





SINTEF Teknologi og samfunn

Postadresse:  
Postboks 4760 Torgarden  
7465 Trondheim

www.sintef.no

Foretaksregister: NO 948 007 029 MVA

EMNEORD:

Transportmodeller, Regionale  
persontransportmodeller,  
Kollektivtrafikk,  
Tilgjengelighet

# Rapport

## Vurdering av betydning av tilgjengelighet til holdeplasser i RTM

**VERSJON**  
1.0**DATO**  
20. oktober 2017**FORFATTERE**  
Olav Kåre Malmin  
Odd André Hjelkrem  
Sahar Babri**OPPDRAGSGIVER**  
Statens vegvesen Vegdirektoratet**OPPDRAGSGIVERS REFERANSE**  
Henrik Vold**PROSJEKT**  
102014123**ANTALL SIDER OG VEDLEGG**  
26**SAMMENDRAG**

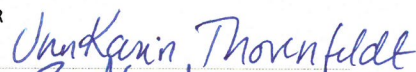
Rapporten beskriver forslag til alternative metoder for å finne tilgjengeligheten til holdeplasser i transportmodellen RTM. I RTM blir det opprettet tilbringerlenker til de tre nærmeste holdeplassene fra hver sone for hvert kollektivreisemiddel. Denne metoden kan i en del tilfeller føre til at sonen ikke kobles til gode kollektivknutepunkt fordi knutepunktet ikke er blant de nærmeste holdeplassene. I denne rapporten har vi beskrevet en metode for å identifisere de attraktive holdeplassene fra hver sone ut fra ulike attraktivitetsmål.

**UTARBEIDET AV**  
Olav Kåre Malmin

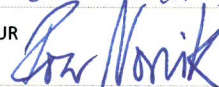
SIGNATUR

**KONTROLLERT AV**  
Unn Karin Thorenfeldt

SIGNATUR

**GODKJENT AV**  
Roar Norvik

SIGNATUR

**RAPPORTNUMMER**  
SINTEF A28062**ISBN**  
9788214061994**GRADERING**  
Åpen**GRADERING DENNE SIDE**  
Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	20.10.2017	Endelig rapport

---

## Innhold

<b>1</b>	<b>Bakgrunn</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Følsomhetsanalyse av modellens respons på endret tilbringertid</b>	<b>3</b>
2.1	Endringer i etterspørsel . . . . .	3
2.2	Endringer i rutevalg/LoS-data ved endret gangtid . . . . .	4
2.3	Endringer i reiselengde/destinasjonsvalg . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Tilpasning av sonetilknytninger</b>	<b>7</b>
3.1	Historikk om sonetilknytninger i RTM . . . . .	7
3.2	Sonetilknytninger reservert for tilbringerturer til kollektiv . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Attraktivitetsmål for kollektivholdeplasser</b>	<b>9</b>
4.1	Attraktivitetsmål . . . . .	9
4.2	Vurdering av attraktivitetsmål . . . . .	10
4.3	Metode for utvelgelse av holdeplasser basert på attraktivitetsmål . . . . .	13
4.4	Eksempler . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Metoder for beregning av tilbringertid</b>	<b>17</b>
5.1	Tilbringerlenker . . . . .	17
5.1.1	Public Transport i Cube Voyager . . . . .	18
5.1.2	Tilbringerlenker som inndata til Public Transport: NTlegs-fil . . . . .	19
5.2	Metoder for å beregne tidsbruk på tilbringerlenkene . . . . .	20
5.2.1	Nettverksmetode . . . . .	20
5.2.2	Rastermetode . . . . .	21
5.2.3	Vurdering av metoder . . . . .	22
<b>6</b>	<b>Muligheter for implementering i RTM</b>	<b>23</b>
6.1	Vurderinger av tilgjengelighetsbeskrivelser til holdeplasser . . . . .	23
6.2	Statisk eller dynamisk beregning . . . . .	23
6.3	Identifisering av attraktive holdeplasser i RTM . . . . .	23
6.4	Mer detaljert beregning av gangtid til holdeplass . . . . .	24
6.5	Behov for rammetallskalibrering . . . . .	24
	<b>Referanser</b>	<b>26</b>



## Forord

Prosjektet ”Vurdering av betydning av tilgjengelighet til holdeplasser i RTM” ble utført av Sintef Teknologi og samfunn avdeling Sikkerhet og mobilitet på oppdrag fra Statens vegvesen Vegdirektoratet. Målsettingen med prosjektet har vært å se på alternative metoder for å kartlegge tilgjengelighet til kollektivsystemet i transportmodellen RTM og også generelt. Rapporten krever at leseren har kjennskap til transportmodeller. En overordnet beskrivelse av transportmodellen RTM er beskrevet i Tørset et al. (2013).

Kontaktpersoner for oppdragsgiver har vært Guro Berge og Henrik Vold. Denne rapporten har vært forfattet av prosjektleder Olav Kåre Malmin og prosjektmedarbeiderne Sahar Babri og Odd André Hjelkrem. Unn Karin Thordenfeldt har vært kvalitetsikrer.





## Sammendrag

I RTM blir tilgjengeligheten til holdeplasser beregnet ved bruk av nettverksmodellen. Fra hver sone/grunnkrets blir det opprettet tilbringerlenker til de tre nærmeste holdeplassene for hvert kollektivmode. Denne metoden har en klar svakhet i antall holdeplasser det beregnes gangtider til. Spesielt i byområder kan alle tre tilbringerlenkene bli koblet til en og samme veg som betjenes av en lavfrekvent rute, når en ville ha hatt flere høyfrekvente ruter tilgjengelig ved å utvide søkeområdet litt. Dette fører til at kollektivtilbudet i modellen risikerer å bli kunstig dårlig. I denne rapporten skisserer vi en metode for å finne de attraktive holdeplasser fra hver sone.

Attraktive holdeplasser fra en sone identifiseres etter følgende kriterier:

- Frekvens: En kollektivrute med høy frekvens antas å ha høyere attraktivitet fordi ventetiden reduseres.
- Antall kollektivruter: Antallet kollektivruter som betjener holdeplassen sier vanligvis noe om hvor langt en kan nå uten å bytte. Dette er avhengig av at kollektivrutene ikke er overlappende. Dette punktet korrelerer sannsynligvis høyt med neste punkt, som er antall holdeplasser innenfor rekkevidde uten bytte.
- Antall holdeplasser innenfor rekkevidde: Dersom holdeplassen betjenes av mange ulike kollektivruter, vil dette antallet være høyere enn hvis holdeplassen betjenes av mange parallelle ruter. Samtidig kan antallet være høyere i noen tilfeller hvor noen få kollektivruter har stor geografisk spredning, sammenlignet med mange parallelle ruter.
- Antall soner som er tilgjengelig (uten bytte): Dette antallet bestemmes ved å telle antall soner som er dekket av holdeplassene som en kan nå uten bytte.
- Antall personer, husstander eller arbeidsplasser som er innenfor rekkevidde (uten bytte): Dette antallet er summen av personer eller husstander innenfor sonene som er tilgjengelig uten bytte. Dette kan måle attraktivitet fordi en kan tenke seg at det er aktivitet der hvor folk bor. Allikevel kan det være bedre å se på antall arbeidsplasser, da arbeidsreiser er en vesentlig andel av turene som blir foretatt i RTM.

Figur i viser hvordan metodikken endrer hvilke holdeplasser som bør være tilgjengelig for en sone i modellen:



Figur i: Til venstre: Kun de tre nærmeste holdeplassene blir utvalgt med nåværende metodikk. Til høyre: Utvalgte holdeplasser med den foreslåtte metoden. Størrelsen på sirklene illustrerer antall nye soner tilgjengelig fra holdeplassen.

## Summary

This report describes alternatives to the basic method of creating access and egress links to the public transport system in transport models. The basic method used in the Regional Transport Model, use the road network to find the 3 closest public transport stops for each mode. The drawback of this method is that the stops are only evaluated by their proximity and not how attractive they are.

In this report we have studied various factors of attractiveness:

- Frequency: A PT route with high frequency are more attractive because of shorter wait times.
- Number of PT routes servicing a stop: A stop with a high service rate will increase the probability of reaching more destinations without transfer.
- Number of stops in close proximity to the origin zone.
- Number of reachable destination zones without transfer from a stop.
- Attraction of reachable destination zones without transfer. Number of people and employment in destination zones.

Figure ii shows how the new method changes which stops should be available from a origin zone:

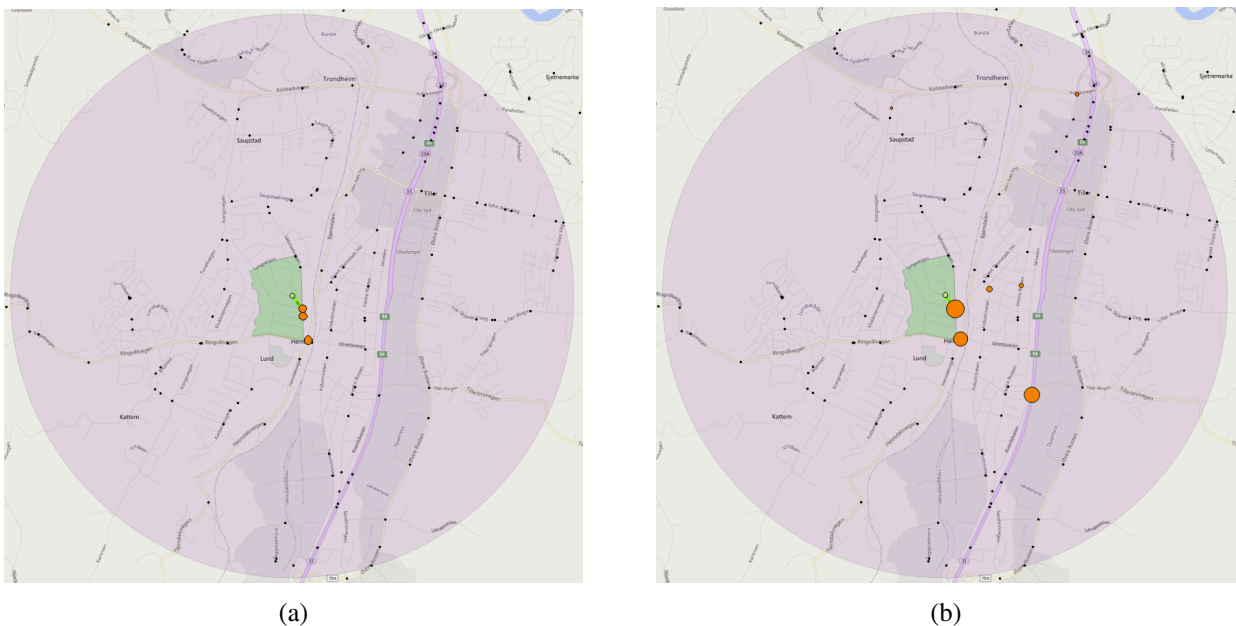
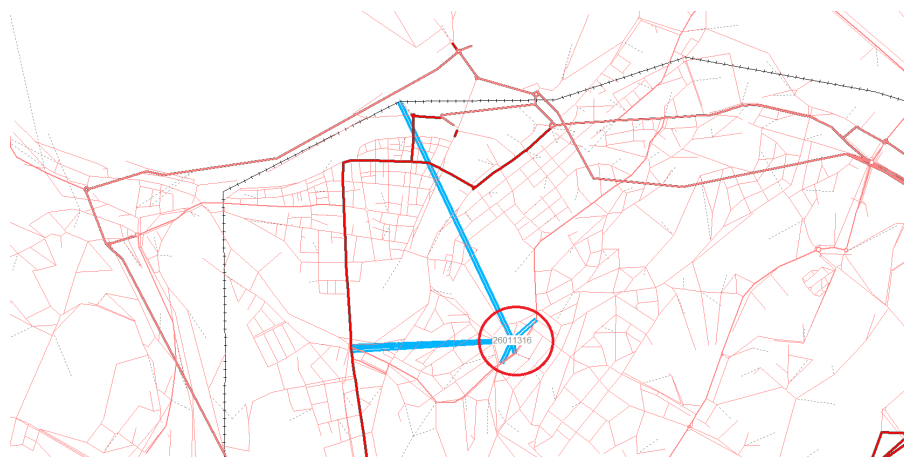


Figure ii: Left: The 3 closest stops only. Right: Suggested attractive stops. The size of the circles shows how many destination zones without transfer are available.

## 1 Bakgrunn

I Regionale persontransportmodeller (RTM) blir tilgjengeligheten til holdeplasser beregnet ved bruk av nettverksmodellen. For hver sone/grunnkrets blir det opprettet tilbringerlenker til de tre nærmeste holdeplassene for hvert kollektivmiddel (for eksempel buss, ekspressbuss, tog, trikk, båt). Figur 1 viser beregning av avstander fra en tilfeldig grunnkrets i Trondheim. Her oppretter RTM tilbringerlenker til tre holdeplasser i umiddelbar nærhet til grunnkretsen vist innenfor rød sirkel i figuren. Dette er de tre nærmeste holdeplassene som betjenes med buss. I tillegg blir det laget tilbringerlenker til Trondheim Sentralbanestasjon og til to holdeplasser som passeres av ekspressbussene ved Holtermannsvegen.



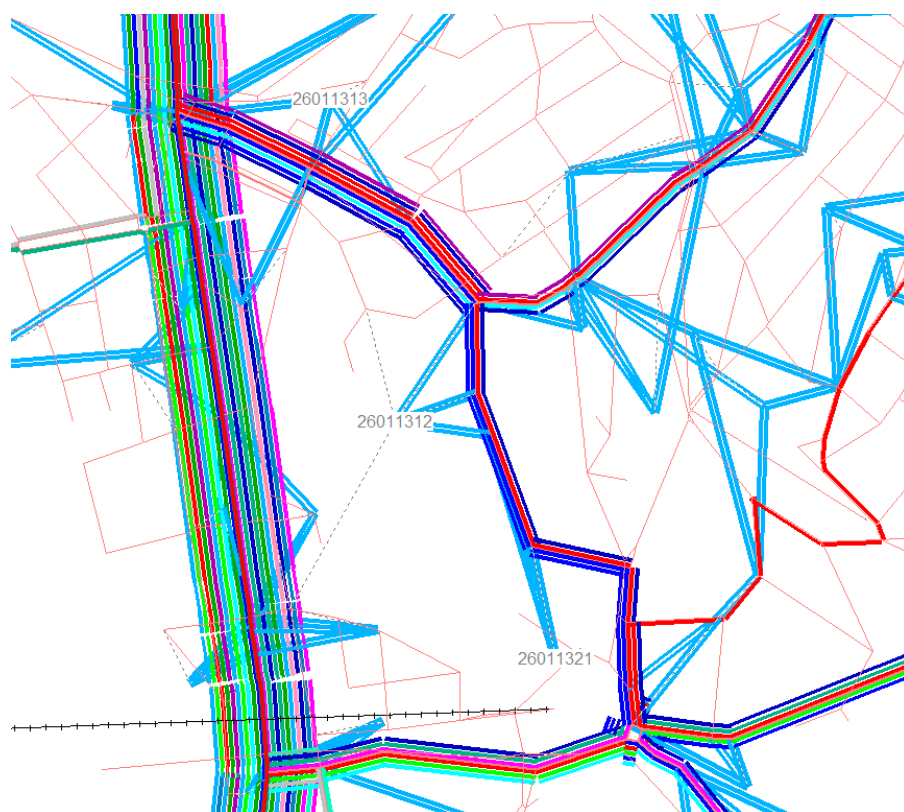
Figur 1: Tilbringerlenker til ulike holdeplasser fra en sone

Metoden har en klar svakhet i både antallet holdeplasser det beregnes ganglenker til og at det alltid velges de nærmeste holdeplassene uavhengig av kvaliteten på tilbudet på de valgte holdeplassene. Spesielt i byområder, som i eksemplet over, blir alle tre tilbringerlenkene koblet til en og samme veg som betjenes av en lavfrekvent rute, mens ved å gå litt lengre vestover vil mange høyfrekvente ruter bli tilgjengelig. Metoden fører til at kollektivtilbudet for denne sonen blir kunstig dårlig. Årsaken til at det bare er de tre nærmeste holdeplassene for hvert kollektivmiddel det beregnes tilbringerlenker til er at den gang metoden ble utviklet rundt 2005-2006 ga dette det beste kompromisset mellom ulike rutevalg og beregningstid.

Med dagens økte beregningsskapasitet er det i teorien mulig å kartlegge tilbringer fra en gitt til en hel rekke ekstra holdeplasser enn de tre som benyttes i dag men dette vil gjøre rutevalgsfiler unødvendig store og for store modellområder er beregningstid et stort problem til tross for utviklingen i beregningsskapasitet. I dette prosjektet vil vi søke å opprette tilbringerlenker til de hensiktsmessige holdeplassene for å unngå unødvendig kompleksitet.

Figur 2 viser problemstillingen som oppstår når mindre attraktive holdeplasser blir benyttet. Sonene 26011312 og 26011321 er alle koblet med tilbringerlenker til en busstrasé med 1-2 bussruter, mens sone 26011313 har en av de tre tilbringerlenkene knyttet til en holdeplass som betjenes av svært mange bussruter. Sone 26011312 har fire sonetilknytninger, mens bare to av dem benyttes til å opprette tilbringerlenker siden disse gir minst avstand til de tre holdeplassene.

Gangtidene til holdeplasser beregnes langs tilbringerlenkene ut fra den delen av nettverket som er tilgjengelig for gående. I dagens versjon av RTM skiller det ikke på ulike hastigheter for ulike tilbringerlenker, slik at all gangtid beregnes ved å benytte en ganghastighet på 5 km/t. Dette fører til at tilgjengeligheten til kollektivsystemet er svært avhengig av at sonene er knyttet riktig til nettverket. I de fleste tilfellene er det benyttet en eller to sonetilknytninger for å koble sonene til kollektivsystemet. Hvordan disse er plassert kan i svært mange tilfeller være uheldig. Årsaken til dette er historisk; da sonene ble kodet opp første gang ble dette gjort på et nettverk som var mye mindre detaljert enn dagens transportnettverk og derfor ble de fleste soner koblet direkte ut på hovedvegnettet istedenfor på lokale samleveger. Under arbeidet med å kode nye, mer detaljerte,



Figur 2: Tilbringer til buss for ulike soner ved NTNU

transportnettverk har de fleste sonetilknytninger levd videre. I tillegg er det ikke sikkert at avstandene som er påkodet sonetilknytningene er riktig. Denne avstanden ble i utgangspunktet beregnet som avstanden i luftlinje fra vegnettet til boligtyngdepunktet i hver grunnkrets, men skal helt representere den gjennomsnittlige avstanden det tar å bevege seg fra alle adressepunkt i sonen til transportnettverket.

Formålet med prosjektet har vært å utforske betydningen av å kode inn tilgjengeligheten til og fra holdeplasser bedre i RTM, samt å utforske effekter i modellen av forbedringer i tilgjengeligheten til holdeplasser. Hensikten med dette er blant annet å kunne gjøre samfunnsøkonomiske analyser av tiltak som gir bedre tilgjengelighet til holdeplass. Mer konkret har prosjektet sett på følgende aspekter:

1. Følsomhetsanalyse av modellens respons på endret tilbringertid (kap 2).
2. Retningslinjer for plassering av sonetilknytninger (kap 3).
3. Teste alternativ metodikk for å opprette nye tilbringerlenker fra soner til attraktive holdeplasser (kap 4).
4. Beregning av gjennomsnittlige gangtider og gangavstander på sonetilknytninger (kap 5).

I RTM er det bare endring av reisetid som vil gi en effekt. Tilgjengelighetstiltak, på vei til holdeplass, eller på selve holdeplassen, som går på komfort, sikkerhet (fysisk eller opplevd) som ikke nødvendigvis er målbare i reisetid er vanskelig å modellere. Hvordan de reisende responderer på slike tiltak er bakt inn i de ulike estimerte parameterverdiene for kollektivtransport, og disse må være konstante mellom alternativ. Det vil ikke gi noen mening å modellere effekten av endrede etterspørselsparametere.

## 2 Følsomhetsanalyse av modellens respons på endret tilbringertid

I RTM består en kollektivreise av tre ulike komponenter som det beregnes tidsbruk for:

- Gangtid fra grunnkrets til holdeplass og mellom holdeplasser ved bytte.
- Ventetid på holdeplass for første holdeplass og ved bytte.
- Ombordtid i kollektivmiddelet.

Reisetidskomponentene behandles ulikt i ulike deler av modellen. I kollektivrutevalget for å finne beste rute mellom to soner blir de ulike reisetidskomponentene vektet med tidskostnader i kroner per minutt, mens i etterspørselsmodellen Tramod\_by blir hver tidskomponent multiplisert med hver sin parameterverdi i nyttefunksjonen. Endret gangtid vil derfor gi andre effekter i modellen enn endring av ventetid eller ombordtid.

I første del av dette prosjektet har vi utført en følsomhetsanalyse i RTM for å finne hvor store konsekvenser det vil være ved å øke eller redusere gangtiden til holdeplasser. Konsekvenser av endret gangtid er undersøkt fra flere utgangspunkter:

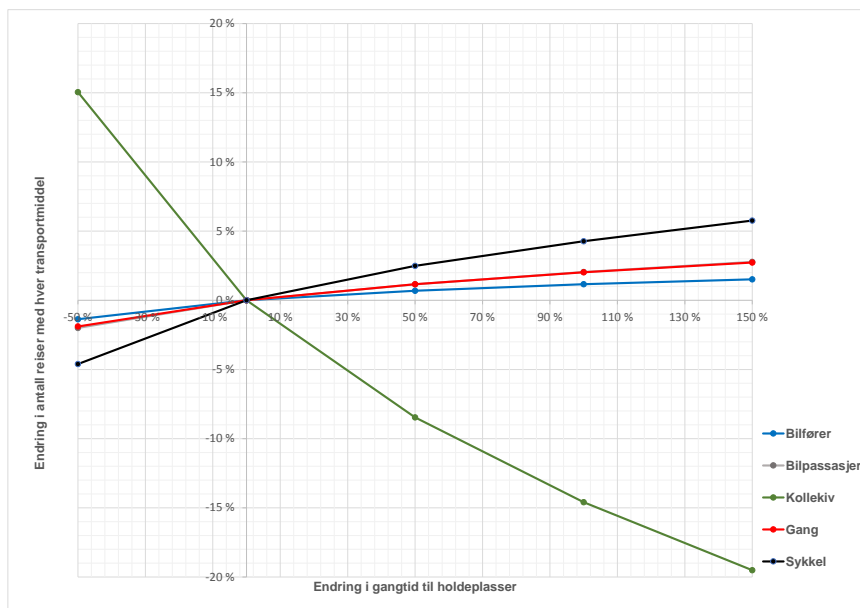
1. Endringer i etterspørselen for ulike transportmidler ved endring i tilbringertid til holdeplasser.
2. Endringer i Level-of-Service (LoS) data for kollektivmode når tilbringertid til holdeplasser endres.
3. Endring i reiselengde for trafikanter av ulike transportmidler.

For å endre gangtid til holdeplasser har vi for unngå tidkrevende redigering av transportnettet valgt kun å endre ganghastighet på tilbringerlenker mellom soner og holdeplasser. Gangtid mellom holdeplasser ved bytte av kollektivrute eller kollektivmiddel har ikke blitt endret.

Følsomhetsanalysen har blitt utført ved bruk av delområdemodell Nidaros og har fokusert på reiser innad i Trondheim.

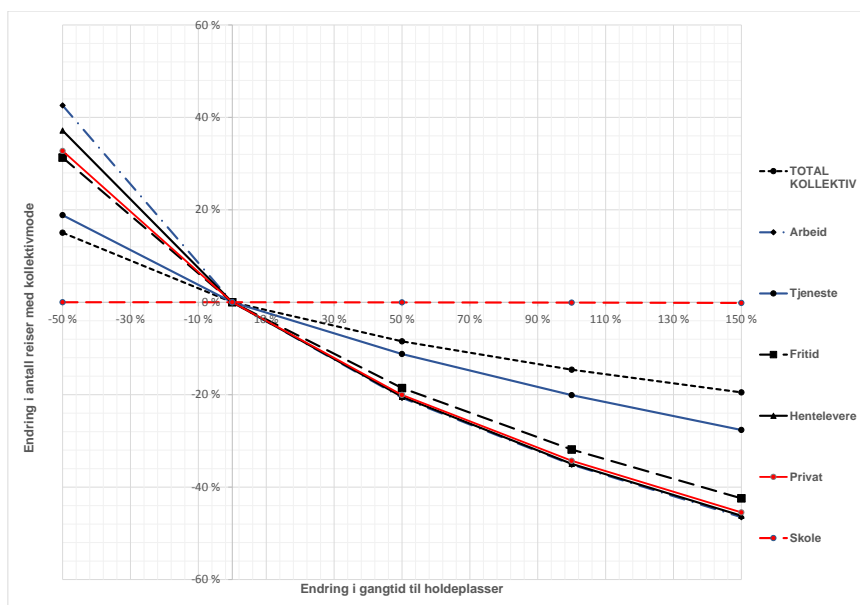
### 2.1 Endringer i etterspørsel

Endring i tilbringertid til holdeplasser fører til at etterspørselen for ulike transportmidler endres. En økt tilbringertid gjør at færre trafikanter velger kollektiv som reisemiddel. Figur 3 viser hvordan antall arbeidsreiser med hvert transportmiddel endres på grunn av endring i tilbringertid i dagens RTM. Ved 50% økning i tilbringertid senkes etterspørsel for kollektiv med 8% mens sykkelturner øker med 2% og bilturer og gangturer øker med nesten 1%.



Figur 3: Endring i transportmiddelfordeling for arbeidsreiser ved endring i tilbringertid til holdeplasser.

Figur 4 viser endring i antall kollektivreiser inndelt i reisehensikter. Som vist i figur 4 er arbeidsreiser mest elastiske og tjenestereiser minst elastiske mot økt tilbringertid til holdeplasser blant kollektivreisene. Skolereiser blir ikke påvirket siden skolemodellen ikke benytter LoS-data for kollektiv (Rekdal, 2009).

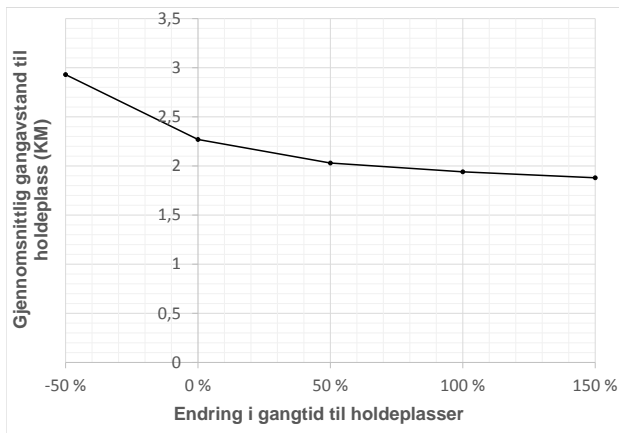


Figur 4: Endring i antall kollektivreiser ved endring i tilbringertid til holdeplasser.

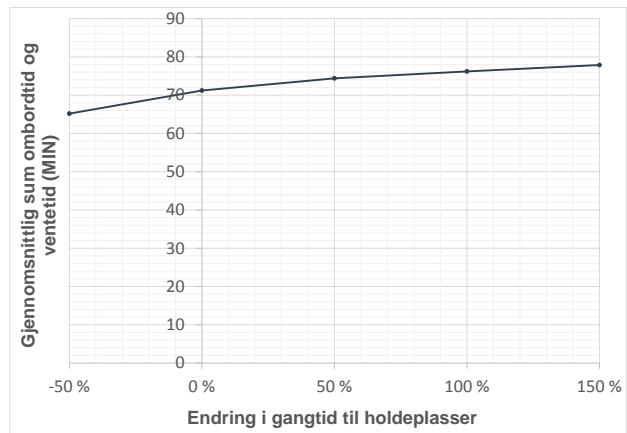
## 2.2 Endringer i rutevalg/LoS-data ved endret gangtid

De ulike reisetidskomponentene for kollektivreiser vektes ulikt i dagens kollektiv rutevalgmetode i RTM, som finner beste rute mellom alle sonepar. Det betyr at de to andre komponentene, nemlig ombordtid og ventetid,

endres ved endring i tilbringertid til holdeplasser for de beste rutene. Figur 5 viser at når det tar lengre tid å nå holdeplassene velger man en holdeplass som er nærere (figur 5a), selv om må man vente lengre på holdeplassen og/eller reise lengre ombord (figur 5b).



(a) Endring i gangavstand.

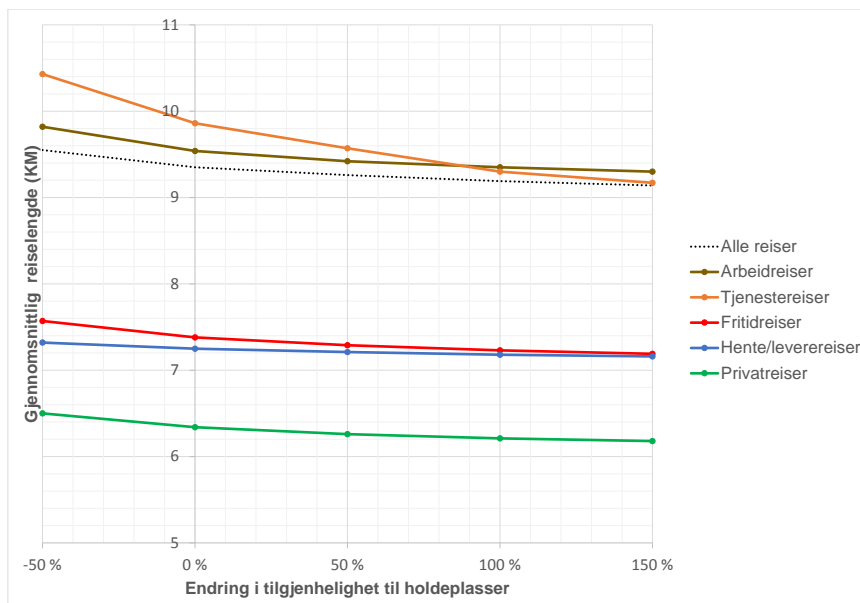


(b) Endring i sum vente/ombordtid.

Figur 5: Endring i reisetidskomponentene for kollektivreiser ved endring i tilbringertid til holdeplasser.

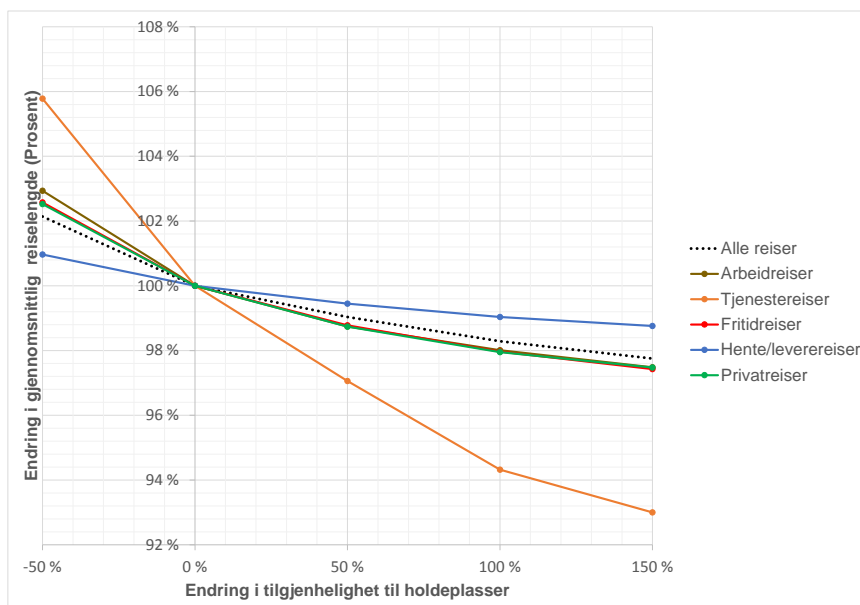
### 2.3 Endringer i reiselengde/destinasjonsvalg

Endring i tilbringertid kan lede til endring i destinasjonsvalg slik at gjennomsnittlig reiselengde i hele modellområdet blir endret. For å undersøke dette har vi plottet gjennomsnittlig reiselengde for hver reisehensikt i figur 6. Som vist i figuren blir alle reisene, uansett reisehensikt og reisemiddel, kortere når tilbringertid øker.



Figur 6: Gjennomsnittlig reiselengde for ulike reisehensikter.

Destinasjonsvalg for noen av reisehensiktene er mer elastisk enn de andre. Det vises i figur 7 at tjenestereisene er mest elastiske mens hente/leverereisene er minst elastiske.



Figur 7: Endring i reiselengde for ulike reisehensikter ved å endring i tilbringertid.

Figur 6 og figur 7 viser at modellering av riktig tilbringertid ikke bare er viktig for å få beregnet kollektivreiser riktig, men at dette også påvirker andre reisemiddel.

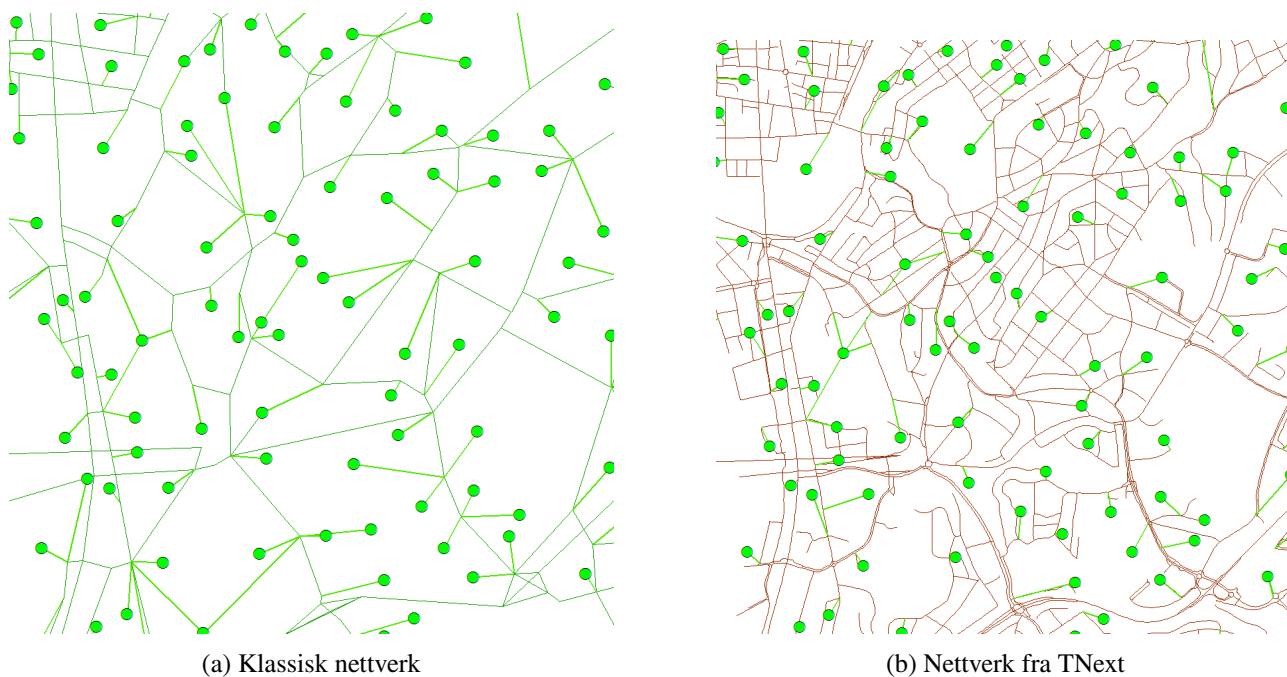


### 3 Tilpasning av sonetilknytninger

I dette kapittelet skal vi se på hvilke muligheter som finnes i de tilgjengelige verktøyene TNext og RTM uten å utføre modifikasjoner. Tilgjengelighet til holdeplasser blir beregnet i nettverket fra sonen langs sonetilknytningen og ut på vegnettet til ulike holdeplasser. I nettverkene som benyttes i RTM er det stort sett en sonetilknytning per sone. I en del tilfeller finnes det to, og i noen få spesielle tilfeller er det tre sonetilknytninger.

#### 3.1 Historikk om sonetilknytninger i RTM

Historisk ble sonetilknytningene opprettet til bruk i første versjon av RTM rundt 2002-2003. Dette ble gjort ved at selve sonepunktet ble plassert i boligtyngdepunktet i hver sone og sonetilknytning til nærmeste node i vegnettverket ble opprettet automatisk i GIS-applikasjon. Dette medførte en del manuell redigering på grunn av at noen soner ble koblet på nettverket på svært urealistisk vis, for eksempel på tvers av en fjord. De klassiske nettverkene som ble benyttet i første versjoner av RTM ble produsert basert på Elveg og inneholdt stort sett hovedvegnettet (figur 8a). De nye nettverkene produsert i TNext inneholder mer detaljer på lokalvegnettene (figur 8b). Dermed kunne sonetilknytningene kobles til et mer detaljert nettverk, noe som er utført for en rekke modellområder i de forskjellige regionene.



Figur 8: Ulik detaljering av transportnett i RTM

På grunn av overgangen til mer detaljert nettverk som krevde en manuell tilpasning av sonetilknytninger er det en risiko at mange soner fortsatt er koblet lite hensiktsmessig til nettverkene. Det er mulig å søke etter uheldige sonetilknytninger maskinelt ved å sortere ut spesielt lange sonetilknytninger absolutt, eller i forhold til arealet på sonen. Men i de fleste tilfellene krever redigering av sonetilknytninger lokalkunnskap.

Antall sonetilknytninger fra hver sone til nettverket har vært begrenset til mellom en og tre litt avhengig av egenskapene til sonene. Dette var både på grunn av datatekniske og modellfaglige årsaker. Den gang RTM var basert på transportmodellprogramvaren *Trips* var det kun mulig å ha åtte lenker knyttet til hver node, og når nettverkene var forenklet med få noder oppsto det et problem med for mange lenker på hver node. Denne begrensningen finnes ikke lenger og det er derfor ikke noen teoretisk grense for hvor mange lenker som kan gå ut fra hver sone. Det vil være et problem i transportmodellen hvis én sone er koblet til to ulike deler av samme

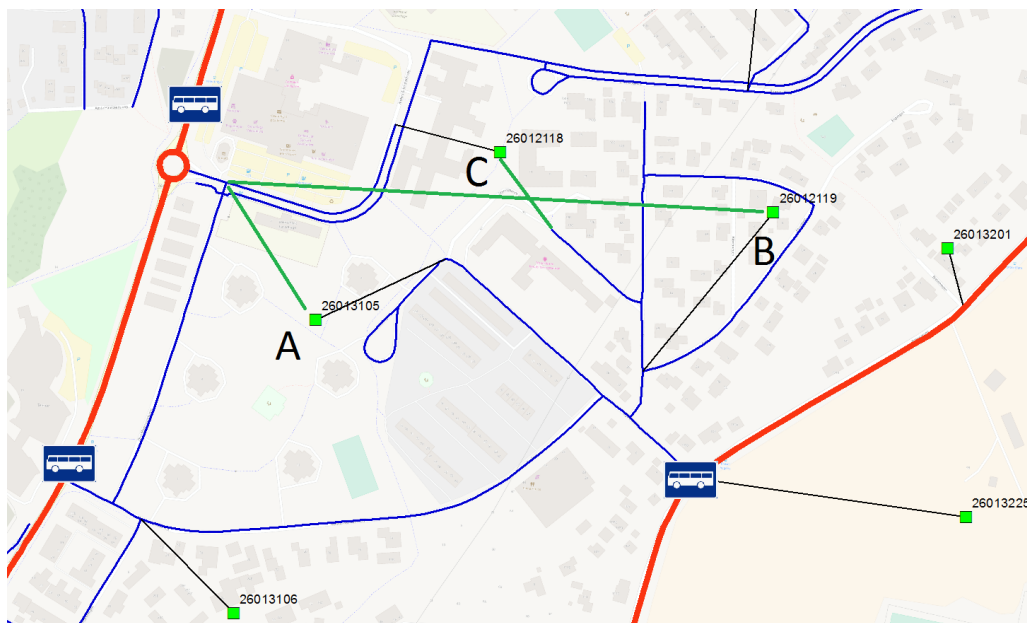
veg, slik at biltrafikk fra en del av modellområdet vil kjøre inn og ut den ene lenken, og turer til den andre delen vil kjøre inn og ut den andre lenken. Dette kan gi for lav trafikk på veien mellom sonetilknytningene og slik påvirke kapasitetsberegningen. Hvis det i virkeligheten er slik at det er to mulige veier inn i et område hvor det er naturlig å benytte den ene eller andre innkjøringen, avhengig av retning, vil dette ikke være et problem.

### 3.2 Sonetilknytninger reservert for tilbringerturer til kollektiv

I RTM er lenketype nr 31 (sonetilknytning kollektiv) reservert til å fungere som ekstra sonetilknytninger forbeholdt gangturer, enten som ren gangtur eller som tilbringer til en kollektivholdeplass. Det er ingen restriksjoner på hvor mange slike sonetilknytninger som kan benyttes for hver sone. Ved å benytte slike lenker vil flere holdeplasser være tilgjengelig for rutiner som regner på tilgjengelighet til holdeplasser, spesielt hvis sonetilknytninger for bil er uheldig plassert.

Ekstra sonetilknytninger for gange og kollektiv opprettes der det typisk finnes snarveger som ikke er representert i nettverket fra NVDB, eller der det finner flere aktuelle holdeplasser på ulike sider av en grunnkrets. Det finnes ingen automatiske rutiner for opprettelse av disse lenkene. Dette er et manuelt arbeid som krever både lokalkjennskap og mye tid.

Et eksempel på nyttig bruk av nye tilknytninger for gange og tilbringer til kollektivholdeplasser finner vi på Valentinlyst i Trondheim, vist i figur 9. Her finnes tre soner som oppleves i virkeligheten å ha samme kollektivtilbud. I dette området finnes spredte høyblokker og parklignende areal rundt disse. Sone A er koblet til bilvegen som går inn i området, noe som representerer muligheten for å kjøre på et riktig vis (svart sonetilknytning). For å nå holdeplasser til kollektivrutene vest i området (røde sonetilknytninger) må det gås en lang omveg i nettverket. Det samme problemet gjelder for sone B hvor det også er en lang omveg til kollektivholdeplassene ved rundkjøringen vest i figuren. Sone C får en svært lang omveg for å nå kollektivruter til sørvest i figuren. Ved å opprette nye sonetilknytninger for gange og kollektiv, vist med grønt i figuren, vil alle kollektivholdeplasser få en mer riktig beregnet tilgjengelighet. For å modellere konkurranseforholdet mellom de ulike holdeplassene er det viktig at avstanden på de nye sonetilknøytningene settes riktig, spesielt for den litt lange sonetilknøytningen fra sone B.



Figur 9: Sonetilknøytninger på Valentinlyst. Grønne lenker er forslag til nye sonetilknøytninger for gange og tilbringer til kollektiv.

## 4 Attraktivitetsmål for kollektivholdeplasser

I RTM blir tilgjengeligheten til holdeplasser beregnet ved bruk av nettverksmodellen. Fra hver sone/grunnkrets blir det opprettet tilbringerlenker til de tre nærmeste holdeplassene for hvert kollektivmode. Denne metoden har en klar svakhet i antall holdeplasser det beregnes gangtider til. Spesielt i byområder kan alle tre tilbringerlenkene bli koblet til en og samme veg som betjenes av en lavfrekvent rute, når en ville ha hatt flere høyfrekvente ruter tilgjengelig ved å utvide søkeområdet litt. Dette fører til at kollektivtilbudet i modellen risikerer å bli kunstig dårlig.

Det er historiske årsaker til at dette gjøres på denne måten i dag. Metoden ble utviklet i 2005-2006, og var den løsningen som var optimal med tanke på muligheter og beregningstid. I teorien kan man opprette tilbringerlenker til alle holdeplasser, men det fører til unødvendig mye beregningstid. Vi søker heller etter å opprette tilbringerlenker til de *riktige* holdeplassene. For å gjøre det, må det avklares hvilke kriterier en *riktig* holdeplass oppfyller. Hvis en tenker seg en kollektivpassasjer som skal gjøre et valg mellom flere holdeplasser, kan en anta at den riktige holdeplassen er en kombinasjon av den nærmeste og mest attraktive holdeplassen. Dersom en følger denne antagelsen, må det defineres en metode for å bestemme både attraktivitetsmål og avstand til holdeplasser. Vi ser først på attraktivitetsmål.

### 4.1 Attraktivitetsmål

Fordi attraktivitetsmålet skal være implementerbart i RTM, må det være basert på den informasjonen som er tilgjengelig i RTM. Det som er identifisert som relevant for dette prosjektet er følgende:

- Frekvens: En kollektivrute med høy frekvens antas å ha høyere attraktivitet fordi ventetiden reduseres.
- Antall kollektivruter: Antallet kollektivruter som betjener holdeplassen sier vanligvis noe om hvor langt en kan nå uten å bytte. Dette er avhengig av at kollektivrutene ikke er overlappende. Dette punktet korrelerer sannsynligvis høyt med neste punkt, som er antall holdeplasser innenfor rekkevidde uten bytte.
- Antall holdeplasser innenfor rekkevidde: Dersom holdeplassen betjenes av mange ulike kollektivruter, vil dette antallet være høyere enn hvis holdeplassen betjenes av mange parallelle ruter. Samtidig kan antallet være høyere i noen tilfeller hvor noen få kollektivruter har stor geografisk spredning, sammenlignet med mange parallelle ruter.
- Antall soner som er tilgjengelig (uten bytte): Dette antallet bestemmes ved å telle antall soner som er dekket av holdeplassene som en kan nå uten bytte.
- Antall personer, husstander eller arbeidsplasser som er innenfor rekkevidde (uten bytte): Dette antallet er summen av personer eller husstander innenfor sonene som er tilgjengelig uten bytte. Dette kan måle attraktivitet fordi en kan tenke seg at det er aktivitet der hvor folk bor. Allikevel kan det være bedre å se på antall arbeidsplasser, da arbeidsreiser er en vesentlig andel av turene som blir foretatt i RTM.

Det kan være rimelig å anta at kollektivrutene er planlagt slik at alle innbyggere skal ha et likeverdig kollektivtilbud. Dersom det hadde vært tilfelle, ville det være høy korrelasjon mellom frekvens, antall ruter per holdeplass og antall soner som er tilgjengelig med en kollektivrute. I tillegg kan en anta at den geografiske størrelsen på en sone er bestemt av antall innbyggere, slik at det er forventet en korrelasjon mellom antall soner tilgjengelig og antall personer tilgjengelig. Hvis det er flere attraktivitetsmål som er korrelerende og overlappende, vil det sannsynligvis ikke være formålstjenlig å bruke en kombinasjon av alle informasjonskilder. I neste seksjon er det gjort en vurdering av attraktivitetsmålene for å se hvordan de beskriver attraktiviteten til en holdeplass, og for å se om disse antagelsene stemmer.

## 4.2 Vurdering av attraktivitetsmål

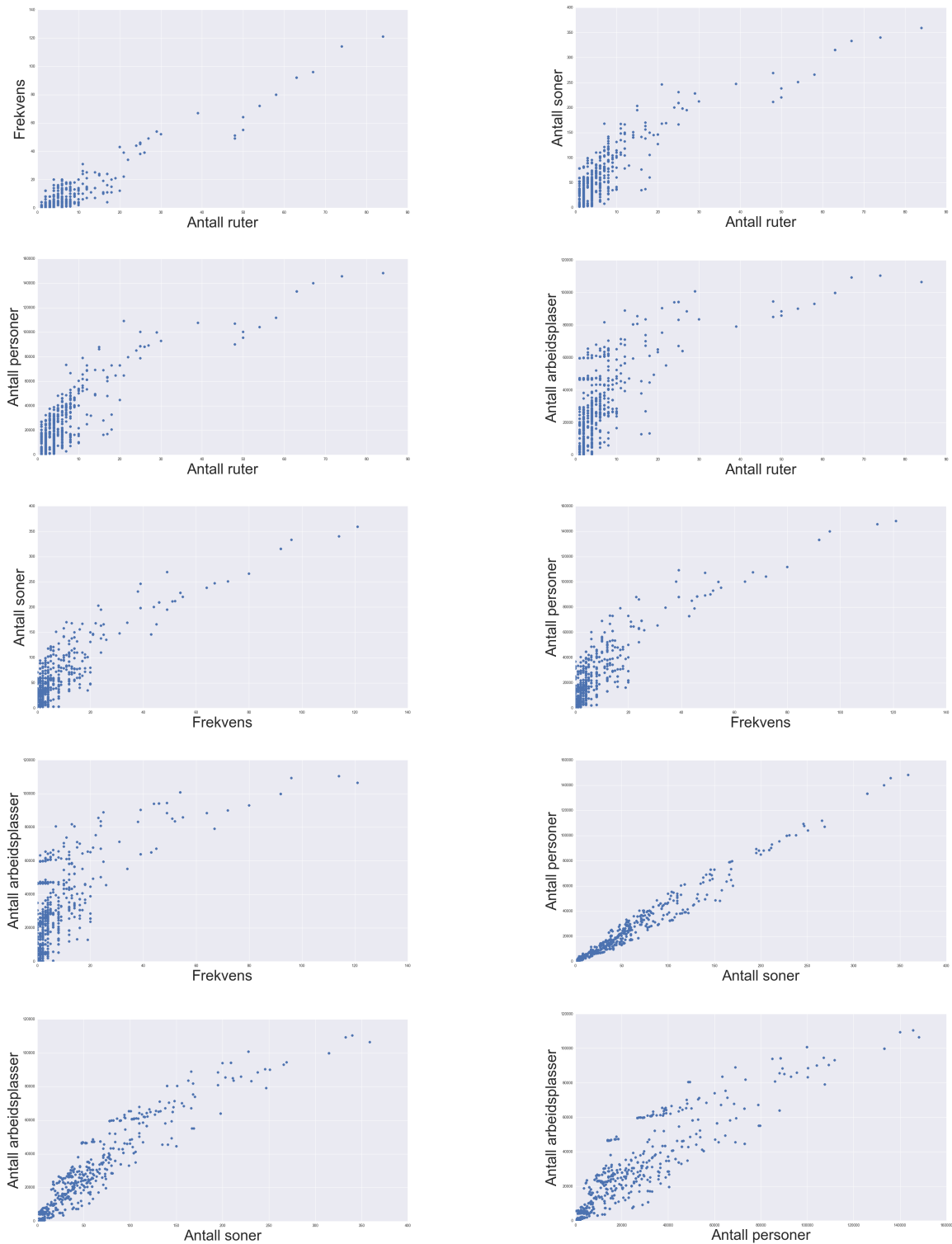
For å vurdere attraktivitetsmålene ble det tatt utgangspunkt i data for Sør-Trøndelag. Datakildene som ble brukt er følgende:

- **DOM\_Nidaros\_2014\_210515.GDB:** Denne filen inneholder blant annet informasjon om vegnettverk, sentroider, kollektivholdeplasser og kollektivruter.
- **Befolkning\_MMMM\_2014\_180914.dbf:** Fil med informasjon om befolkning gruppert etter alder for hver sentroide.
- **Sonedata\_arbeidsplasser\_parkering\_150418.dbf:** Fil med informasjon om blant annet arbeidsplasser for hver sentroide.
- **Grunnkretser\_Norge\_flate.shp:** Shapefil med polygon for alle grunnkretser i Norge.

Innholdet i filene ble brukt til å legge informasjon på hver holdeplass om følgende attraktivitetsmål:

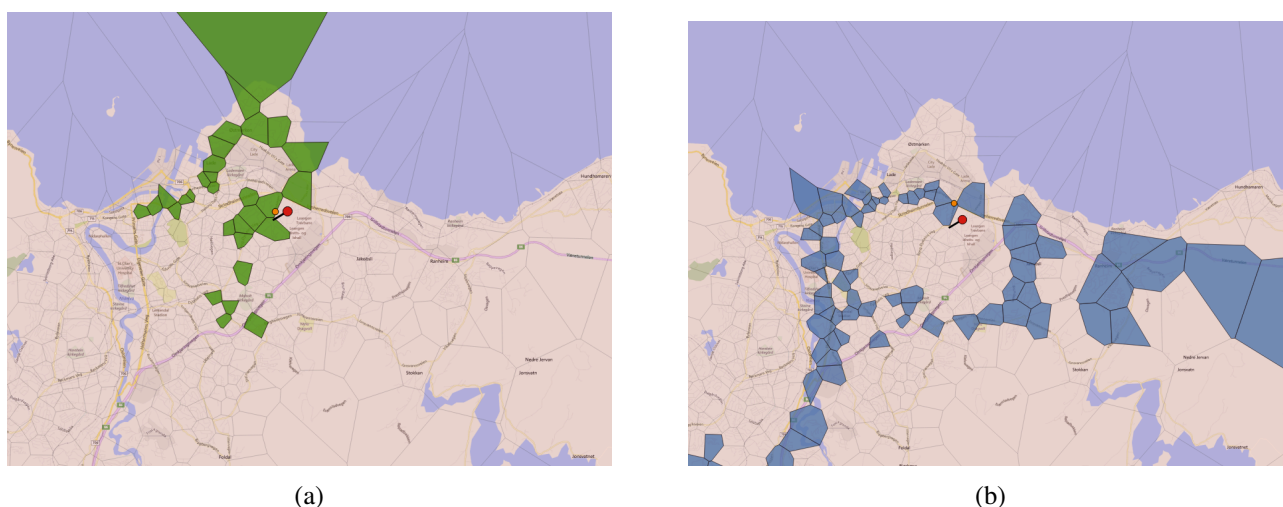
- Antall ruter som stopper på holdeplass.
- Frekvens på hver holdeplass. Denne ble beregnet ved å legge sammen alle frekvenser for de rutene som stopper på holdeplassen, omregnet til avganger per time. Hvis for eksempel en holdeplass blir betjent av to ruter med en frekvens på 20 minutter mellom ankomster, vil frekvensen for holdeplassen bli omregnet til 6 ganger per time (3 ganger per time pluss 3 ganger per time).
- Antall soner som er tilgjengelig fra holdeplass. Dette ble beregnet ved å først finne alle ruter som stopper på holdeplassen. Dermed ble det kjørt en rutine for å finne alle soner som blir betjent av alle holdeplasser på alle de rutene. Rutinen tar vare på historikken for å unngå dobbelttelling i de tilfellene der det er to ruter som dekker de samme sonene.
- Antall personer tilgjengelig fra holdeplass. Dette ble beregnet tilsvarende som forrige punkt, men i tillegg ble det inkludert informasjon om antall personer i hver sone som er tilgjengelig fra holdeplassen.
- Antall arbeidsplasser tilgjengelig fra hver holdeplass. Dette ble beregnet som i forrige punkt.

Videre ble det grafisk undersøkt om det er korrelasjon mellom attraktivitetsmålene. Som vist i Figur 10, er det en viss sammenheng mellom målene. Det er en tydelig lineær sammenheng mellom antall ruter og frekvens, som er forventet. I tillegg er det som forventet en sterk sammenheng mellom antall soner som er tilgjengelig, antall personer som er tilgjengelig og antall arbeidsplasser som er tilgjengelig. Ser en på sammenheng mellom antall ruter/frekvens og antall soner/personer/arbeidsplasser, er sammenhengen mindre tydelig, og mindre lineær, selv om det er en sterk tendens til proporsjonalitet.



Figur 10: Sammenheng mellom attraktivitetsmål

Som nevnt tidligere, så er det med gjeldende metode en viss risiko for at holdeplasser som scorer høyt på attraktivitetsmål ikke blir tatt med i vurderingen. Dette selv om at de ville ha blitt vurdert som attraktive i virkeligheten. Problemstillingen kan visualiseres grafisk med et eksempel fra DOM Nidaros, som vist i Figur 11a . Her er det valgt ut en sone der et feil valg av holdeplass kan ha store utslag på attraktivitet. Sonen med HNR 26012105, markert med et rødt punkt i figuren, ligger øst for Trondheim sentrum. Det er et stort antall kollektivruter som går forbi sonen, og det er også et kollektivknutepunkt i nærheten. Sonetilknytningen er kodet slik at de tre nærmeste holdeplassene kun betjenes av to ruter. For flere av innbyggerne i sonen vil det være like naturlig å velge knutepunktsholdeplassen. For å illustrere dette er det visualisert hvor stort område to holdeplasser dekker uten bytte av kollektivtransport. Dette er vist i Figur 11a og Figur 11b. I Figur 11a er det plottet sonesentroide med sonetilknytning, den nærmeste holdeplassen (oransje punkt), samt de sonene som er innenfor rekkevidde (grønne felt). Figur 11b viser det samme dersom kollektivknutepunktet blir valgt som mest attraktive holdeplass for sonen. Tabell 1 viser i tillegg en beregning av de øvrige attraktivitetsmål.



Figur 11: Demonstrasjon av attraktivitetsmål for holdeplass

Tabell 1: Attraktivitetsmål for holdeplassene vist i Figur 11a og 11b

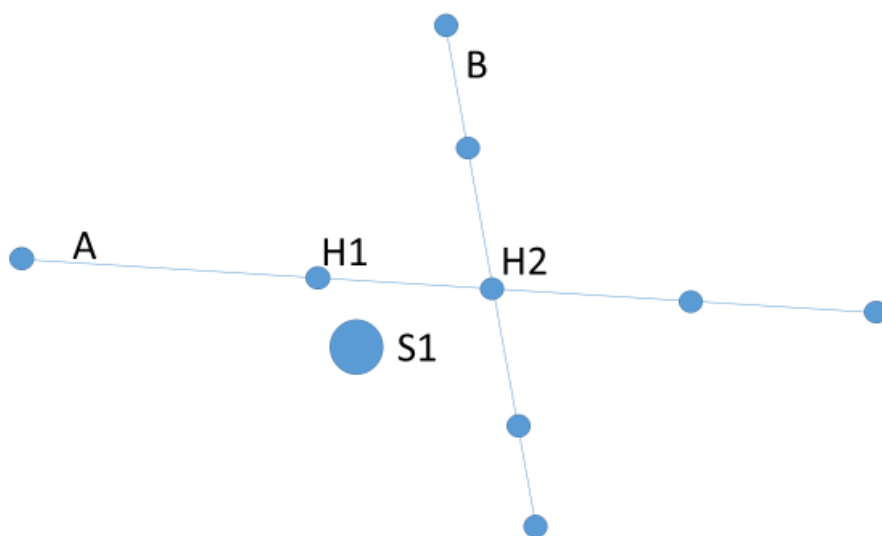
Attraktivitetsmål	Holdeplass i Figur 11a	Holdeplass i Figur 11b
Frekvens (avg./time)	1	24
Antall ruter	2	17
Antall soner	30	164
Antall personer	14 785	61 141

Denne problemstillingen danner utgangspunkt for en metode for utvelgelse av riktige holdeplasser, som er presentert i neste seksjon.

### 4.3 Metode for utvelgelse av holdeplasser basert på attraktivitetsmål

Fra eksempelet illustrert i Figur 11a og Figur 11b er det lett å se hvilke holdeplasser som burde ha blitt utvalgt. Problemet er å oversette denne logikken til en algoritme som fungerer og er implementerbar. Å vurdere alle holdeplasser manuelt i modellområdet vil være for tidkrevende, så en er fortsatt avhengig av en logisk utvelgelse av holdeplasser.

For å finne en metode som fungerer, kan en analysere valget mellom holdeplasser. Vi ser derfor på et eksempel, som er et nettverk med kun én bussrute. Denne bussruten heter A, og har 5 holdeplasser. Fordi det er kun én bussrute, har alle holdeplasser like attraktivitetsmål (frekvens, antall ruter, antall soner, personer og arbeidsplasser). Holdeplasser blir valgt ut på grunnlag av avstand til holdeplass og grad av tilgjengelighet. Siden alle holdeplassene har like attraktivitetsmål er det den nærmeste holdeplassen H1 som blir valgt for sone S1.



Figur 12: Eksempel på metode for beregning av attraktivitetsmål for holdeplasser.

Så kan en tenke seg at en ny bussrute B blir etablert med 5 holdeplasser. Den holdeplassen H2 på bussrute B som ligger nærmest sone 1 er også en holdeplass som blir betjent av bussrute A ( $H1 \neq H2$ ). Det vil øke attraktivitetsmålet til H2, slik at det er kun H1 og H2 som er aktuelle valg. Ingen av de resterende 8 holdeplassene bidrar til økt attraktivitetsmål. Eksempelet illustrerer følgende poeng:

*Kun de holdeplassene som bidrar til økt attraktivitetsmål er aktuelle for en som skal velge mellom holdeplasser.*

Basert på dette, foreslår vi følgende metode for å finne aktuelle holdeplasser:

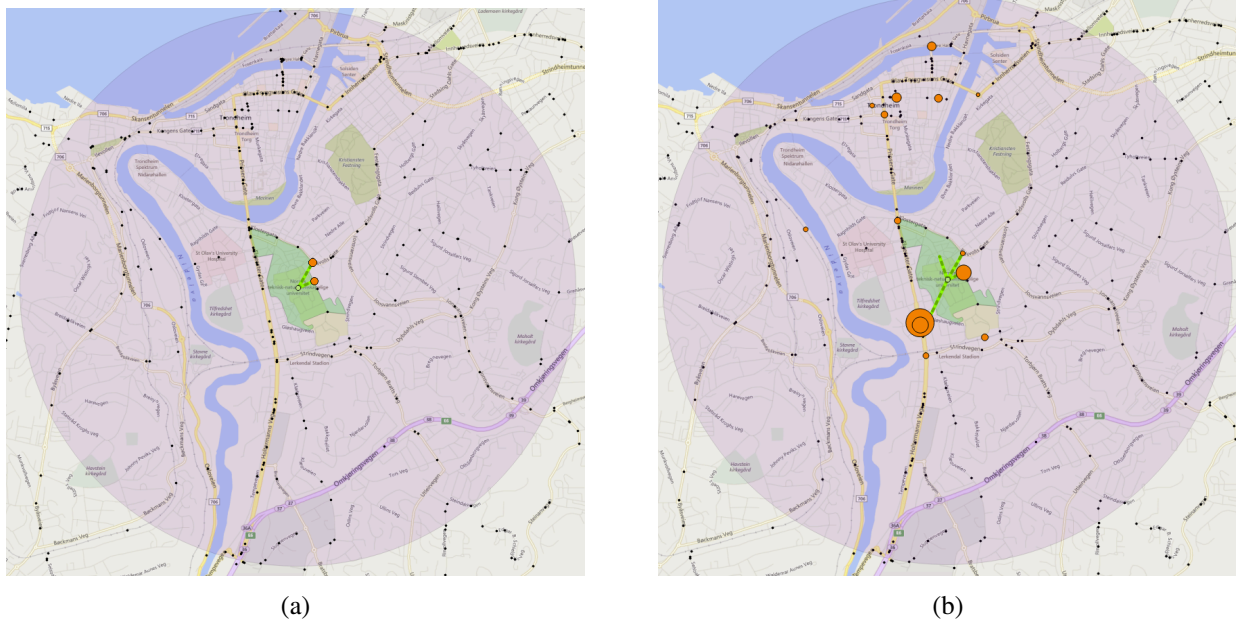
1. Beregn avstand mellom soner og holdeplasser.
2. Velg et attraktivitetsmål.
3. Beregn økning i attraktivitetsmål for hvert sone-holdeplass-par.
4. De holdeplasser som bidrar til økning i attraktivitetsmål vil være aktuelle for valg av holdeplasser i modellen.

Effektene av metoden er videre demonstrert med fire konkrete eksempler.

#### 4.4 Eksempler

I eksemplene er det beregnet avstand mellom hver sone og alle holdeplasser innenfor en radius på 2,5 km. Avstanden er beregnet langs vegnettverket, ikke i luftlinje. Grensen på 2,5 km er valgt på grunn av en antagelse at holdeplasser som er lengre enn 2,5 km unna ikke er aktuelle valg på grunn av lang avstand og tidsbruk. Ved å anta ganghastighet på 5 km/t vil 2,5 km bety 30 minutter gangtid. I RTM benyttes 30 minutter som grense for hvor nære en holdeplass kan være til en sone. For hver holdeplass er det beregnet et attraktivitetsmål representert ved antall nye soner tilgjengelig fra hver holdeplass.

I det første eksempelet ser vi på sone med Hnr 26011312 i DOM Nidaros. Som vist i Figur 13a, er det de tre nærmeste holdeplassene som ville ha blitt valgt med nåværende metodikk (to av holdeplassene overlapper geografisk). Holdeplassene betjenes av noen få ruter. Vest for sonen er det en europaveg med holdeplasser som betjenes av svært mange ruter. En av disse ville vært et minst like naturlig valg for starten på en kollektivreise. Ved å velge ut holdeplasser med den foreslåtte metoden blir det flere holdeplasser å velge mellom, også langs den nevnte europavegen, som vist i Figur 13b.

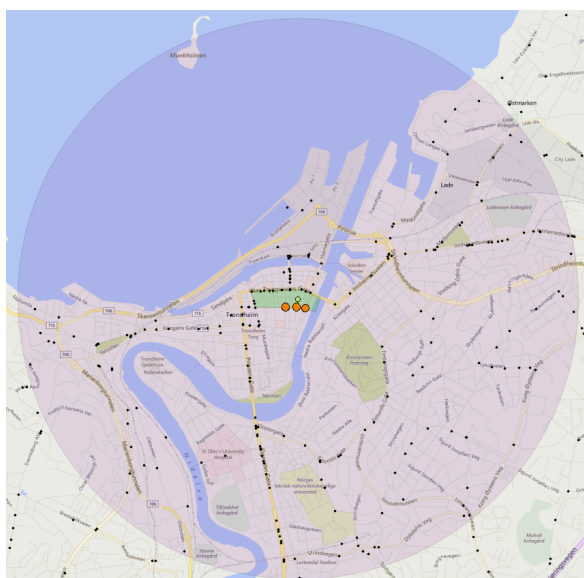


Figur 13: Eksempel 1. Til venstre: Kun de tre nærmeste holdeplassene blir utvalgt med nåværende metodikk. To av holdeplassene ligger så nærme hverandre at de fremstår som én på kartet. Til høyre: Utvalgte holdeplasser med den foreslåtte metoden. Størrelsen på sirklene illustrerer antall nye soner tilgjengelig fra holdeplassen. Utvalgte holdeplasser er markert med oransje punkt. Den store skraverte sirkelen har radius 2,5 km for å vise alle holdeplasser som blir vurdert for sonen. Holdeplassene er markert med et svart punkt. Den utvalgte grunnkretsen er skravert med grønt, og tilbringerlenkene er markert med lys grønn stiplet linje.

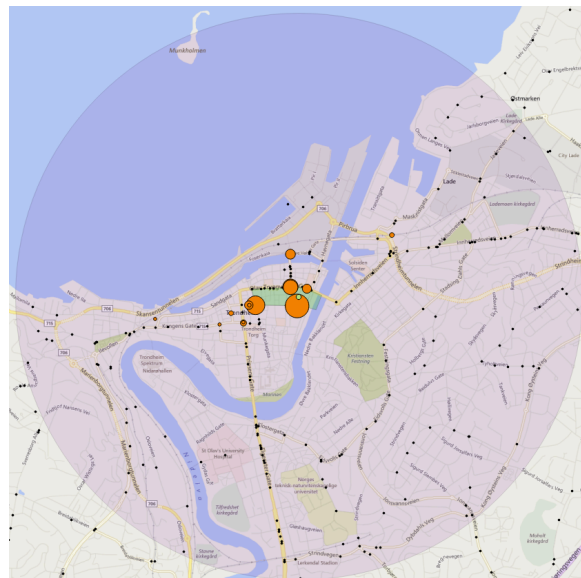
Figur 14, 15, og 16 viser tre eksempler fra andre soner rundt omkring i Trondheim. Et fellestrekk er at flere holdeplasser blir tilgjengelig for kollektivreiser fra sonene. Vi ser også at i flere tilfeller blir tilgjengeliggjort høyaktuelle holdeplasser.

Noen av holdeplassene er også relativt langt unna sonen. På grunn av den store avstanden blir de sannsynligvis ikke valgt, da andre holdeplasser eller reisemiddel vil være mer gunstig å bruke. Det gjør allikevel ikke noe å ta de med i utvalget. Noen vil også forsvinne fra utvalget dersom grensen på 2,5 km nedjusteres.



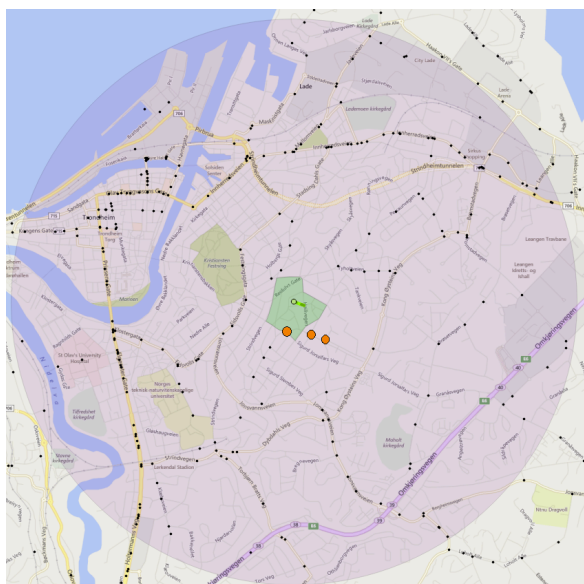


(a)

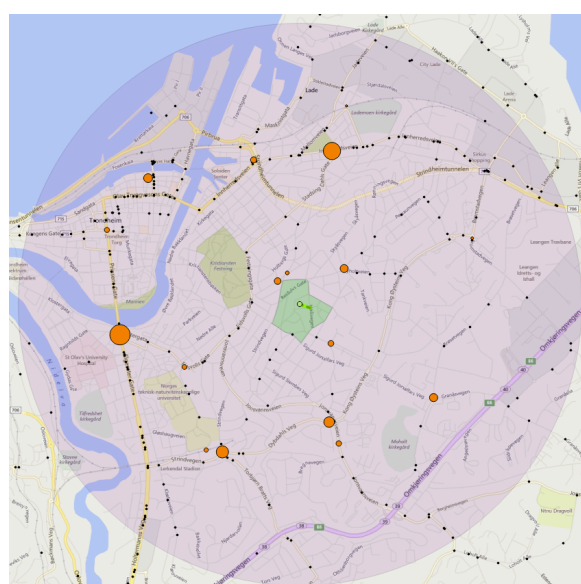


(b)

Figur 14: Eksempel 2. Til venstre: Kun de tre nærmeste holdeplassene blir utvalgt med nåværende metodikk. Til høyre: Utvalgte holdeplasser med den foreslåtte metoden. Størrelsen på sirkene illustrerer antall nye soner tilgjengelig fra holdeplassen.

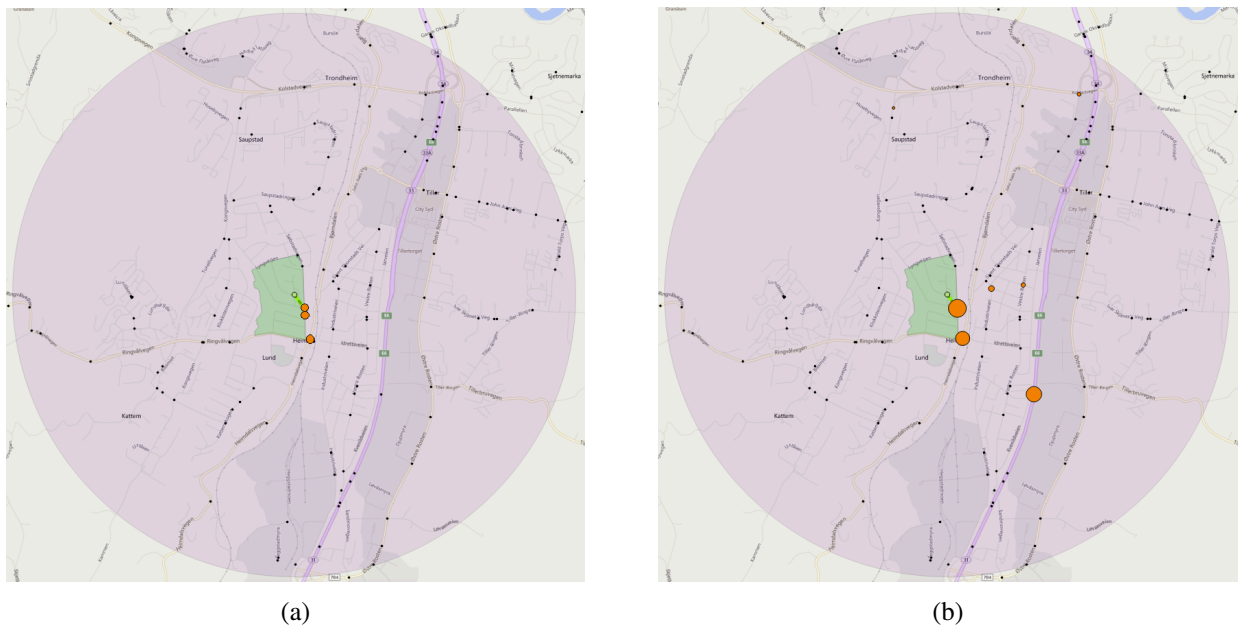


(a)



(b)

Figur 15: Eksempel 3. Til venstre: Kun de tre nærmeste holdeplassene blir utvalgt med nåværende metodikk. Til høyre: Utvalgte holdeplasser med den foreslåtte metoden. Størrelsen på sirkene illustrerer antall nye soner tilgjengelig fra holdeplassen.



Figur 16: Eksempel 4. Til venstre: Kun de tre nærmeste holdeplassene blir utvalgt med nåværende metodikk. Til høyre: Utvalgte holdeplasser med den foreslåtte metoden. Størrelsen på sirkelene illustrerer antall nye soner tilgjengelig fra holdeplassen.

## 5 Metoder for beregning av tilbringertid

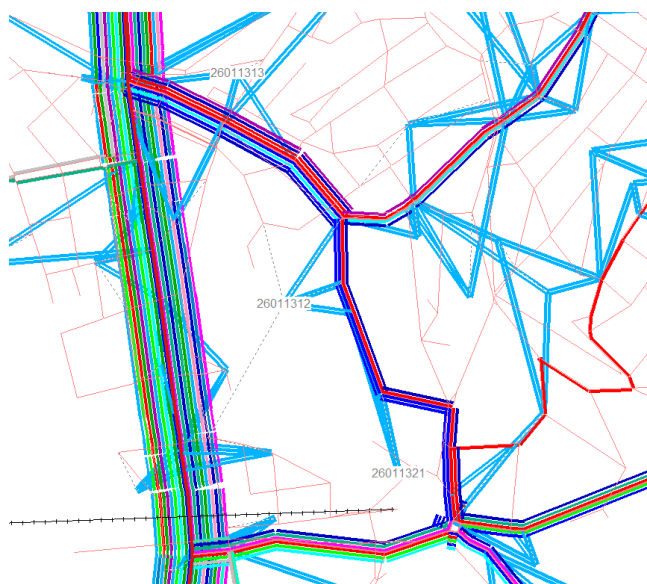
I transportmodeller basert på Cube Voyager, som RTM, beskrives tilgjengelighet til kollektivholdeplasser ved at modellsystemet oppretter tilbringerlenker fra soner til et antall holdeplasser og at disse tilbringerlenkene inneholder en reisetid. I terminologien i Cube Voyager kalles tilbringerlenker *Non-Transit legs* forkortet til *NTlegs*. Soner uten tilbringerlenker til holdeplasser som er betjent av kollektivruter har ikke noen tilknytning til kollektivsystemet.

### 5.1 Tilbringerlenker

I dagens versjon av RTM blir tilbringerlenker opprettet automatisk etter følgende regelverk:

- Lenker til de 3 nærmeste holdeplassene for hvert kollektivmode (buss, tog, trikk og båt)
- Tidsbruk på lenkene blir beregnet ut fra gangavstand med hastighet 5 km/t fra ATP-modellen (Statens forurensningstilsyn, 2001).
- Maksimal tidsbruk på 30 minutt.
- Hvis sonen befinner seg utenfor 30 minutt gangtid blir det opprettet en tilbringerlenke til nærmeste holdeplass utenfor.

Tilbringerlenker opprettes i RTM ved å bruke innebygget funksjonalitet i *Public Transport*-programmet i Cube Voyager. Denne funksjonaliteten utvider kollektivrutebeskrivelsene til også å inneholde tilbringerlenker til holdeplassene. Resultatet kan studeres grafisk som vist i figur 17. Tilbringerlenkene fremstår som rette lenker mellom soner og holdeplasser, mens tidsbruken som er koblet på hver lenke representerer tiden det tar å gå langs tilgjengelig nettverk fra sonen til holdeplassen.



Figur 17: Tilbringerlenker opprettet i Public Transport

Tilbringerlenkene mates inn i kollektivrutebeskrivelsene i *Public Transport*-programmet enten ved å definere hvordan disse skal opprettes, beskrevet i avsnitt 5.1.1, eller ved å gi inn en tekstfil som består av ferdig definerte tilbringerlenker, beskrevet i avsnitt 5.1.2.

### 5.1.1 Public Transport i Cube Voyager

Public Transport i Cube Voyager etablerer tilbringerlenker ved å benytte *Generate*-funksjonen. Denne inneholder en rekke variable for å kunne definere et regelverk for opprettelse av disse lenkene. Listing 1 viser kode som benyttes for å definere tilbringerlenker fra alle soner til alle holdeplassnoder i nettverket.

```

1 GENERATE FROMNODE=1-_Soner ,
2     TONODE=_FraNoder-_TilNoder ,
3     COST=(li.gangtid) ,
4     MAXCOST=15*30 ,
5     NTLEGMODE=100 ,
6     DIRECTION=3 ,
7     MAXNTLEGS=15*3 ,
8     INCLUDELINK=li.gangtid>0

```

Listing 1: Utdrag fra definisjon av tilbringerlenker i RTM

Tabell 2 forklarer de ulike variablene som definerer tilbringerlenker fra alle soner til alle mulige holdeplassnoder i modellområdet.

Tabell 2: Forklaring av variable for etablering av tilbringerlenker i Public Transport

Variabel	Beskrivelse	Verdiforklaring
FROMNODE	Franode eller frasoner. Enten en enkeltnode/holdeplass eller en liste definert med komma og bindestrek. Systemet vil kun benytte noder hvor det i kollektivrutebeskrivelsen er kodet holdeplassstopp.	<b>1-_soner</b> betyr fra sone 1 til antall soner i modellområdet.
TONODE	Tilnode eller tilsone. Enten enkeltnode eller liste.	<b>_FraNoder-_TilNoder</b> betyr fra første nodenummer til siste nodenummer i modellen.
COST	Kostnadsfunksjon og resultatverdi	<b>li.gangtid</b> er gangtid fra nettverket. Programmet minimerer gangtid for å finne nærmeste holdeplasser, og gangtid definerer avstandsverdien på tilbringerlenken.
MAXCOST	Maksimal kostnad per mode. Holdeplasser utenfor her blir ikke tatt med	<b>15*30</b> betyr mode 1 til 15 får maksverdi 30 minutt, siden kostnaden er definert i antall gangminutter.
NTLEGMODE	Modenummer for tilbringerlenken. Programteknisk.	<b>100</b>
DIRECTION	Retning for tilbringerlenken, 1=med, 2=mot, 3=begge	Eksemplet lager tilbringerlenke i begge retninger
MAXNTLEGS	Maks antall tilbringerlenker for hver mode	<b>15*3</b> betyr 3 for 15 mode.
INCLUDELINK	Logisk setning som beskriver hvilke lenker som skal være mulig å benytte for å konstruere tilbringerlenker	<b>li.gangtid&gt;0</b> angir kun bruk av lenker hvor det er mulig å gå

I tillegg til prosessen beskrevet i listing 1 blir det produsert lenker mellom holdeplasser slik at det blir mulig å bytte ved å gå fra en holdeplass til en annen.

Funksjonaliteten beskrevet over baseres på at modellutvikler skal kunne angi tilbringer fra et utvalg soner til et utvalg holdeplasser. I de eksempler som er produsert i dokumentasjonen av Cube Voyager (Citilabs, 2013) og i ulike kursmaterieell fra produsenten av programvaren foreslås det at modellutvikler skal vurdere mellom hvilke soner og holdeplasser det er hensiktsmessig med ulike typer tilbringerlenker. For eksempel kan koden i listing 1 modifiseres til å gjelde fra sone 1 til 10 og til holdeplassene 103201 til 103215. Dette gir store muligheter for svært detaljert koding av tilbringerlenker, men vil kreve mye manuell koding. I RTM er dette rasjonalisert ved at alle soner har samme premiss for å beregne tilbringerlenker.

I RTM er det ikke skilt på ulike kollektivmiddel ved beregning av tilbringerlenker. Alle antas å gå uansett om det skal benyttes lokalbuss eller regiontog. De færreste går til en jernbanestasjon, men vil benytte buss, taxi eller bli kjørt, mens de som tar bussen til jernbanestasjon blir ivarettatt av modellen.

### 5.1.2 Tilbringerlenker som inndata til Public Transport: NTlegs-fil

En funksjonalitet som ikke er lagt til rette for i RTM men som er tilgjengelig i Public Transport er å lese inn tilbringerlenkene direkte fra en tekstfil, også kalt NTlegs-fil (non-transit legs). Denne filen kan settes opp ved manuell koding eller benytte et programmeringsspråk til å lage en slik fil etter et eller annet regelverk. Denne type fil blir også produsert etter en automatisk opprettelse av tilbringerlenker i Cube/RTM. Listing 2 viser utdrag av NTlegs-filen som blir produsert i RTM.

```

1 NT LEG=1-100001 MODE=100 COST=25.31 DIST=2.11 ONEWAY=T XN=101909 104742 103857 101908
  101418 101907 101277 101179 101178 101177 101176 101175 101174 104761 102429 104762
  102233 101518 102380 101685 101853 101847 101846 101724 101845 101844 101704 101843
  102280 102197
2 NT LEG=1-101722 MODE=100 COST=16.93 DIST=1.41 ONEWAY=T XN=101909 104742 103857 101908
  101418 101907 101277 101179 101178 101177 101176 101175 101174 104761 102429 104762
  102233 101518 101517 101917 104767 104768 104769 101918 101919 104770 104771 103858
  102378 104772 102036
3 NT LEG=1-102418 MODE=100 COST=2.42 DIST=0.20 ONEWAY=T XN=101909
4 NT LEG=1-103857 MODE=100 COST=3.53 DIST=0.29 ONEWAY=T XN=101909 104742
5 NT LEG=1-104742 MODE=100 COST=2.86 DIST=0.24 ONEWAY=T XN=101909

```

Listing 2: NTleg-fil i Public Transport

Tabell 3 beskriver variabeldefinisjonene i NTlegs-fila. Verdiforklaringene peker på tilbringerlenke nr 4 i listing 02.

Tabell 3: Forklaring av variable NTlegs-fil i Public Transport

Variabel	Beskrivelse	Verdiforklaring
NT LEG	Franode og tilnode	<b>1-103857</b> betyr fra sone 1 til holdeplassnode 103857
MODE	Modenummer for tilbringerlenken. Samme mode som er definert i tabell 2.	100
COST	Total kostnad for tilbringerlenken. Vanligvis definert i antall minutt	2.53 minutter
DIST	Total distanse for tilbringerlenken i kilometer	0.29 km
ONEWAY	Indikator for om lenken en envegs eller ikke	True. Dette betyr at lenken er envegs. Lenger ned i filen er det definert lenke i motsatt retning.
XN	Liste over noder som må traverseres for å komme til holdeplassnoden. Benyttes hvis gangturene til holdeplasser skal komme med i nettutleggingen	<b>101909 104742</b> betyr at for å komme til holdeplassen fra sone 1 må man gå langs lenkene til 101909 og videre til 104742 før siste lenke til 103857.

En NTlegs-fil kan benyttes istedenfor automatisk opprettelse i Public Transport eller som et supplement for å bedre forklare tilbringer til holdeplasser hver de automatiske rutinene i Cube Voyager kommer til kort.

## 5.2 Metoder for å beregne tidsbruk på tilbringerlenkene

I metode for utvelgelse av holdeplass basert på attraktivitetsmål i avsnitt 4.3 benyttes avstand fra sonesentroide til holdeplass som en del av attraktivitetsmålet. I Malmin et al. (2016) og Malmin et al. (2017) har det blitt beskrevet metoder for å finne mer riktig avstand for korte gangturer; nettverksmetode og rastermetode. Begge metodene utfører en svært detaljert lokal analyse for å finne avstander og tidsbruk mellom to punkt. I vurdering av ulike holdeplasser etter attraktivitetsmål inngår avstander fra en sone til alle holdeplasser innenfor en gitt avstand, og det vil sannsynligvis være svært tidkrevende å kjøre en detaljert analyse fra hver sone til alle potensielle holdeplasser for å finne riktigere avstander. For utvelgelse av attraktive holdeplasser anbefaler vi å benytte avstander i det nettverket som er etablert. For å få en riktigere avstand i det etablerte nettverket kan avstander og tidsbruk på sonesentroider regner med mer detaljerte metoder, og det bør også vurderes å legge inn egne sonetilknytninger forbeholdt tilbringer til kollektiv som beskrevet i avsnitt 3.2. Etter at analysen med å finne attraktive holdeplasser er gjennomført kan det benyttes mer detaljerte metoder for å beregne riktigere avstander og tidsbruk til holdeplasser.

Ved bruk av automatisk metode som i RTM for å beregne tilbringertid til holdeplasser, benyttes det nettverket som er definert i modellområdet. For tilgjengelighet fra grunnkretser til holdeplasser vil tidsbruk beregnes fra selve sonen, langs sonetilknytningen og ut på nettverket til man kommer fram til holdeplassen. NTlegs-filen beskrevet i listing 2 viser at det fra flere soner må traverseres mange lenker i nettverket for å komme fra sonen til holdeplassen. Tidsbruken mellom sone og holdeplass er avhengig av både egenskaper i nettverket og avstanden på sonetilknytningen. Denne skal ideelt sett allerede være satt slik at avstanden representerer et riktig gjennomsnitt over den avstanden alle beboerne i grunnkretsen må forflytte seg for å komme ut på nettverket. Det har ikke vært gjort noe omfattende arbeid for å beregne den riktige avstanden på sonetilknytningene de siste 15 årene, så vi kan anta at her er det stor usikkerhet.

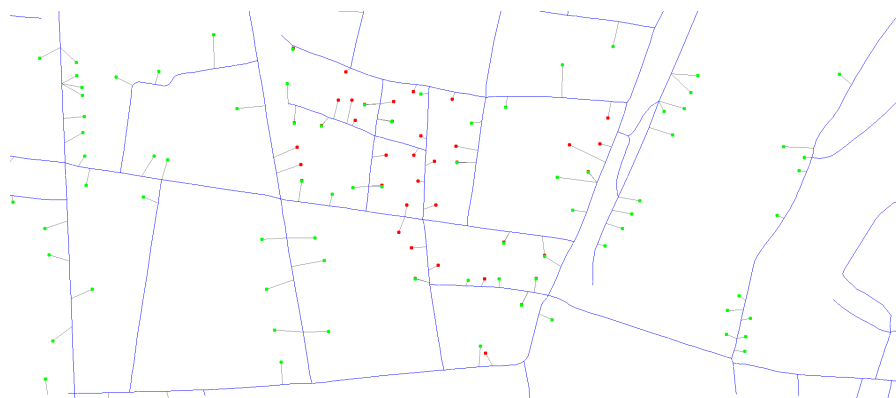
Selv om det blir beregnet en riktigere avstand på sonetilknytningen vil denne fortsatt ikke beskrive godt nok gangmulighetene til en holdeplass på grunn av alle mulighetene som finnes for å gå. De neste to avsnittene beskriver to ulike tilnærmingen til å beskrive gangmulighetene fra boliger i en grunnkrets til ulike holdeplasser. Dette er metoder som kan benyttes for å sette opp NTlegs-filer, men som ikke kan benyttes av *Generate*-kommandoen i Public Transport beskrevet i avsnitt 5.1.1.

### 5.2.1 Nettverksmetode

I Malmin et al. (2016, s. 16) beskrives metode for å beregne avstander fra hvert enkelt boligadressepunkt til interessepunkter (for eksempel holdeplasser, butikker, skoler osv). Metoden tar utgangspunkt i et begrenset område i modellområdet og splitter opp lenkene i nettverket til nye lenker mellom hvert knekkpunkt i lenken. Dette øker antall lenker og noder formidabelt, men det gir muligheten til å bedre koble inn adressepunktene som vist i figur 18. Hvert boligpunkt blir da en sone slik at avstander fra alle boliger kan beregnes i en nettverksmodell. Holdeplassene det skal beregnes avstander til må også legges inn som egne soner.

Avstandene og tidsbruken som beregnes langs dette nettverket er avhengig av at alle gangmulighetene er beskrevet. I utgangspunktet er nettverkene i RTM basert på Norsk Vegdatabank (NVDB) og inneholder i liten grad nettverk som beskriver muligheter for gående (Malmin et al., 2016, s. 3). Men selv med disse begrensningene er det rimelig å tro at denne metoden for beregne avstander til holdeplasser gir mer nøyaktige resultater enn å benytte de eksisterende sonetilknytningene.

Ut fra en nettverksanalyse av korteste rute kan det regnes gjennomsnittlig gangavstand og -tid fra boligadressepunkt i hver grunnkrets til de ulike holdeplassene.



Figur 18: Boligadressepunkt koblet til et detaljert nettverk

### 5.2.2 Rastermetode

Malmin et al. (2016) og Malmin et al. (2017) beskriver metode for å beregne gangavstander i et kostnadsraster. Et raster er en matrise med celler, hvor hver celle har en verdi. Fordelen med å benytte rastermetode i forhold til nettverksmetode er at rastermetoden bedre beskriver gangbarheten i et område. Gangbarhet beregnes ut fra høydekurver som gir basishastighet som reduseres ytterligere av ulike arealbruk. Gangveier gir ingen reduksjon, fotgjengerfelt, småveier og ulike markslag gir noe reduksjon, mens bygninger og hovedveger ikke er mulig å gå gjennom.

Metoden gir raskeste gangrute til ett eller flere predefinerte destinasjonspunkt fra alle mulig valgte startpunkt. I dette tilfellet skal vi finne gangtider til en bestemt holdeplass og ikke nærmeste holdeplass, og det blir dermed ett destinasjonspunkt for hver rasteranalyse.

En rasteranalyse består av følgende trinn:

1. Lage helningskart fra høydekurver.
2. Legge inn ulike arealbruk som definerer tilleggstid for gående.
3. Beregne kostnadsraster og retningsraster til destinasjonspunkt.
4. Beregne avstandsraster fra retningsrasteret.
5. Hente ut tidsbruk og avstander fra kostnads- og avstandsrasteret for startpunkt.

Punkt 1 og 2 i listen er en engangsjobb for hvert modellområde, mens punkt 3 til 5 må gjentas for hver nye holdeplass det skal beregnes tilbringerlenker til.

Figur 19 viser gangruter fra boligadressepunkt på Møhlenpris til en bussholdeplass i Thormøhlensgate i Bergen.

Boligene i kartutsnittet ligger i ulike grunnkretser. Gjennomsnittlig avstand fra alle boliger i hver grunnkrets til den utvalgte bussholdeplassen er vist i tabell 4. Disse avstandene og tidsbruken fra grunnkretsene, etter videreutvikling av metoden, kan benyttes til å etablere tilbringerlenker i transportmodellen.

Tabell 4: Gjennomsnittlig avstand fra boliger til holdeplass i hver grunnkrets

Grunnkrets	Mean	Median	N
12010134	270	267	45
12010141	393	393	40
12010133	122	129	30
12010142	261	261	55



Figur 19: Gangruter til bussholdeplass på Thormøhlensgate i Bergen

### 5.2.3 Vurdering av metoder

Nettverksmetoden har mulighet til å beregne avstander til mange holdeplasser samtidig men gir et mindre nøyaktig resultat på grunn av manglende beskrivelse av gåbarhet i NVDB. Rastermetoden kan bare beregne tider til én holdeplass om gangen, men beskriver avstandene bedre. Imidlertid krever metoden grunnlagsdata fra felles kartdatabase (FKB) som ikke er åpent tilgjengelig. Rastermetode krever også, slik den fremstår i dag, mye beregningstid per målpunkt.

Ingen av metodene framstår i dag med en ferdig applikasjon. Det er utviklet en applikasjon for å kjøre rastermetoden og beregne avstander mellom start- og destinasjonspunkt, men dette er bare en del av prosessen med å finne avstander til holdeplasser. Nettverksmetoden er kun beskrevet prinsipielt og ikke utviklet som generell applikasjon. Både rastermetode og nettverks-metode har potensial for effektivisering.

NTlegs-filer kan inneholde en beskrivelse av ruten som traverseres for å komme fra en sone til en holdeplass. Dette benyttes av Public Transport for å legge tilbringerturer på nettverket slik at disse kan rapporteres til ulike resultatuttak og også EFFEKT. Ved å opprette NTlegs manuelt med disse to metodene vil vi ikke lenger ha noen tilknytning til nettverket i transportmodellen. For å løse dette kan nettverket i transportmodellen utvides med sonetilknytninger direkte fra sonen til de utvalgte holdeplassene, og kun gi tilgang til gangturer til holdeplass på disse lenkene. Da vil vi fortsatt kunne få rapportert turene til andre analyser.



## 6 Muligheter for implementering i RTM

### 6.1 Vurderinger av tilgjengelighetsbeskrivelser til holdeplasser

Automatisk metode for opprettelse av tilbringerlenker, slik RTM fungerer i dag, gir muligheter for å etablere tilbringerlenker for hele modellområdet uten innvirkning fra brukeren. I tillegg gir funksjonaliteten mange muligheter for lokale tilpasninger i form av sonetilknøyninger forbeholdt kollektivtrafikk. Hvis disse mulighetene for lokale tilpasninger ikke er tilstrekkelige kan tilbringerlenker legges inn manuelt med NTlegs-fil. Dette er det ennå ikke lagt tilrette for i RTM, mest på grunn av utfordringer med å gi denne funksjonaliteten er intuitiv brukerflate.

Transportmodellens evne til å gjenskape tilbringersituasjonen til kollektivholdeplasser avhenger av hvor godt gangmulighetene til holdeplasser i området er modellert og hvor godt modellen evner å finne riktige holdeplasser. I RTM benyttes de nærmeste holdeplassene for hvert kollektivmiddel, noe som fungerer greit de aller fleste stedene hvor det ikke er kompliserte forhold rundt tilgjengeligheten til kollektivtrafikk. Som beskrevet i avsnitt 4 har vi foreslått en metode som bedre finner hvilke holdeplasser som skal benyttes.

### 6.2 Statisk eller dynamisk beregning

Både metode for å finne attraktive holdeplasser beskrevet i denne rapporten og ulike metoder for å finne gjennomsnittlige reisekostnader til de attraktive holdeplassene er uten omfattende effektivisering krevende beregninger. En god del av de reisekostnadene som beregnes vil ikke kunne forandre seg så mye på grunn av ulike tiltak i transportmodellen. Dette gjelder spesielt beregning av reiseavstand og -tid fra boliger i sonene til holdeplasser siden disse beregningene er avhengige av at tiltak kodes på et svært lokalt og detaljert nivå. Hvis tiltaket som skal beregnes er nye snarveger for gående som vil kunne påvirke gangtidene til holdeplasser må denne analysen kjøres spesielt for tiltaket. Hvis beregning av tilbringertidene fra soner til holdeplasser holdes utenfor RTM blir dette å anse som en statisk beregning. Resultatene blir ikke påvirket av tiltak så lenge beregningen ikke kjøres om igjen med dette tiltaket. Det vil oppstå tvilstilfeller om analysen må kjøres for et tiltak avhengig av typen tiltak. Dette er den samme problemstillingen vi opplever med bruk av turmatriser fra Nasjonal Transportmodell 6 (Rekdal et al., 2014) hvor det i hver analyse må vurderes om lange reiser blir påvirket av et lokalt tiltak.

Metoden som finner attraktive holdeplasser fra hver sone påvirkes ikke bare av lokal arealbruk men også av vegenettet forøvrig og spesielt kollektivruter i modellen. Hvis tiltaket inneholder endringer i kollektivsystemet vil dette påvirke hva som er attraktive holdeplasser. Som beskrevet i forrige avsnitt kan denne analysen kjøres eksternt fra RTM, men det krever at modellbrukeren gjennomfører dette i de riktige tilfellene. På grunn av denne analysens dynamiske karakter bør denne kjøres som en del av en RTM, og være en erstatning fra dagens oppsett med å beregne gangtider til de tre nærmeste holdeplassene.

### 6.3 Identifisering av attraktive holdeplasser i RTM

Analysene som er kjørt i avsnitt 4.3 ble utviklet som et pilot-program i Python og PostgreSQL. Dette ble satt opp for å løse oppgaven og inneholder lite effektiv kode. Beregningstiden er på ca 20 minutt for delområdemodell Nidaros som inneholder omtrent 1000 soner, noe som gir omtrentlig 1,2 sekund per sone. For hele region sør på i overkant av 7000 soner vil beregningstiden med dette programmet bli ca 2,5 timer. Dette er ikke akseptabelt i en modellkjøring. Det er et stort effektiviseringspotensial i analyseprogrammet, både når det gjelder mer effektiv kode og bedre kriterier for utvalg slik at færre holdeplasser analyseres. Det går også an å legge inn færre mulige holdeplasser fra soner i bufferområdet for ytterligere effektivisering.

Resultatet fra analyseprogrammet er en liste over holdeplassnoder fra hver sone. Dette mates inn i kollektivrutevalget på to måter:

1. Tilbringerlenkene legges inn som GENERATE-kommandoer som vist i listing 1 i avsnitt 5.1.1. Dette vil generere en hel del kode og det ikke testet om Cube Voyager takler denne mengden kode. Fordelen med denne metoden er at systemet oppretter tilbringerlenke med henvisning til hvilke noder som må traverseres for å komme til denne holdeplassen. Ulempen i tillegg til mengden kode er at tidsbruken (COST) ikke kan settes spesifikt men må beregnes fra nettverket. Hvis det benyttes andre metoder for å beregne tidsbruk, for eksempel rastermetoden, kan ikke GENERATE-kommandoen benyttes. Et eksempel på kode for å legge inn tilbringerlenker fra sone 311 til tre utvalgte noder er vist i listing 3.
2. Tilbringerlenkene legges inn som non-transit-links som vist i listing 2 i avsnitt 5.1.2. Fordelen med denne metoden er at det blir mindre kode og mer direkte forteller systemet hva som skal gjøres. Ulempen er at listen over noder som må traverseres må genereres av tilleggsprogrammet. Uten denne listen blir det ikke mulig å vise i nettverket hvor tilbringertrafikken foregår. Eksempel på bruk av NTLEG-fil er vist i listing 4.

Vi anbefaler metode nr 2 med bruk av NTLEG-fil for å ha maksimal kontroll på beregningene, og for å opprettholde muligheten til å benytte mer detaljerte metoder for å beregne gangtid.

```
1 GENERATE FROMNODE=311 ,
2 TONODE=103696,103672,103689 ,
3 COST=(li . gangtid) ,
4 MAXCOST=15*30 ,
5 NTLEGMODE=100 ,
6 DIRECTION=3 ,
7 MAXNTLEGS=15*1 ,
8 INCLUDELINK=li . gangtid >0
```

Listing 3: Forslag til å legge inn tilbringerlenker til spesifikke holdeplasser med bruk av GENERATE-kommandoen

```
1 NT LEG=311-103696 MODE=100 COST=3.31 DIST=0.28 ONEWAY=F XN=103694 103695
2 NT LEG=311-103672 MODE=100 COST=5.28 DIST=0.44 ONEWAY=F XN=103694 103671
3 NT LEG=311-103689 MODE=100 COST=6.43 DIST=0.54 ONEWAY=F XN=103694 103688
```

Listing 4: Forslag til å legge inn tilbringerlenker til spesifikke holdeplasser med bruk av NTLEGS-fil

## 6.4 Mer detaljert beregning av gangtid til holdeplass

Etter at de attraktive holdeplassene er funnet fra hver sone og beskrevet i en NTLEGS-fil kan som diskutert i avsnitt 5.2.3 gangtider beregnes mer nøyaktig med enten nettverk- eller rastermetode for å finne gjennomsnittlig avstand fra alle boliger i en sone til de valgte holdeplassene. Nettverksmetoden er raskere og har mer tilgjengelige data, mens rastermetoden er tyngre å sette opp men vil regne mer riktige verdier. Uavhengig hvilken metode som benyttes vil dette ikke kunne være rutiner som kjører som en integrert del av RTM, men må kjøres som en separat jobb i forkant av analysene. Det går også an å avgrense metoden til deler av området for raskere eksekvering. Programmet som utfører den mer detaljerte beregningen leser gjennom NTLEG-filene for alle scenarier (for å være sikker på at alle gangruter er med) og finner alle unike reiserelasjoner fra soner til holdeplasser. Videre kjøres analysen for alle aktuelle grunnkretser og en database med reisekostnader opprettes. I rutinene som finner tilbringerlenkene vil da de mer detaljerte resultatene fra sideapplikasjonen i databasen benyttes som kostnad og distanse. Ved å benytte en metode som dette opprettholdes det dynamiske valget av holdeplasser samtidig som en mer statisk beregning av tilbringertider kan kjøres ved siden av i en svært omfattende beregning.

## 6.5 Behov for rammetallskalibrering

Hvis modellering av tilbringertid fra en grunnkrets til omliggende holdeplasser endres, og dette medfører at tilbringertiden endres i den ene eller andre retningen vil dette få konsekvenser for reisemiddelfordelingen i et

modellområde. I utgangspunktet skal et modellområde være rammetallskalibrert slik at reisemiddelfordelingen er så riktig som mulig i forhold til reisevaneundersøkelsene. Ved å endre på forutsetningene til modellberegningene må modellområdene rammetallskalibreres på nytt slik at reisemiddelfordelingen i hele modellområdet ikke endres.

## Referanser

Citilabs (2013): *Cube Voyager Reference Guide. Version 6.1.*

Malmin, Olav Kåre, Petter Arnesen & Yngve Frøyen (2016): *Mer presis modellering av gåing og grunnkretsinterne reiser i RTM.* SINTEF-rapport A27631, SINTEF Teknologi og samfunn, Trondheim.

Malmin, Olav Kåre, Petter Arnesen & Yngve Frøyen (2017): *Utprøving av rasterbasert tilgjengelighetsmetode for gående i RTM.* Prosjektnotat N-14/16, SINTEF Teknologi og samfunn, Trondheim.

Rekdal, Jens (2009): *Om skolereiser i RTM23 og Fredrik.* Notat.

Rekdal, Jens, Tom N. Hamre, Stefan Flügel, Christian Steinsland, Anne Madslie, Annelene Hoff, Wei Zhang & Odd I Larsen (2014): *NTM6 – Transportmodeller for reiser lengre enn 70 km.* Rapport 1414, Møreforskning Molde AS, Molde.

Statens forurensningstilsyn (2001): *Samordning av arealbruk og transport - verktøy for planlegging. Utprøving av ATP-modellen i fire fylker – erfaringer og eksempler.* Rapport TA-1834/2001, Oslo.

Tørset, Trude, Olav Kåre Malmin, Børge Bang & Dag Bertelsen (2013): *Cube-regional persontransportmodell versjon 3.* SINTEF-rapport A24717, SINTEF Teknologi og samfunn, Trondheim.



Teknologi for et bedre samfunn  
[www.sintef.no](http://www.sintef.no)