelen til 0,1 kan man komme nærmere en løsning:



Figur 36 Redusert omvalgsandel.

Men også her vil prosessen komme inn i et oscillerende mønster, dog nærmere riktig likevekt. En strategi som kan brukes er å la omvalgandelen redusere seg etter hvert, hvis vi for eksempel lar omvalgsandelen starte på 0,5 og sier at for hver iterasjon er omvalgsandelen lik fire femdeler av det den var i forrige iterasjon får man følgende:

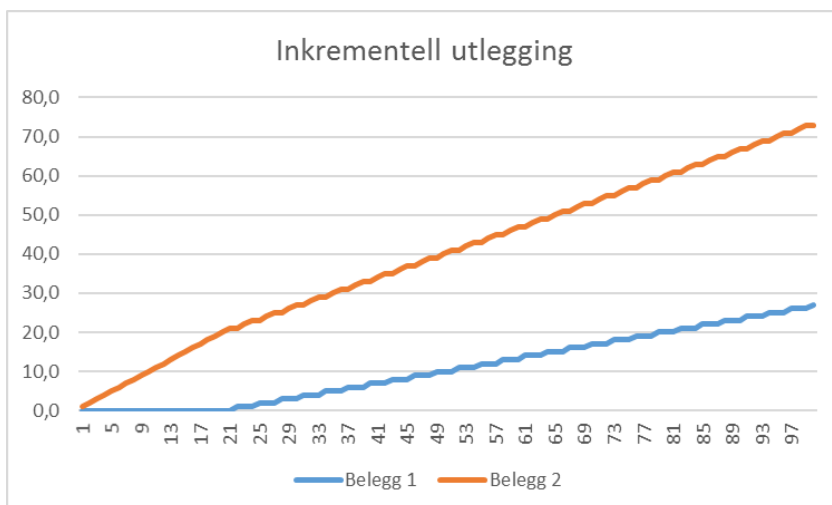


Figur 37 Synkende omvalgsandel.

Dette fungerer for likevekt i dette tilfellet.

Det finnes flere gagnbare strategier for å få likevekt i iterasjonsproblemet. Hovedpoenget er at man må unngå at prosessen blir stående å slå fra en tilstand til en annen, uten at man kommer nærmere likevekten.

En annen prosedyre som kan benyttes er såkalt inkrementell utlegging, det går ut på at man legger ut litt og litt av trafikken, slik at reisekostnadene bygger seg gradvis opp etter hvert som trafikken øker. Ulempen er at de som allerede er lagt ut ikke kan ombestemme seg igjen.



Figur 38 Inkrementell utlegging.

Her er trafikken lagt ut i 100 omganger, hver gang legges det ut ytterligere én prosent av totaltrafikken. Vi kan se frem til om lag 20% er lagt ut går alle for alternativ 2, mens etter dette fordeler nye utlegginger seg på det to alternativene.

Men med inkrementell utlegging er man ikke sikret nøyaktig likevekt. Det ville krevet uendelig små inkremitter for å få perfekt likevekt og det er heller ingen garanti for at den trafikken som er lagt ut ikke ville ombestemt seg når sluttresultatet er klart.

5.2.2 utfordringer i Trenklin

Trengsel om bord på tog er ganske analogt med kø på vei, jo høyere belegg på de ulike toglenkene i nettverket jo mindre attraktive blir disse og dermed vil rutevalget kunne endres fra en iterasjon til den neste. Som for veinettverk består også nettverk i en Trenklin-modell av et mylder av lenker og noder i motsetning til eksempelet over med to noder og to lenker. En ekstra utfordring i Trenklin er at trengselsulempen på hver enkelt lenke avhenger av om den reisende er sittende eller stående ved ankomst til lenken, noe som avhenger av veien frem til lenken, som typisk vil være forskjellig for de reisende på lenken (ref. Vedlegg 1).

Fra en iterasjon til neste vil det kunne bli relativt mye utslag i de ulike andelene for hvert alternativ. Hvilke alternativ som domineres av andre kan også variere fra iterasjon til iterasjon. Og siden andelen for hvert alternativ varierer for hver iterasjon vil det variere hvor mye trafikk som legges ut fra hver enkelt påstigningsnode (ikke bare hvilket rutevalg denne trafikken foretar).

Det er også slik at iterasjonsprosessen kan være i likevekt eller ganske nærme likevekt noen steder i nettverket, mens det andre steder i nettverket fremdeles er store variasjoner. For eksempel vil den delen av nettverket som ligger i perioder med lite trafikk raskt komme i likevekt så lenge det ikke er noen påvirkning fra andre områder med trengsel (faktisk vil det da være likevekt etter første iterasjon).

Som antydning i kapittelet om måling av iterasjonsprosessen må man ha en pragmatisk holdning til likevekt. Man bør komme nærme nok for analysens formål. De ulike iterasjonsmålene er nøkkelen. Hvis man vil ha en cirka prognose for lenkebelegg noen år frem i tid trenger man ikke kjøre iterasjoner til all variasjon i lenkebelegg er borte, men samtidig bør man komme dit hvor man i hvert fall ikke er alt for langt fra likevekt. 5 % variasjon i belegget på høyt trafikkerte lenker fra iterasjon til iterasjon er sannsynligvis for mye, mens 0,5 % eller mindre sannsynligvis er tilfredsstillende. Hvis man skal beregne trafikanthytte av et tiltak kan man leve med 100 kr i avvik fra iterasjon til iterasjon for totale reisekostnader i modellen, men muligens ikke 10 000 kr, skjønt dette også avhenger av modellens størrelse og trafikknivå. Nyttekostanalyse kan uansett ikke by på millimeternøyaktighet. Både hvilke iterasjonsmål man følger med på og hvilke nivåer man krever kan man vurdere i forhold til analysens tema og krav. Det vil også være slik at nytten av flere iterasjoner er avtakende. De tidlige iterasjonene vil få en drastisk nærmere likevekt, mens senere iterasjoner får mindre betydning.

5.2.3 Løsning

I Trenklin kan man styre iterasjonsprosess ved hjelp av parametere:

Modellmodus			
Kjør til likevekt?	SANN	"True"/"False"	Skal det modelleres adferdsendring/bytte av avgang som følge av trengsel?
Tiltak	2	1 eller 2	1 = beregne referanse, 2 = beregne referanse og tiltak
Maxit	50	heltall	Maks antall iterasjoner
Avslutt_it_antall	1	heltall	Antall iterasjoner hvor kriteriet skal være oppfylt
Avslutt_it_crit	20	tall (single)	Iterasjonskriteriet
Antall_it_nye_alt	1	heltall	Antall iterasjoner hvor det skal finnes nye alternativ
ant_utlegg	1	heltall	Antall iterasjoner hvor det skal legges ut inkrementelt
Vekt_matrise1	0,5	andel 0 til 1	Vekt for første beregnede turmatrise i tiltak
Vekt_matrise2	0,5	andel 0 til 1	Vekt for andre beregnede turmatrise i tiltak
Reduser byttelenker	SANN	"True"/"False"	Fjerne overflødige byttelenker?
Omvalgsreduksjon	1,5	tall (single)	Hvordan andelen som kan ombestemme seg reduseres
Antall reisehensikter	3	tall 1 til 3	1 for kun arbeidsreiser, 3 for alle hensikter
Skriv lenker	USANN	"True"/"False"	Skrive lenker til fil
les lenker	USANN	"True"/"False"	Lese lenker til fil

Figur 39 Styreparametere.

Parameterne «Maxit», «Avslutt_it_antall» og «Avslutt_it_crit» styrer iterasjonsprosessen hva gjelder antall iterasjoner som maksimalt kan kjøres, og kriterier for når prosessen skal stoppe. «Maxit» er det maksimale antall iterasjoner modellen kjører. «Avslutt_it_crit» er kriteriet som settes for at iterasjonsprosessen skal avsluttes. I denne modellversjonen er dette linket opp mot *Diffaltdfordeling*. «Avslutt_it_antall» er det antall sammenhengende iterasjoner kriteriet skal være oppfylt over for at iterasjonsprosessen stopper. Dette er altså parametere som styrer grunnleggende egenskaper ved iterasjonsprosessen.

Det finnes også noen andre parametere, og muligheter, som beskrives under.

Antall_it_nye_alt

Denne parameteren styrer antall iterasjoner hvor det skal være mulig å finne nye alternativer. Om man ønsker at det skal være mulig under hele prosessen setter man denne lik «Maxit». Å finne nye alternativer kan gjøre ganske stort utslag fra en iterasjon til neste slik at det kan være fordelaktig å begrense antallet ganger nye alternativer skal komme opp (de alternativene som er funnet vil ikke forsvinne), nye alternativer er gjerne marginalt forskjellig fra de som allerede er funnet (f.eks. bytte på annen stasjon, men samme totale ombordtid). Når det er sagt kan det være vesentlig at alle plausible alternativer blir vurdert.

Det kan være vanskelig å vurdere hvordan man bør sette denne parameteren. For små prosjekter hvor beregningstid ikke er et tema anbefales det å sette den lik «Maxit». For større prosjekter kan den settes til et bestemt antall. Den kan også være aktuell å sette til 1. Men den bør uansett settes lik eller høyere enn «ant_utlegg» (se under).

Ant_utlegg

Iterasjonskonseptet i Trenklin er en tofase prosess hvor idéen om inkrementell utlegging kombineres med vanlig iterasjon til likevekt med synkende omvalgsandel. I første fase legges trafikken ut inkrementelt frem til all trafikken er ute, og på det tidspunktet starter prosessen med synkende omvalgsandeler. «Ant_utlegg» angir hvor mange inkrementelle utlegginger som skal gjennomføres. I hver slik inkrementelle utlegging legges en andel lik $\frac{1}{\text{ant_utlegg}}$ ut. I eksempelet med to noder og to lenker vil denne prosessen se noe slik ut:



Figur 40 To-trinns prosess.

Hensikten med parameteren er å gi iterasjonsprosessen en litt mykere start hvor man får et utgangspunkt som sannsynligvis ligger ganske nærme likevekten.

Det er vanskelig å gi noen nøyaktig anbefaling på hvordan denne parameteren skal settes, men det kan være greit å starte med noen inkrementelle utlegginger. Hvis man går rett på sak med iterasjoner med omvalgsandel kan første iterasjon ligge rimelig langt fra likevekt, noe som kan gjøre at man i neste iterasjon finner mange mer usannsynlige alternativer slik at det tar lang tid å nærme seg likevekt igjen. Samtidig koster det iterasjoner å bruke inkrementelle utlegginger. Det er trolig ingen grunn til å sette parameteren høyere enn 10, men for at det skal få noen effekt av betydning bør den heller ikke settes lavere enn 4.

Som en default i modellen er det også gjort slik at Omvalgsandelen starter på $\frac{1}{\text{ant_utlegg}}$ etter at den inkrementelle fasen er over. Det ville vært lite poeng i å kjøre den inkrementelle prosessen med utlegging av 10 % av trafikken for så å gå over til vanlige iterasjoner hvor 20 % får ombestemme seg.

Vekt_matrise1 og Vekt_matrise2

Som nevnt består iterasjonsprosessen i tiltaksalternativet av en indre løkke som itererer rutevalget til likevekt og en ytre løkke som itererer turantallet til likevekt. Likevekt i turantallet beregnes i tre trinn:

1. Lager nye turmatriser basert på etterspørselseffekt av tiltaket hvor ny trafikk enda ikke er regnet ut, slik at trengselseffekten av den nye trafikken ikke har hatt dempende effekt på etterspørselen.
2. Lager nye turmatriser basert på etterspørselseffekten av tiltaket hvor den fulle trengselseffekten av nye trafikk regnes med.
3. Vekting av matrise 1 og 2. Man vil forvente at endelig resultat ligger et sted imellom.

Parameterne angir hvordan matrisene skal vektes sammen i trinn 3. Disse må derfor summeres til 1.

Omvalgsreduksjon

Denne parameteren styrer hvor raskt omvalgsandelen skal nedjusteres. Parameteren gjør to ting på en gang:

- Fastslår når omvalgsandelen skal reduseres.
- Fastslår hvor mye omvalgsandelen skal reduseres når den reduseres.

Hvis parameteren er satt til 1,8 skjer følgende:

Hvis iterasjonskriteriet i iterasjon t er mindre enn iterasjonskriteriet i iterasjon $t - 1$ delt på 1,8, beholdes omvalgsandelen slik den er. Tanken er da at det er god driv i iterasjonsprosessen og man ikke trenger å gjøre noe. Hvis iterasjonsprosessen har stagnert helt, det vil si $Itcrit_t > Itcrit_{t-1}$, deles omvalgsandelen på 1,8. Hvis vi er et sted imellom; $\frac{Itcrit_t - 1}{1,8} < Itcrit_t < Itcrit_{t-1}$ settes

$$Omvalgsandel_t = Omvalgsandel_{t-1} * (a - 1) + Omvalgsandel_t * a$$

Der

$$a = \left(Itcrit_t - \frac{Itcrit_{t-1}}{1,8} \right) / \left(Itcrit_{t-1} - \frac{Itcrit_{t-1}}{1,8} \right)$$

Man kunne i utgangspunktet ha tenkt seg at 2 var et naturlig valg for Omvalgsreduksjonen. Hvis vi har en situasjon hvor alle hopper over til beste alternativ, slik at hva som faktisk er beste alternativ fluktuierer fra gang til gang, ville man kommet langt med å bare la halvparten hoppe over og så la halvparten av disse igjen hoppe over og så videre. Men sannsynligvis er 2 litt i overkant. Dette må ses i sammenheng med at iterasjonsmålet er aggregert over hele modellen. Som nevnt kan noen deler ligge nær likevekt og således være godt fornøyd med en lav omvalgsandel, mens andre modellområder kan ligge langt unna og trenge en høyere omvalgsandel. Som default er omvalgsreduksjon satt til 1,25. Den kan være aktuell å endre på, særlig etter å ha jobbet mye med en modell og studert iterasjonsprosessen. Høy parameterverdi gjør prosessen raskere, mens lavere verdi gjør det mer sannsynlig at man treffer en god likevekt. Parameteren må uansett settes strengt høyere enn 1 (helst minimum 1,1) men ikke høyere enn 2.

5.3 Funksjonalitet for settbruk

I Trenklin versjon 3.2 ble det implementert en funksjon for at modellen selv kan tilpasse antall sett per avgang, basert på utnyttelsesgraden om bord. Ved bruk av denne funksjonen, er det mulig å redusere trengsel ved å tilføre sett på avganger med høy trengsel og fjerne sett fra avganger med veldig lite trengsel. Aktivering av funksjonaliteten gjøres i oppsett av parameterne:

	A	B	C	D
55	minimum byttetakst	40	tall	minste kostnad ved bytte av takstsystem
56				
57	Settbruk			
58	Bruk fast antall togsett referanse	False	"True"/"False"	Hvis "False" foreslår modellen antall sett pr avgang basert på predikert trengsel
59	Bruk fast antall togsett tiltak	False	"True"/"False"	Hvis "False" foreslår modellen antall sett pr avgang basert på predikert trengsel
60	<i>hvis "false" fyll i spørsmålen under</i>			
61	Begrensning for antall sett pr. linje			
62	1. hold antall sett konstant	False	"True"/"False"	Hvis "False", velg maks antall nye sett eller Ingen begrensning
63	2. Ingen begrensning	False	"True"/"False"	Hvis "False", velg maks antall nye sett. Hvis True, velg belegggrad i B67 og B70
64	3. maks. antall nye sett	10	positive heltall	antall nye sett, >0
65	Minimum belegggrad* der det fjernes sett			
66	1. Ikke fjern sett	False	"True"/"False"	Hvis "false", velg når sett skal fjernes
67	2. Fjern sett når belegggrad er un	10	prosentall	fjerner sett med belegggrad mindre enn tallet her
68	Maksimum belegggrad* der det tilføres sett			
69	1. Ikke tilfør sett	False	"True"/"False"	Hvis "false", velg når sett skal legges til
70	2. Tilfør sett når belegggrad er ove	50	prosentall	legger til sett med belegggrad over dette tallet, denne skal ikke være lavere enn B67
71	Begrensning for antall sett pr. avgang			
72	1. Ingen begrensning	True	"True"/"False"	Hvis "false", må maks. antall togsett defineres i arkefane "forutsetninger"
73				
74	*belegggrad defineres som andel av maksimumkapasitet, der maksimumkapasitet = antall stående og antall sittende som får plass på toget			
75				
76				

Figur 41 Parametere for settbruk.

6 Kjente feil og videre arbeid

Basert på erfaringer med bruk av modellen, er det identifisert enkelte punkter det er ønskelig å forbedre.

Det er en inkonsistens i utskrift av billettinntekter fordelt på linje og totalt.

Det er ikke mulig å kjøre med mer enn én iterasjon hvor det skal finnes nye alternativer og én iterasjon med inkrementell utlegging.

Endring i tidstillegg matrisen påvirker ikke etterspørsel. Det påvirker trafikanthytte kun for arbeidsreiser, og fritid/forretning dersom parameteren for beregning av likevekt er satt til *USANN*.

Det er en utfordring med håndtering av ventetid. For å beregne rett trafikanthytte som følge av endret ventetid, må ventetidskurven settes slik at verdien på ventetid er for høy sammenlignet med andre reisekomponenter. Dette medfører upresis modellering av adferdsendringen. For få passasjerer velger å bytte avgang ved høy trengsel, og for få passasjerer vil velge avganger med rask framføringstid men med noe større avvik fra ønsket ankomsttidspunkt.

Implementering av reisehensiktsspesifikk bytemotstand i tråd med verdsettingsstudien bør gjennomføres.

Trenklin er i dag ikke egnet til å analysere effekter av tidsdifferensierte billettpriser. Det er flere årsaker til dette, blant annet at takstene i modellen knyttes til relasjon og avgang uavhengig av tid. Det er også en utfordring i hvordan nye turer beregnes. Dagens metode gjør at dersom man eksempelvis reduserer taksten på avganger utenfor rushperioden, vil de fleste nye turene allikevel oppstå i rushperioden. Utfordringer knyttet til verdsetting av ventetid, og absoluttverdien av ventetid i modellen som påvirker adferden, må også løses for å kunne modellere slike effekter.

Det vurderes å implementere distanseavhengige tidsverdier basert på verdsettingsstudien. Dette kan imidlertid til en viss grad fanges opp i eksisterende versjon, ved inndeling av de ulike segmentmodellene. I tillegg bør det vurderes hvorvidt tidsverdiene burde være distanseavhengige, eller knyttet opp mot eksempelvis ombordtid. Her må man imidlertid passe på at tilbudsendringer ikke medfører inkonsistens i tidsverdiene mellom referanse og tiltak.

Det vurderes å implementere funksjonalitet for å inkludere større heterogenitet i de ulike kundegruppene.

7 Referanser

- Glenn Steenberg, S. B.-L. (2016). *Østre linjes forbindelse mot Oslo - Kvalitetssikring av beslutningsgrunnlag for konseptvalg (KS1)*.
- Ingunn Ellis, B. N. (2018). *Trafikantenes verdsetting av tilbringertransport med tog til Oslo lufthavn (UA-rapport 114/2018)*.
- Jørgen Aarhaug, E. C. (2013). *Dokumentasjonsrapport: Inkrimentell etterspørselsmodell (TØI rapport 1283/2013)*.
- Langdon, N. S. (2011). *CLICSIM: Simulation of passenger crowding on trains and at stations*.
- Martin Prior, J. V. (2011). *Modelling open access train services*.
- Minken, H. (2017). *Trengsel om bord, en oversikt med forslag til videre arbeid (TØI rapport 1551/2017)*.
- Ranheim, P. (2019). *Notat om kriterier for å fjerne byttelenker før innledende nettverksanalyse i trenklin*.
- Sandvik, M. (2023). *Notat - Ventetid i Trenklin og verdsetting*.
- Sandvik, M. (2025). *Beregning av skoleindekser til Trenklin*.
- Stefan Flügel, A. H. (2020). *Verdsetting av reisetid og tidsavhengige faktorer - Dokumentasjonsrapport til Verdsettingsstudien 2018-2020*.
- Stefan Flügel, A. U. (2022). *Videreutvikling av reisehensikts- og døgnfordelingsmodeller for togreiser (TØI 1876/2022)*.
- Stefan Flügel, N. H. (2016). *Trenklin 2 – Gjennomgang av modellen og drøfting av anvendelsesområde (TØI rapport 1534/2016)*.
- Torbjørn Birkeland, E. F. (2022). *NOTAT - Dokumentasjon av visualiseringsløsning*.

8 Liste over tabeller og figurer

Tabell 1 Anbefalte faktorer for tid mellom avganger, relativt til reisetid om bord.....	12
Tabell 2: Beskrivelse av nødvendig inndata.	18
Tabell 3 Beskrivelse av parametere.	23
Tabell 4 Beskrivelse av resultatutskrifter.	27
Tabell 5 Utskrift i arkfanen "samlet_belegg_og_kapasitet".	29
Tabell 6 Inndeling av døgnandeler.	33
Tabell 7 Metoder for beregning av nye turer.	44
Tabell 8 Eksempler på datagrunnlag for etablering av dagens situasjon.	49
Tabell 9 Notasjon i beregning av trengsel.	58
Tabell 10 Avgangsmatrise.	61
Tabell 11 På- og avstigninger på noder, og belegg.	61
Tabell 12 Første sannsynlighetsmatrise for avstigning som stående.	62
Tabell 13 Andre sannsynlighetsmatrise for avstigning som stående.	63
Tabell 14 Oscillerende iterasjonsprosess.	67
Tabell 15 Fast omvalgsandel.	68
Figur 1 Beregningsgang i Trenklin.	8
Figur 2 Kumulativ ventetidsulempe i Trenklin.	13
Figur 3 Sammenligning av verdien av spart ventetid i Verdsettingsstudien og Trenklin.	13
Figur 4 Relativ forskjell i verdsetting av spart ventetid mellom Verdsettingsstudien og Trenklin. .	14
Figur 5 Illustrasjon av trengselsfunksjoner.	15
Figur 6 Eksempel på oppsett med to segmentmodeller og tilhørende undersegmenter.	20
Figur 7 Eksempel på oppsett av forutsetninger.	20
Figur 8 Eksempel på inndata for kjøretøy.	21
Figur 9 Utklipp fra rutetabell for L1, retning fra Spikkestad mot Oslo.	22
Figur 10 Eksempel på navngivning av rutetabeller i referanse og tiltak.	23
Figur 11 Resultater for referanse og tiltak.	29
Figur 12 Linjevise resultater i arkfanen "Resultater".	29
Figur 13 Nøkkeltall trengsel.	31
Figur 14 Arkfaner med resultater på matriseformat.	32
Figur 15 Illustrasjon av døgnfordeling og døgnandeler.	34
Figur 16 Illustrasjon av generalisert reisekostnad for mulige alternativer.	38
Figur 17 Illustrasjon av reisekostnad inkludert ventetid for ulike alternativer.	39
Figur 18 Illustrasjon av reisekostnad for ulike alternativer ved ønsket ankomst lik 380.	39
Figur 19 Illustrasjon av krysningspunkt mellom gjenværende alternativer.	40
Figur 20 Hierarkisk node nummerering.	41
Figur 21 Illustrasjon av reisevei i nettverket.	41
Figur 22 Resultat av nettutlagte turer.	41
Figur 23 Utskrift av iterasjonsforløp.	42
Figur 24 Iterasjonsforløp i referansescenario og tiltaksscenario.	47

Figur 25 Parameter for antall segmentmodeller.	51
Figur 26 Feilmelding.	55
Figur 27 Feilrapport.	56
Figur 28 Noder og lenker i en avgang.	59
Figur 29: Eksempel på ombordkapasitet for Type 75.	64
Figur 30 Trengselsfunksjoner tilpasset observerte passasjertall.	64
Figur 31 Reviderte trengselsvekter stående.	64
Figur 32 Reviderte trengselsvekter sittende.	65
Figur 33 Opplevd antall stående per kvadratmeter med reviderte trengselsfunksjoner.	65
Figur 34 Illustrasjon av likevektsproblem.	66
Figur 35 Fast omvalgsandel.	69
Figur 36 Redusert omvalgsandel.	69
Figur 37 Synkende omvalgsandel.	70
Figur 38 Inkrementell utlegging.	70
Figur 39 Styreparametere.	72
Figur 40 To-trinns prosess.	73
Figur 41 Parametere for settbruk.	74
Figur 42 Eksempel på visualisering i GIS.	75