

Inès A. P. Blomvågnes

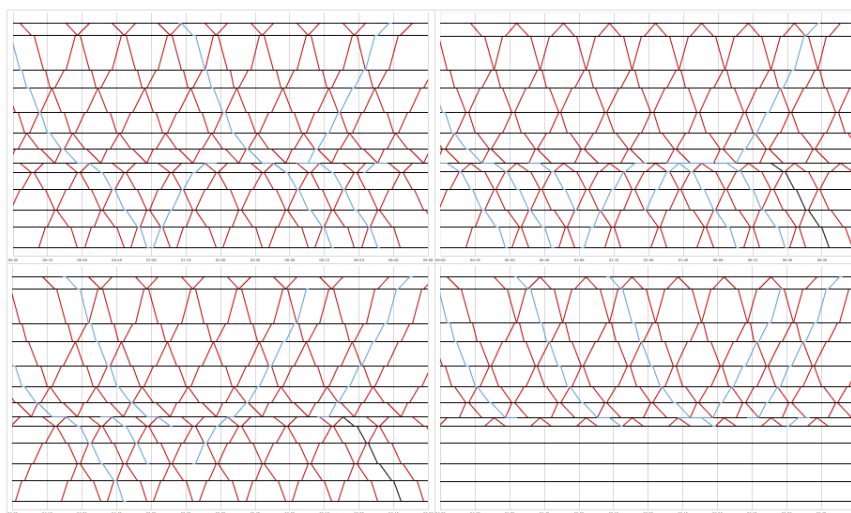
Bytog i Trondheim

Muligheter for å benytte eksisterende jernbanetrasé som utgangspunkt for et bytogtilbud i og rundt Trondheim

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Yngve K. Frøyen

Juni 2020



Inès A. P. Blomvågnes

Bytog i Trondheim

Muligheter for å benytte eksisterende jernbanetrasé som utgangspunkt for et bytogtilbud i og rundt Trondheim

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Yngve K. Frøyen
Juni 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Trondheims befolkning øker for hvert år, og frem mot 2050 er det forventet at befolkningsveksten vil føre til en betydelig økning i persontransport. Målet er at denne veksten skal imøtekommes med miljøvennlige transportformer, i form av gange, sykkel og kollektivtransport. Høsten 2019 startet Metrobussen opp i Trondheim og fornyet dermed det eksisterende busstilbudet, men ingen større lokale eller regionale tiltak har de senere årene blitt gjennomført i retning jernbanen. Ettersom det nylig har blitt besluttet i Nasjonal Transportplan å investere i jernbaneinfrastrukturen på Trønderbanen, vil det være naturlig å se på mulighetene for å oppgradere rutetilbudet også.

I denne masteroppgaven er følgende problemstilling lagt til grunn:

Hvordan er mulighetene for å benytte eksisterende jernbanetrasé som utgangspunkt for et nytt rutetilbud for bytog i og rundt Trondheim?

Dette har blitt undersøkt gjennom fire forskningsspørsmål som tar for seg hvert sitt tema; eksisterende plangrunnlag knyttet til jernbanen og samordnet areal- og transportplanlegging i Trondheim, tilgjengeligheten til holdeplassene langs jernbanen, forslag til grafisk ruteplan for bytog og etterspørselsendringer ved et bytogtilbud.

En litteraturgjennomgang har blitt gjennomført for eksisterende plangrunnlag og fremtidsutsikter knyttet til samordnet areal- og transportplanlegging. Der fremkommer det at oppgraderinger av jernbanen i form av elektrifisering og nytt signalsystem vil kunne gi jernbanetilbudet et etterlengtet løft. Tidligere baneutredninger slår dessuten fast at en egen bybaneløsning ikke er å anbefale, mens en storoppustning av rutetilbudet i form av bytog derimot vil ha mer for seg. For at dette skal bli gjennomførbart vil utvidelse til dobbeltspor være et viktig tiltak som setter rammer for hvordan bytogtilbudet kan se ut.

Passasjergrunnlaget har blitt undersøkt gjennom flere nettverksanalyser, hvor det er beregnet antall bosatte og sysselsatte i gangavstand til jernbanen. Disse resultatene viser et relativt høyt potensielt passasjergrunnlag, spesielt dersom befolkningsveksten mot 2050 følger Byutredningenes jernbanerettede arealutvikling rundt holdeplassene. Likevel viser det seg at det er flere holdeplasser som ikke har en optimal plassering med tanke på befolkningsmønsteret. Videre har fire ulike alternativer til grafiske ruteplaner for bytogene blitt modellert opp. De illustrerer at det er gjennomførbart med en frekvens på opp mot seks tog i timen mellom Stjørdal og Melhus. Dette forutsetter derimot dobbeltspor på hele strekningen, samt stasjonstiltak ved flere holdeplasser. Til sist er tilbudsendringen for hvert ruteplanalternativ blitt analysert ved hjelp av ulike etterspørselsberegninger. Disse viser blant annet at økt avgangsfrekvens fører til en forventet økning i etterspørsel. Økt frekvens vil derimot kunne medføre litt lengre reisetider, ettersom ruteplanene blir mer komplekse. Dette vil igjen kunne føre til en reduksjon i etterspørselen.

Det ser altså ut til at mulighetene for å benytte dagens jernbanetrasé som utgangspunkt for bytog er gode, men krever en rekke infrastruktur-, ruteplan- og byutviklingstiltak for å kunne bli realiserbare.

Abstract

Trondheim's population is increasing year by year, and by 2050 it is expected that the population growth will result in a significant increase in passenger transport. The goal is to meet this growth with environmentally friendly modes of transport, by means of walking, cycling and public transit. During the Autumn of 2019, the «Metrobuss» was introduced in Trondheim and thus the existing bus service was renewed, but no major local or regional measures have been done in recent years regarding the railway service. Since it has recently been established in the National Transport Plan to invest in railway infrastructure on «Trønderbanen», it is natural to investigate the possibilities of upgrading the train service as well.

The following problem statement has been the focus of this master's thesis:

How are the opportunities for using the existing railway as a starting point for a new train service in the form of «city-trains» in and around Trondheim?

This has been investigated through four research questions that address the following issues; existing plans for the railway and integrated land use and transportation planning in Trondheim, accessibility of train stops, proposals for city-train schedules and changes in the demand after implementing a city-train service.

A literature review has been conducted where the existing plans and prospects related to land use and transportation planning have been investigated. This reveals that upgrades to the railway by means of electrification and a new signalling system could give the railway service a long-awaited boost. Previous studies about rail-based systems also state that a separate light rail solution is not recommended, whereas a major upgrade of the train services in the form of city-trains seems to have more potential. For this to be feasible, the expansion to double tracks will be an important factor that defines the framework for what the city-train service can look like.

The market basis has been examined through several network analyses, where the number of residents and employees within walking distance to the railway has been estimated. These results show a relatively high market basis, especially if the population growth towards 2050 follows the «Byutredning»'s rail-directed land use plans around train stops. However, it turns out that there are several stops that do not have an optimal location in terms of the population distribution. Furthermore, four different alternatives to city-train schedules have been modelled and show that it is feasible with a train frequency of up to six trains per hour between Stjørdal and Melhus. However, this requires double tracks on the entire route, as well as station upgrades at several train stops. Finally, the change in train service for each train schedule alternative has been analysed through different market demand calculations. These calculations show, among other things, that increased train frequency promotes an increase in demand. However, increased frequency could lead to slightly longer travel times, as the schedules become more complex. This, in turn, could lead to a reduction in demand.

Thus, it seems that the possibilities for using the existing railway as a starting point for city-trains are good, but it will require several infrastructural, scheduling and urban development measures to be deemed feasible.

Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på det 5-årige sivilingeniørstudiet i Bygg- og miljøteknikk ved NTNU Gløshaugen, med en hovedprofil innen jernbane. Allerede halvveis i byggstudiet fattet jeg en stor interesse for kart, GIS og planlegging gjennom ulike valgemenner i studieløpet. Jeg valgte derfor å ta kontakt med fagmiljøet ved Institutt for arkitektur og planlegging for å høre om det ville være mulig med et samarbeid om masteroppgaven.

Temaet for oppgaven knytter seg opp mot planleggerperspektivet i jernbane, hvor mulighetene for et bytogtilbud i Trondheim står i sentrum. Det er blant annet undersøkt hva som vil være passasjergrunlaget for et slik tilbud, hvordan selve bytogtilbudet vil kunne se ut i et ruteoppsett og hvordan dette nye bytogtilbudet vil kunne endre Trondheim-trafikantenes kollektivandel på tog. Fremtidens befolkningsvekst vil føre til en økning i persontransportvekst, og da er det viktig å fremme bærekraftige løsninger for fremtidig byutvikling.

En spesiell takk til min veileder Yngve K. Frøyen som ordnet det slik at jeg fikk skrive oppgaven på deres institutt, og ikke minst for kontinuerlig god oppfølging og veiledning. Gjennom mange lange og gode faglige diskusjoner har jeg lært mye som jeg håper å få formidlet gjennom denne oppgaven. Til tross for unntakstilstander da COVID-19 brøt ut i Norge og NTNU stengte, har han stilt opp med gode råd og motivasjon gjennom hele semesteret som har ført til at arbeidet med oppgaven ikke bare har vært utfordrende, men også ufattelig spennende, lærerikt og inspirerende.

Takk til Ida Bøe, fagansvarlig for trafikkapasitet hos Bane NOR. Hun stilte opp på kort varsel for å hjelpe til med det jernbanetekniske aspektet av oppgaven, hvorpå hennes kunnskaper og erfaringsbaserte kommentarer har vært verdifulle i arbeidet med ruteplaner. Det har brakt en større faglig tyngde og et mer virkelighetsforankret perspektiv på resultatene, og jeg har fått en større forståelse for kompleksiteten ved jernbanekapasitet takket være dette.

Takk til dere andre som har hjulpet meg på veien, enten dere har tatt dere tid til et møte, en telefonsamtale eller en e-post. Dere har alle bidratt til å fasilitere hvert steg mot en ferdig oppgave.

Til sist, takk til venner og familie. Dere har stilt opp med korrekturlesning, gode råd, moralsk støtte og ikke minst uvurderlige minner sammen her i Trondhjem by gjennom hele studietiden.

Inès A.P. Blomvågnes

.....

Inès A. P. Blomvågnes

Trondheim, 24. juni 2020

Innholdsfortegnelse

Figurer	x
Tabeller	xi
Formler	xi
Forkortelser/symboler	xii
1 Innledning	13
1.1 Overgang fra prosjektoppgaven	13
1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål	13
1.3 Bakgrunn og motivasjon	14
1.4 Oppgavens struktur og forutsetninger	14
2 Teoretisk grunnlag og dagens forhold	15
2.1 Eksisterende planer og utredninger	15
2.2 Tilgjengelighet langs jernbanens trasé	23
2.3 Valget mellom buss eller bane	26
2.4 Skinnfaktor, etterspørsel og elastisitet i transportmarkedet.....	30
3 Metode	37
3.1 Litteraturstudie	37
3.2 Nettverksanalyser	38
3.3 Beregning av grafiske ruteplaner.....	42
3.4 Elastisitetsberegninger	46
4 Resultater	49
4.1 Demografi og geografi i og rundt Trondheim	49
4.2 Passasjergrunnlag langs jernbanen.....	53
4.3 Forslag til nye grafiske ruteplaner	58
4.4 Endring i tilbud og etterspørsel etter innføring av bytogtilbud	63
5 Avslutning og refleksjon.....	69
6 Veien videre	73
Referanser.....	75
Vedlegg	79

Figurer

Figur 2-1: Kart over Trondheimsområdet, Toporaster N50 som bakgrunn	15
Figur 2-2: «Kjøretøykm med bil innenfor Trondheimsregionen» (Statens Vegvesen, 2017, s. 80).....	17
Figur 2-3: «Tettsteder i Trondheimsregionen etter pendlingsbalanse. Datagrunnlag: SSB. Selvstendig tettsted: Mindre enn 50 % av de yrkesaktive pendler ut av tettstedet. Trondheimssatellitt: Minst 50 % pendler ut, minst 25 % av disse jobber i Trondheim tettsted. Annen satellitt: Minst 50 % pendler ut, minst 25 % av disse jobber i samme regionsenter (utenom Trondheim tettsted). Annet utpendlingssted: Minst 50 % pendler ut, ingen pendlingsmål når opp i 25 %.» (Engebretsen og Christiansen, 2011, s. 26). Denne oppgavens studieområde ligger innenfor gul stiplede firkant.....	21
Figur 2-4: «Andel reiser som bilfører (andel av alle reiser) og kollektivreisenes andel av motoriserte reiser etter reisemål i Trondheim tettsted - ikke medregnet reiser som ender i eget hjem. Omfatter reiser under 150 km foretatt av personer over 17 år. Prosent.» (Engebretsen og Christiansen, 2011, s. 47)	22
Figur 2-5: Andel tilbringertrafikk til lufthavn, sammenstilling av rapporter	23
Figur 2-6: «The Hiking Function» (Tobler, 1993). Ganghastighetsfunksjonen.	25
Figur 2-7: «Cost-performance relationship for transit modes.» (Hodgson og Potter, 2010, s. 369).....	26
Figur 2-8: «Forholdet mellom GT_{koll} og GT_{bil} på reiser til Trondheim sentrum.» (Lunke og Fearnley, 2019, s. 43).....	36
Figur 3-1: Prinsipp for Service Area-analyser i ArcMap for Heimdal stasjon	40
Figur 3-2: Utsnitt av grafisk ruteplan for rutetermin 2020, fra klokken 6 til 12 i «Blad nr. 11 Trondheim S - Dombås» (Bane NOR, 2019b).....	44
Figur 3-3: Utsnitt av grafisk ruteplan for rutetermin 2020, fra klokken 6 til 12 i «BLAD NR. 14, GRONG - TRONDHEIM S» (Bane NOR, 2019)	44
Figur 4-1: Terreng og koter i Trondheimsområdet	50
Figur 4-2: Risiko for kvikkleire i Trondheimsområdet.....	50
Figur 4-3: Befolkning i dag (per 2017), mellom Ranheim og Selsbakk (Vedlegg 2b).....	51
Figur 4-4: Sysselsatte i dag (per 2018), mellom Ranheim og Selsbakk (Vedlegg 4b).....	52
Figur 4-5: Bedriftstetthet i dag (per 2018), mellom Ranheim og Selsbakk (Vedlegg 5b)	52
Figur 4-6: Sysselsatte i dag (per 2018) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Ranheim og Selsbakk (Vedlegg 9b)	57
Figur 4-7: Utsnitt av aksene i de grafiske ruteplanene, x-akse som tidspunkt og y-akse som km-avstand til Oslo S.....	59
Figur 4-8: Dagens Rutetermin 20 til venstre, minimumsalternativet til høyre	60
Figur 4-9: Maksalternativet, Spor 1 ovenfor Spor 2.....	62
Figur 4-10: Middelalternativet, Spor 1 ovenfor Spor 2	63
Figur 4-11: Middelalternativet D1, Spor 1 ovenfor Spor 2	63
Figur 4-12: Reisetidskomponenter for arbeidsreise med tog for tre eksempelreiser	64
Figur 4-13: Totale reisetidsdifferanser mellom tog og bil til jobb for tre eksempelreiser	65

Tabeller

Tabell 2-1: Oversikt over Miljøpakkens 9 målsettinger (Miljøpakken, 2020)	16
Tabell 2-2: «Sammensetning av virkemiddelpakker» (Statens Vegvesen, 2017, s. 103)	17
Tabell 2-3: Sammenstilling av eksisterende planer, utredninger og fremtidsutsikter.....	19
Tabell 2-4: Parameterverdier for sykkellenker i ATP-modellen	25
Tabell 2-5: Klassifiseringsprosess for bytog i Trondheim	27
Tabell 2-6: Tekniske spesifikasjoner for tog på Trønderbanen	29
Tabell 2-7: «Personer som vil velge buss i konkurranse med andre kollektive transportmidler, etter transportmiddel, reiselengde, sitteplass eller ståplass. Prosent. Modell-beregning basert på Oslo-trafikanternes preferanser. Kilde Norheim 1994» (Stangeby og Norheim, 1995, s. 91)	31
Tabell 2-8: «Sammenstilling av konklusjoner fra de gjennomgåtte rapportene» (Tørset og Meland, 2002, s. 21).....	32
Tabell 2-9: «Tidsverdier for reiser til/fra arbeid under 70 km. Basert på Flügel mfl. (2019) (kroner per time, 2018).» (Lunke og Fearnley, 2019, s. 2).....	32
Tabell 2-10: «Elastisiteter med hensyn til endringer i avgangsfrekvens og skjult ventetid – norske studier» (Oslo Economics, 2016, s. 21)	34
Tabell 2-11: Ulike elastisiteter for varierende faktorer: frekvens og reisetid	35
Tabell 3-1: Oversikt over datasett benyttet i nettverksanalysene.....	39
Tabell 4-1: Oversikt over befolkning og sysselsatte i dag innenfor 5, 10, 15 og 20 minutters gangavstand fra holdeplasser langs jernbanen	54
Tabell 4-2: Befolkningsmengde i 2017 innen 20 minutters gangavstand til holdeplasser langs jernbanen. Sortert etter høyest verdi.....	55
Tabell 4-3: Forventet befolkningsmengde i 2050 innen 20 minutters gangavstand til holdeplasser langs jernbanen og relativ endring fra 2017, basert på Byutrednings arealalternativ «Kollektiv». Sortert etter høyest verdi	56
Tabell 4-4: Tabulert fremstilling av personer innen 20 min for eksisterende holdeplasser	57
Tabell 4-5: Togavganger fra Rutetermin 20, med informasjon om retning, type tog og eventuelt hvor kjørestrekningen er forlenget.....	61
Tabell 4-6: Valgte parametere for de ulike eksempelreisene	64
Tabell 4-7: Passasjerendring som følge av elastisiteter, Ranheim – Marienborg	66
Tabell 4-8: Passasjerendring som følge av elastisiteter, Heimdal – Trondheim S.....	66
Tabell 4-9: Passasjerendring som følge av elastisiteter, Melhus skysstasjon – Værnes ..	66
Tabell 4-10: Reisetidsforhold mellom tog og buss	67
Tabell 4-11: Reisetidsforhold mellom tog og bil	68

Formler

Formel 2-1: Ganghastighet ifølge Tobler (1993)	25
Formel 2-2: Linjekapasitet etter UIC 406.....	28
Formel 2-3: Komplexitet av stasjon ved sporutforming	29
Formel 2-4: Komponenter for å beregne generalisert reisetid (GT)	33
Formel 2-5: Formel for beregning av ventetid på holdeplass for to etterfølgende togavganger	34
Formel 3-1: Prinsipp for elastisitetsberegning.....	46

Forkortelser/symboler

NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
IBM	Institutt for bygg- og miljøteknikk
IV	Fakultet for ingeniørvitenskap
RTM	Regional Transportmodell
NTP	Nasjonal Transportplan
ERTMS	European Rail Traffic Management System
RVU	Reisevaneundersøkelse

1 Innledning

I dette første kapittelet vil jeg presentere hva som er oppgavens problemstilling og hvordan denne passer inn dagens situasjon i Trondheimsområdet. Det vil bli lagt fram tilstrekkelig med bakgrunnsinformasjon for enkelt å kunne følge med videre i oppgaven, og for å forstå hvorfor det er valgt å sette fokus på enkelte elementer.

1.1 Overgang fra prosjektoppgaven

Denne masteroppgaven er skrevet med utgangspunkt i min egen prosjektoppgave skrevet høsten 2019. Denne er ikke publisert, men heter «Mulighetsstudie for å benytte eksisterende jernbanetrasé som utgangspunkt for sporveg i Trondheim». Veiledere var Yngve Karl Frøyen og Elias Kassa. Oppgaven tok utgangspunkt i fem forskningstemaer: passasjergrunnlag, planer i Trondheimsregionen, dobbeltspor, kapasitet og konsekvensanalyse. Dette gav et godt grunnlag for å starte masteroppgaven, og temaene «passasjergrunnlag, planer i Trondheimsregionen og kapasitet» er blitt videreført og utdypet. De andre er tatt vekk for å kunne gi resterende tema den dybden og faglige tyngden de behøver. Enkelte deler av det teoretiske grunnlaget fra prosjektoppgaven er overført direkte til masteroppgaven med kun små modifikasjoner.

1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål

Følgende problemstilling er formulert:

Problemstilling: *Hvordan er mulighetene for å benytte eksisterende jernbanetrasé som utgangspunkt for et nytt rutetilbud for bytog i og rundt Trondheim?*

For å besvare denne problemstillingen er det nødvendig å velge ut noen momenter som skal undersøkes for å vise et så nyansert og detaljert bilde som mulig. Det er derfor bestemt å fokusere på følgende forskningsspørsmål:

Forskningsspørsmål 1: *Hvordan er mulighetene for et bytog i Trondheim, basert på tidligere, nåværende og fremtidige planer, utredninger og fremtidsutsikter for jernbanen og generell transport- og arealutvikling i og rundt Trondheim?*

Forskningsspørsmål 2: *Hvor mange har god tilgjengelighet til holdeplasser langs jernbanen i dag og i 2050, i og rundt Trondheim?*

Forskningsspørsmål 3: *Hvordan kan et nytt rutetilbud for bytog se ut og hvordan vil det påvirke togtrafikken dersom det legges opp til økt avgangsfrekvens?*

Forskningsspørsmål 4: *Hvordan vil en endring i togtilbudet kunne påvirke etterspørselen?*

1.3 Bakgrunn og motivasjon

Motivasjonen bak problemstillingen er et økende transportbehov i Trøndelag i dag, og ifølge Nasjonal Transportplan så skal persontransportveksten i byområdene imøtekommes med gode tilbud for gange, sykkel og kollektiv (Meld. St. 33 (2016–2017), 2017). Kollektivtransporten i Trondheim i dag tas med buss og tog, og til dels trikk (Lian), og det er per høsten 2019 startet opp med Metrobuss også (Miljøpakken, 2019). Både Oslo og Bergen har velfungerende skinnibaserte kollektivtilbud, og det er derfor også naturlig å vurdere mulighetene for noe liknende i Trondheim. På grunn av et meget tettbebygd sentrumsområde i Midtbyen og store områder som er vernet, samt store begrensninger ved at Nidelven snor seg rundt sentrum, har inspirasjonen for denne oppgaven ligget i å se på mulighetene for å forbedre og benytte den eksisterende jernbanetraséen som utgangspunkt for et nytt og forbedret kollektivtilbud på skinner. Dette er blitt gjort flere ganger og på ulike måter opp gjennom årene. Deriblant er det verdt å nevne de to Byutredningene i Trondheim, Rambølls utredning fra 2010 om bybane i Trondheim og Bane NORs utredning fra 2003 om bytog i Trondheim. Tanken bak denne oppgaven er derfor å revurdere mulighetene for et bytogtilbud i Trondheim og utføre et teknisk forankret mulighetsstudie ved å undersøke en rekke forskningsspørsmål. Disse skal undersøke planer og utredninger i området, passasjergrunnlag i dag og i fremtiden, forslag til ruteplaner for et bytogtilbud og effekten av et slikt tilbud på etterspørselen i transportmarkedet.

Opgaven skal dermed fokusere på forbedring og optimalisering av det eksisterende jernbanenettet mellom Stjørdal og Melhus i form av et bytogtilbud. Dette skal kunne fungere litt som en bybane og være med på å føre byutviklingen i Trondheim i riktig retning basert på fremtidsutsiktene som er satt, men vil bære et sterkt jernbanepreg og i praksis være et godt utarbeidet lokaltogtilbud.

1.4 Oppgavens struktur og forutsetninger

Denne oppgaven vil i de neste kapitlene «2 Teoretisk grunnlag og dagens forhold», «3 Metode» og «4 Resultater» deles inn i fire temaer, hvert av dem knyttet opp mot ett av forskningsspørsmålene. Del 1 omhandler planstatus og samordnet area- og transportplanlegging knyttet til toget, del 2 tar for seg forutsetninger og passasjergrunnlag for et banetilbud. Del 3 undersøker hvordan en kan planlegge for jernbanen og hvordan et rutetilbud kan se ut, og del 4 ser på hvordan et forbedret kollektivtilbud med tog kan påvirke etterspørselen. Alle delene har vil være knyttet opp mot studieområdet.

Forskningsspørsmålene krever at det gjøres analyser og beregninger ved hjelp av GIS-verktøyet ArcMap 10.7 og Excel. Jeg har tidligere erfaring med disse verktøyene, men omfanget i masteren er av en helt annen skala enn tidligere prosjektarbeider.

Med tanke på arbeidet med grafiske ruteplaner og jernbanekapasitet, så har jeg ingen tidligere praktisk erfaring med hvordan en setter opp et slikt tilbud. Derfor har jeg rådført meg med erfarne fagfolk slik som Ida Bøe fra Bane NOR, for å kunne ta beslutninger og utforme ruteplanalternativ som er mest mulig forankret i virkeligheten og vil kunne være realistiske å gjennomføre i Trondheim. Det har vært en bratt, men produktiv og effektiv læringskurve.

Alle kartografiske fremstillinger i denne oppgaven er egenproduserte, med mindre det er lagt inn en spesifikk kildehenvisning i figurteksten.

2 Teoretisk grunnlag og dagens forhold

Før det gjøres beregninger og analyser er det nødvendig å ta for seg dagens forhold og teori for å bygge et grunnlag for videre arbeid. Forskningsspørsmål 1 er forankret i litteraturen, og vil derfor være en viktig del dette kapittelet. De andre tre delkapitlene er av en mer teoretisk art og er rettet mot de andre forskningsspørsmålene, men relevansen til områdene i og rundt Trondheim vil være viktig.

Når vi snakker om «Trondheimsområdet» eller «områdene i og rundt Trondheim» menes det i denne oppgaven alle områdene i følgende kommuner som ligger i nærhet til jernbanen i studieområdet: Stjørdal, Malvik, Trondheim (inkl. Klæbu per 2020) og Melhus. I Figur 2-1 ser man utstrekningen til studieområdet, med Stjørdal som ytterpunkt i nord-øst og Melhus i sør-vest. Dessuten ser man også her utstrekningen av Trondheim tettsted, hvor bakgrunnen er farget lys brun og indikerer bebyggelse.



Figur 2-1: Kart over Trondheimsområdet, Toporaster N50 som bakgrunn

2.1 Eksisterende planer og utredninger

Forskningsspørsmål 1: *Hvordan er mulighetene for et bytog i Trondheim, basert på tidligere, nåværende og fremtidige planer, utredninger og fremtidsutsikter for jernbanen og generell transport- og arealutvikling i og rundt Trondheim?*

Ifølge Nasjonal Transportplan 2018-2029 (NTP) skal fremtidens persontransportvekst i byområdene imøtekommes med gode tilbud for gange, sykkel og kollektiv (Meld. St. 33

(2016–2017), 2017). Dette kalles også for *Nullvekstmålet* og er formulert i Bymiljøavtalen mellom Trondheim kommune, (tidligere) Sør-Trøndelag fylkeskommune og Staten (Statens vegvesen *et al.*, 2016). Trondheim har opptil flere ganger fått utredet ulike forslag til utvidelser av kollektivtransporttilbudet og lagt planer for en kollektivtransportorientert byutvikling, hvor de kanskje viktigste bidragene er Byutredningene trinn 1 og trinn 2 (Statens Vegvesen, 2017; 2018). Disse dannet grunnlaget for forhandlingene om byvekstavtalen Trondheim fikk i 2019, hvor partene utarbeidet Miljøpakkens lokale delmål (Trondheim kommune *et al.*, 2019). Målsetningene til Miljøpakken vises i Tabell 2-1 og tar for seg blant annet miljøvennlige transportmidler og krav til utslipp, samt ulike mål for en tilgjengelig og samordnet areal- og transportplanlegging. I tillegg til byutredningene er det blitt utredet spesifikt for muligheter for bytog og bybane, da ved hjelp av konsulenttenester fra blant annet Rambøll, Asplan Viak og Sintef.

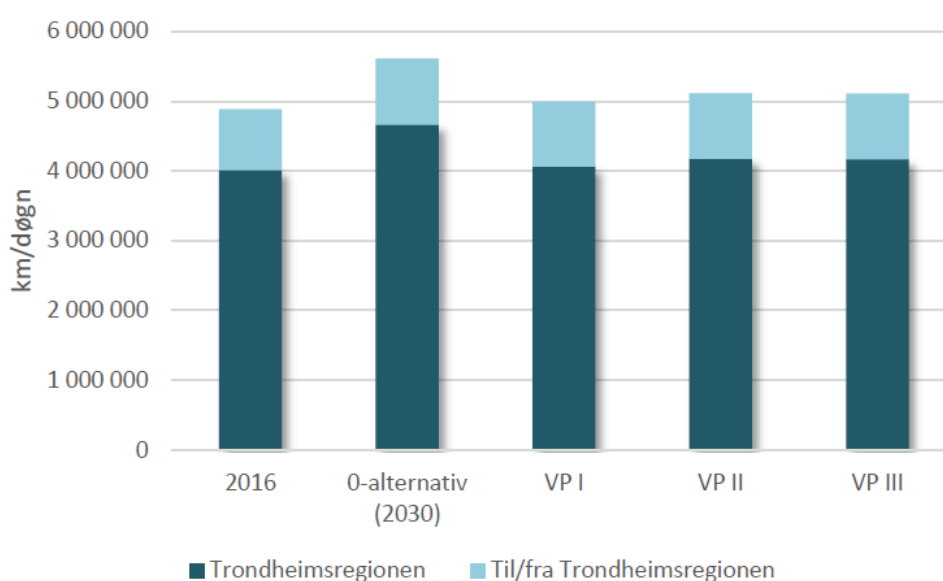
Tabell 2-1: Oversikt over Miljøpakkens 9 målsettinger (Miljøpakken, 2020)

Mål	Beskrivelse
1	Det skal slippes ut mindre CO ₂ . Utslipp fra transport skal reduseres i tempoet som er nødvendig for å oppfylle Paris-avtalen, og i tråd med lokale klimamål.
2	Flere skal reise miljøvennlig. Økningen i miljøvennlige reiser i avtaleområdet skal være større enn befolkningsveksten.
3	Samordnet areal- og transportplanlegging skal redusere transportbehovet og gjøre det lett og tryggere å velge miljøvennlige transportmidler i en velfungerende bo- og arbeidsregion.
4	By- og tettstedsområder skal bli mer tilgjengelig for alle.
5	Antall trafikkulykker med drepte og hardt skadde skal reduseres. Antall trafikkulykker totalt skal reduseres.
6	Nasjonale mål og forurensningsforskriftens krav til luftkvalitet skal overholdes.
7	Trafikkstøy innendørs og utendørs for støyfølsom bebyggelse og virksomhet skal reduseres.
8	Næringstransporten skal bli grønnere og mer effektiv.
9	Øke brukertilfredsheten av tiltak i miljøpakken.

Byutredningens trinn 1 tar utgangspunkt i bymiljøavtalen i Trondheim fra 2016 og foreslår tre virkemiddelpakker som alle har som formål å innfri nullvekstmålet. Disse er presentert i Tabell 2-2. Det ble i utredningen valgt at alle beregninger og virkemiddelpakker skal ta for seg det samme arealbruksalternativet, betegnet «Kollektiv», hvor bymiljøavtalen legges til grunn med forpliktelsen «...å legge til rette for høy arealutnyttelse knyttet til eksisterende og nye kollektivtraséer, spesielt rundt holdeplasser/stasjoner.» (Statens vegvesen *et al.*, 2016, s. 4). I tillegg har alle virkemiddelpakkene gang- og sykkeltiltak, samt varierende grad av Metrobuss, banetiltak, parkeringstiltak og bomavgifter. De tre virkemiddelpakkene sammenliknes med nåsituasjonen (per 2016) og 0-alternativer i 2030 (basert på planlagte tiltak per 2016), og resultatet i rapporten viser at alle tre pakkene tilnærmet når nullvekstmålet. Transportarbeidet er ca. 0,7-3,5% høyere i virkemiddelpakkene enn i 2016, og det er derfor lagt ned forutsetninger om at det må suppleres med andre virkemidler for å nå målet. Dette er tiltak som for eksempel holdningsskapende arbeid og gode løsninger for sykkelparkering. Figur 2-2 er hentet fra rapporten, og viser godt at virkemiddelpakkene hindrer den store økingen i transportarbeidet som man ellers ville fått dersom man ikke gjorde noe (0-alternativet). Fra figuren er det tydelig at alle tre virkemiddelpakkene vil ha ønsket effekt sammenliknet med 0-alternativet.

Tabell 2-2: «Sammensetning av virkemiddelpakker» (Statens Vegvesen, 2017, s. 103)

Virkemiddelpakke		I	II	III
Arealbruksalternativ «Kollektiv»		X	X	X
Gang- og sykkeltiltak		X	X	X
Kollektiv	Økt Metrobuss	X	X	X
	Økt Metrobuss og jernbanetiltak		X	X
	Økt Metrobuss, jernbanetiltak og bybane			X
Økonomi	Økt bomavgift (x4)			X
	Økt bomavgift (x2) og parkeringstiltak		X	
	Økt bomavgift (x2) og ytterligere parkeringstiltak	X		



Figur 2-2: «Kjøretøykm med bil innenfor Trondheimsregionen» (Statens Vegvesen, 2017, s. 80)

Trinn 2 i byutredningen fordyper seg i målsetningen om en strategisk arealutvikling langs jernbanen, og en 20% sykkelandel. Det viser seg at det er et stort potensial i Trondheimsområdet for fortetting langs knutepunkter, hvor det vil være mulig å fordele en stor andel av befolkningsøkningen som er ventet mot 2050 til områdene i nærhet til knutepunktene langs jernbanen. Det konkluderes dessuten med at «Det er grunn til anta at knutepunktutviklingen bidrar til overføring av reiser fra buss til tog» (Statens Vegvesen, 2018, s. 65). Trinn 2 konkluderer med å forklare at analysene som er gjort peker på at virkemidlene benyttet i Trinn 1 ikke er tilstrekkelige for å nå nullvekstmålet innen 2050.

I 2003 ble det gjort en utredning om muligheter for et bytog, utført av Vigdis Lindheim på vegne av Jernbanedirektoratet. Denne har det dessverre vist seg å være vanskelig å få tak i, men det ble i 2005 gjort en vurdering av tidligere utredninger hvor denne var sentral (Tørset, 2005). I Tørsets vurderinger kommer det fram at utredningen fra 2003 er preget av at det ble satt svært gunstige forutsetninger for etterspørselsberegningene. Forutsetningene omhandlet den forventede arealutbyggingen, hensynet til skinnfaktoren og hvordan beregningene tok hensyn til gangtider for ulike reisemiddel. På den annen side var sannsynligvis anslagene brukt i kostnadsberegningene satt for høyt, slik at

kostnadsestimatene gav svært ugunstige resultater. Det konkluderes med at dersom det skal planlegges et bytogtilbud i Trondheim så må trafikkgrunnlaget beregnes på nytt, i tillegg til at det må gjøres nye anslag på driftskostnader. Dermed er det vanskelig å si om denne utredningen av bytog i Trondheim var realistisk, og det er derfor åpnet opp for å utrede på nytt i lys av et mer nøyaktig og realistisk beregningsgrunnlag.

Rambøll og Asplan Viak har begge utført utredninger om kollektivtransport i Trondheim, den ene i 2010 (Spilsberg) og den andre i 2012 (Halvorsen). Rambølls utredning heter «Bybane i Trondheim, Mulighetsstudie» og undersøker hvilke fordeler og ulemper som foreligger ved ulike bybanesystemer i Trondheim kontra et superbusstilbud i samme område. Fordelene som legges til grunn er høy kapasitet, gode muligheter for tettere arealutnyttelse langs banen, økt komfort, kortere reisetider til sentrum fra østsiden av byen og elektrifisering av kollektivtilbudet. Utfordringene derimot henger sammen med at Trondheims bystruktur i dag er spredt, og derfor ikke er god nok for en effektiv banebetjening. Det er ikke store tidsgevinster på reisetiden, særlig ikke fra sørsiden av byen, og det vil være mange som mister direktebuss til sentrum og vil måtte bytte. Dessuten er passasjergrunnlaget vurdert som for svakt for et banetilbud, og ligger godt under anbefalte verdier som er brukt som utgangspunkt i andre byer. Dette vil kunne føre til at vognene ikke fylles opp utenom rushtider og resulterer i overkapasitet. Til slutt har anslag på økonomisiden vist at det ikke bare er høye investeringskostnader, men også en del vedlikeholdskostnader sammenliknet med busser som benytter «ordinær» infrastruktur (sammen med resten av trafikkbildet). Anbefalingen fra denne rapporten er at et superbusstilbud/Metrobuss burde satses på i stedet for bybane, noe som jo også ble realisert høsten 2019.

Utredningen til Asplan Viak (Halvorsen, 2012) heter «Ny stamrute øst i Trondheim», og ser blant annet på muligheten for å anlegge bybane på østsiden av byen som et alternativ. Dette sammenliknes med en bussrute i samme trasé gjennom en lang tunnel under Tyholt som kutter ut flere stopp, og en bussrute gjennom en kortere tunnel som beholder stoppene. Samlet sett scorer alternativet med bybane lavt, hvor veldig høye investeringskostnader og driftskostnader skiller seg klart ut mot bussalternativene. Bybaneløsningen har kortere reiselengde og reisetid enn den korte tunnelen med buss, men til gjengjeld kan bussen stoppe flere steder og har dermed et større passasjergrunnlag. Dersom det heller velges bussløsning i lang tunnel vil denne oppnå akkurat lik reiselengde, reisetid og passasjergrunnlag som bybanen, men til en betydelig lavere kostnadsramme. Dermed ser det her også ut til at en ny bussløsning er mer gunstig for Trondheim.

I senere tider er det blitt utredet og planlagt å bygge dobbeltspor mellom Trondheim og Stjørdal (Norconsult, 2018a). Delstrekningen Leangen-Hommelvik er dessuten lagt inn i kommunedelplanen, og Norconsult har her også utarbeidet et reguleringsplanforslag på vegne av Bane NOR (Norconsult, 2018b). I følge en artikkel fra 2016 i Adresseavisen, uttalte Arnfinn Brechan, tidligere leder for Jernbaneforum Midt-Norge, at dobbeltspor Stjørdal-Melhus er en nødvendighet om det skal bli noe av seks togavganger i timen på denne strekningen, og han så på det som overraskende at dette ikke ble nevnt i NTP 2018-2029 (Sved, 2016). Det er foreløpig ikke lagt omfattende planer for dobbeltspor mellom Trondheim og Melhus, men dersom målsetningene i NTP om forbedring av togtilbudet skal oppfylles, vil dette sannsynligvis bli utredet senere. Da vil også krav om dobbeltspor være et naturlig tillegg til neste NTP for 2022-2033. Utbygging av dobbeltspor vil kreve store investeringssummer, og kostnader knyttet til utfordrende grunnforhold kan være en begrensende faktor. I dobbeltsporutredningen (2018a) står det tydelig at alle forslagene

til traséalternativer har delstrekninger med krevende grunnforhold med stor løsmassemekktighet. Det er også noen områder som har større kvikkleireforekomster en må ta hensyn til, og det vil da også være behov for å gjennomføre supplerende grunnundersøkelser. Dette er for å kunne sikre god nok områdestabilitet, og vil være en viktig kostnad å ta hensyn til inn i videre planfaser.

Andre mer tekniske planer for jernbanen inkluderer Bane NORs oppgradering av signalsystemet til den nye standarden, kalt «ERTMS» (vil utdypes senere). Dette ble først satt i gang på Østfoldbanen som en erfaringsstrekning i 2015, og skal etter planen innføres på Trønderbanen først i 2027 for strekningen Steinkjer-Trondheim (Nordlandsbanen), og så i 2030 for strekningen Trondheim-Dombås (Dovrebanen) (Bane NOR, 2020a; Otterholt 2019). En mer umiddelbar oppgradering er den planlagte elektrifiseringen av Trønderbanen og Meråkerbanen som er fastslått i NTP 2018-2029 (Meld. St. 33 (2016-2017), 2017) med byggestart allerede i 2020. Utbyggingen skal gjennomføres etappevis for å kunne ta ut effekten så tidlig som mulig, med strekningen Stjørdal-Trondheim først (inkl. Stavne-Leangenbanen). Dette vil kunne skaffe verdifulle erfaringer ved å starte med at lokaltogene til Stjørdal blir elektriske, før man fortsetter med de neste etappene Stjørdal-Steinkjer og Hell-Storlien (Bane NOR, 2016).

I august 2019 åpnet nye Leangen stasjon, som fra tidligere av ikke oppfylte kravene i Bane NORs Tekniske Regelverk eller universell utforming. Stasjonen ble dessuten oppgradert slik at den nye Metrobussen i Trondheim i dag har bussholdeplasser på begge sider av stasjonen (Svinsås, 2019). Ranheim stasjon skal også gjennomgå en rekke stasjonstiltak og er planlagt å gjenåpnes innen 2021. Stasjonstiltakene inkluderer nye plattformer og adkomster for spor 1 og spor 2, samt å legge til rette for elektrifisering av jernbanen (Bane NOR, 2020b; Lundring, 2017).

I VYs rapport «Muligheter for Trønderbanen» estimeres det at trafikkpotensialet på Trønderbanen kan oppimot femdobles i forhold til trafikken i 2018. Dette forutsetter en full utbygging av Trønderbanen, inkludert dobbeltspor Stjørdal-Trondheim og elektrifisering, samt to pendler i hver retning på strekningene Steinkjer-Melhus og Stjørdal-Melhus i hver sin halvtimesfrekvens (VY, 2018). Omtrent halvparten av denne passasjerveksten vil komme fra bil, noe som er positivt med tanke på Nullvekstmålet. Det presiseres også at i delmarkedet Stjørdal-Trondheim er det frekvensøkning som vil ha størst effekt på trafikkvekst. I tillegg vil forlengelse av pendlene til Melhus og etableringen av nye holdeplasser (Ranheim/Grilstad og Bjørndalen) også kunne ha en økende effekt på trafikken.

I Tabell 2-3 er de overnevnte planene, utredningene og fremtidsutsiktene til Trondheim og omegn presentert, hvorpå de er sortert etter egen vurdering av fagfeltet de tilhører.

Tabell 2-3: Sammenstilling av eksisterende planer, utredninger og fremtidsutsikter

Navn på dokument mm.	Konkret relevant forslag	Fagfelt
NTP 2018-2029 og Bymiljøavtalen	Nullvekstmålet	Byutvikling
Byutredningen i Trondheim - Trinn 1	Virkemiddelpakker mot Nullvekstmålet	Byutvikling
Byutredningen i Trondheim - Trinn 2	Jernbaneorientert knutepunktsutbygging	Byutvikling og Jernbaneutbygging

Bytog i Trondheim	Insentiv til ny bytogutredning	Jernbaneutbygging
Bybane i Trondheim, Mulighetsstudie	Bybane	Byutvikling
Ny stamrute øst i Trondheim	Bybane	Byutvikling
Dobbeltspor Trondheim – Stjørdal konsekvensutredning	Dobbeltspor	Jernbaneutbygging
Nytt signalanlegg på jernbanen	ERTMS	Jernbaneutbygging
Elektrifisering av Trønderbanen	Elektrifisering og bimodale tog	Jernbaneutbygging
Stasjonstiltak (bla. Ranheim)	Universell utforming, dobbeltspor og elektrifisering	Jernbaneutbygging
Muligheter for Trønderbanen	Økt trafikkpotensiale ved økte togfrekvenser	Jernbaneutbygging

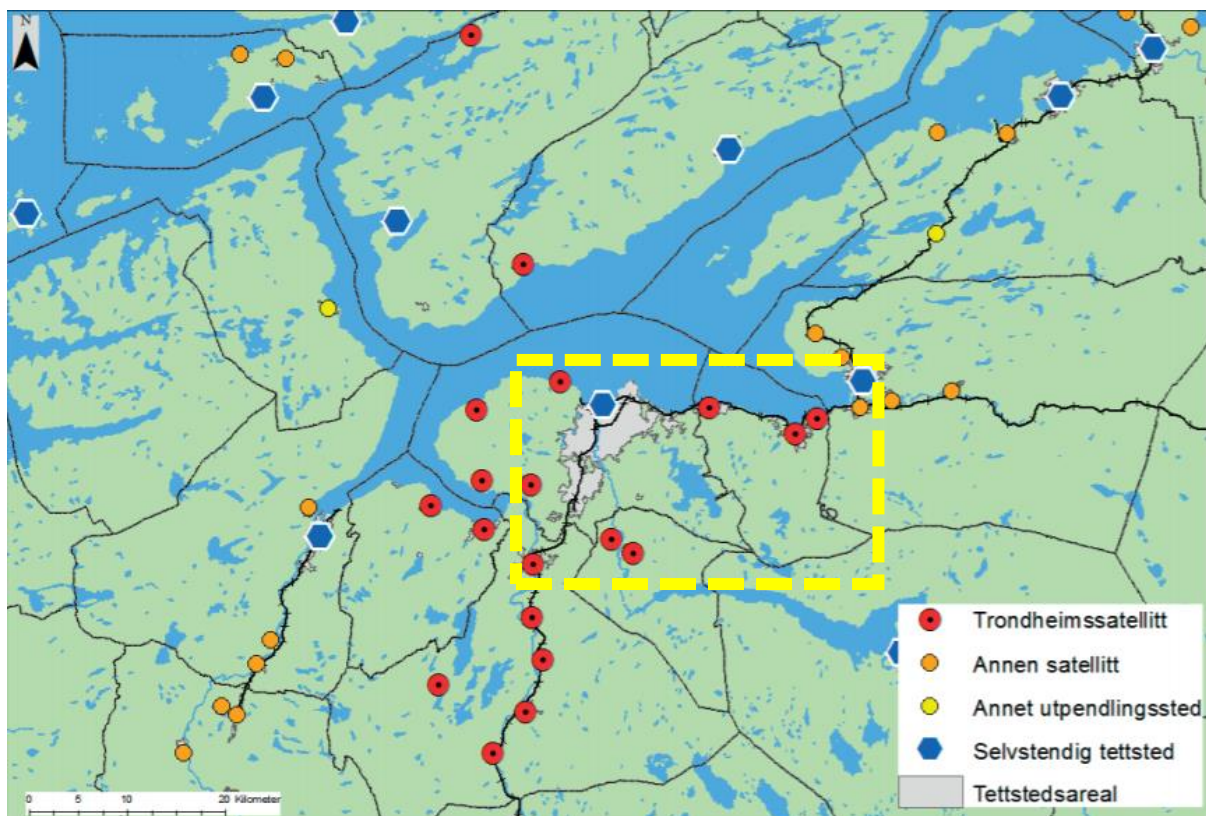
2.1.1 Reisevaner i og rundt Trondheim

Reisevaner er det som beskriver hvordan og hvor personer velger å reise i løpet av en dag. En reisevaneundersøkelse kan være særdeles nyttig som grunnlag for videre undersøkelser innen reisevaner. Det er viktig at reisevanedataene er oppdaterte og består av mange respondenter. Respondentene stilles en rekke spørsmål, hvor reiser og reisevaner blir kartlagt. På denne måten kan man se på hvilke reisemidler som benyttes og til hvilket formål, og dette danner basis for videre analyser. Reisevaner kan for eksempel variere fra sted til sted, alder, kjønn, sosial bakgrunn samt avstanden fra arbeidsplassen til hjemmet. Det interessante ligger i å øke forståelsen for hvorfor folk velger å reise, når de velger å reise og hvilket reisemiddel de da velger å benytte seg av.

Den nasjonale reisevaneundersøkelsen i Norge benytter folkeregisteret til å kontakte innbyggere fra og med fylte 13 år. Dersom man samtykker til telefonintervjuet blir man bedt om å beskrive alle reisene fra dagen før, slik at disse kan bli kartlagt med starttid, reiselengde, reisetid, reisemål, reisemiddel og reiselinker. En «reise» er definert som «... enhver forflytning utenfor egen bolig, skole, arbeidsplass eller fritidsbolig, uavhengig av forflytningens lengde, varighet, formål eller hvilket transportmiddel som brukes» (Hjorthol, Engebretsen og Uteng, 2014, s. 1). Dette resulterer i et datasett som da blant annet beskriver reiselengder og hvilke reisemiddel ulike personer bruker til og fra jobb, og til og fra andre aktiviteter slik som handel og fritidsaktiviteter. Dataene gjør det mulig å undersøke andelen som reiser med tog, bestemme hvor langt de reiser og kartlegge til hvilket formål de reiser. Ifølge Miljøpakken (2016) sin rapport om RVU 13/14 i Trondheimsregionen består fordelingen av reisemål av omtrent 30% fritidsreiser, 30% handelsreiser og 25% arbeidsreiser (inkl. skole og studie), noe som tilsier at alle de tre reisemålene tar opp like store deler av hverdagen til folk flest.

Engebretsen og Christiansen (2011) kommer frem til flere interessante forhold i Trondheim sin rapport om personreiser i byer og tettsteder. Trondheim tettsted har flere andre mindre tettsteder i nærheten. Disse betegnes som «Trondheimssatelitter». I Figur 2-3 som er hentet fra rapporten, ser man dette svært tydelig hvor alle tettstedene i studieområdet

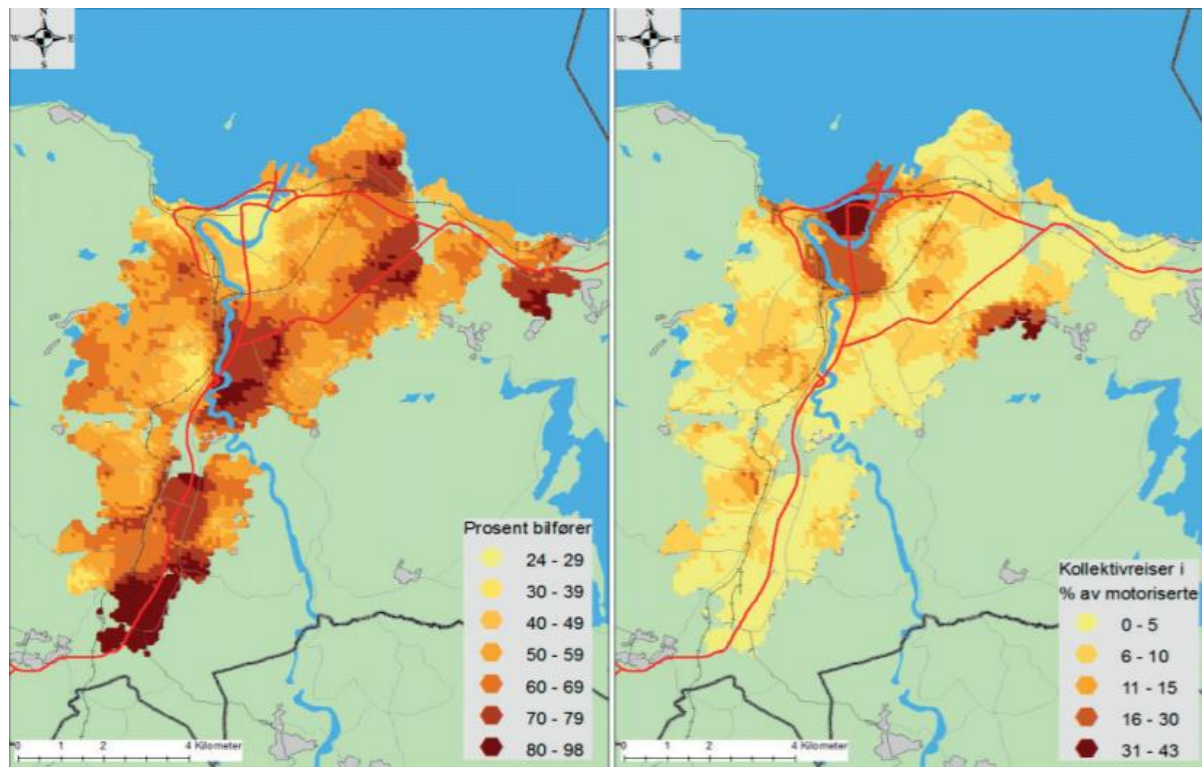
(gul stiplet firkant), bortsett fra Stjørdal, er Trondheimssatellitter. Det betyr altså at det for tettstedene mellom Stjørdal og Melhus er minst 50% som pendler ut av tettstedet, hvorav minst 25% pendler til Trondheim tettsted. I rapporten kommer det også fram at Trondheim tettsted har mange arbeidsplasser, hvor særlig Midtbyen og de sørlige bydelene (blant annet Sluppen) utpeker seg med høy arbeidsplass tetthet sammenliknet med de andre bydelene. Østover i byen mot Lade er det også en relativt høy arbeidsplass tetthet. Kjøpesentrene i Trondheim er hovedsakelig lokalisert i Midtbyen og på Tiller, men også på Lade, i tett sammenheng med arbeidsplass tettheten. Denne «aksen» med mange arbeidsplasser følger en bue mellom sør og øst i byen, og sammenfaller med det som kalles *Kollektivbuen*. Kollektivbuen innebefatter byområdene mellom Sluppen, Ila, Midtbyen og Strindheim (Statens Vegvesen, 2012).



Figur 2-3: «Tettsteder i Trondheimsregionen etter pendlingsbalanse. Datagrunnlag: SSB. Selvstendig tettsted: Mindre enn 50 % av de yrkesaktive pendler ut av tettstedet. Trondheimssatellitt: Minst 50 % pendler ut, minst 25 % av disse jobber i Trondheim tettsted. Annen satellitt: Minst 50 % pendler ut, minst 25 % av disse jobber i samme regionsenter (utenom Trondheim tettsted). Annet utpendingssted: Minst 50 % pendler ut, ingen pendlingsmål når opp i 25 %.» (Engebretsen og Christiansen, 2011, s. 26). Denne oppgavens studieområde ligger innenfor gul stiplet firkant.

Engebretsen og Christiansen (2011) presenterer også grafer over sannsynlig andel bilreiser og kollektivreiser i forhold til sentrumsavstand (0-15km) og arbeidsplass tetthet i endepunktet (500/1000 arbeidsplasser). Disse viser at andelen bilreiser til jobb øker med ca. 25-30% og andelen kollektivreiser til jobb minker med 7-12% når avstanden til sentrum av Trondheim varierer mellom 0-15km. Ved å undersøke reisevaner i Norge generelt, konstateres det i rapporten at dersom reisetiden (dør-til-dør) med kollektivtransport kan konkurrere med biltransport, kan man forvente en relativt høy kollektivandel. Og dersom det ikke er tilgang på gratis parkering, kan man forvente at opptil 20-30% flere velger å reise kollektivt. Hvis man sammenlikner andelen av alle reiser

som gjøres med bil i Trondheim tettsted med reisemålet, ser man at det er det sentrumsnære området som skiller seg ut med en lavere andel bilbruk. I Trondheim er det spesielt reiser til sentrum, til de to store universitetscampusene til NTNU (Gløshaugen og Dragvoll) og til områder langs E6-en utenfor sentrum, at det er kollektivt som står for de store andelene av motorisert reise, illustrert i Figur 2-4.



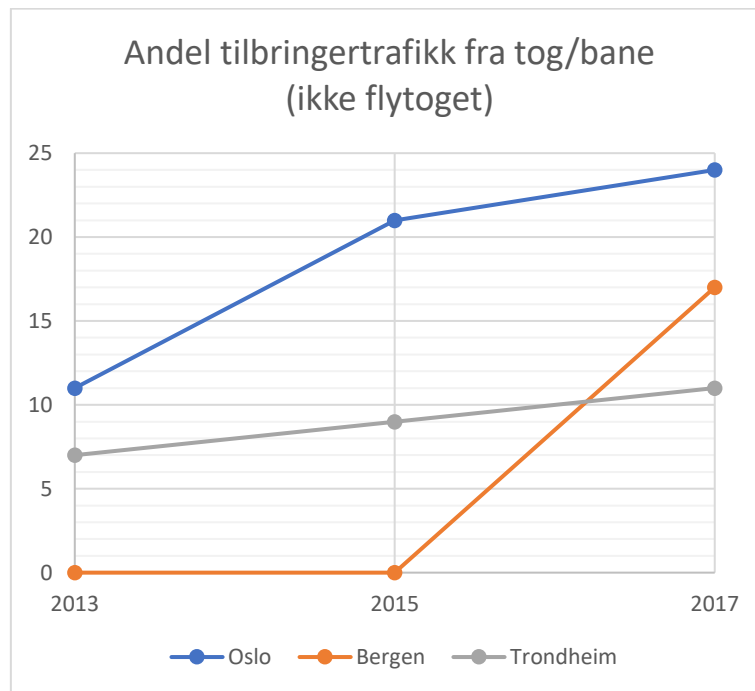
Figur 2-4: «Andel reiser som bilfører (andel av alle reiser) og kollektivreisenes andel av motoriserte reiser etter reisemål i Trondheim tettsted - ikke medregnet reiser som ender i eget hjem. Omfatter reiser under 150 km foretatt av personer over 17 år. Prosent.» (Engbretnsen og Christiansen, 2011, s. 47)

Tilbringertrafikk til lufthavn

Et interessant moment i debatten om behovet for bytog er muligheten for å komme seg kollektivt til/fra Trondheim Lufthavn Værnes. Per 2020 finnes det kun ett slikt tilbud i dag i form av Værnes-Ekspressen, da Flybussen sluttet å kjøre i Trondheim i løpet den 31.januar 2020 etter å ha tapt anbudet (VY, 2020).

Transportøkonomisk institutt (TØI) har laget flere rapporter kalt «Reisevaner på fly», hvor det er undersøkt reisevanene til passasjerer i bl.a. årene 2013, 2015 og 2017. Tilbringertrafikken viser hvor stor andel av flyreisende som benytter kollektivtransport, bil og taxi for å komme seg til/fra flyplassen. Figur 2-5 er produsert selv og sammenstiller de tre rapportenes resultater. Den viser den motoriserte reisemiddelfordelingen for Oslo, Bergen, Trondheim og Stavanger i 2013, 2015 og 2017 (Denstadli, Thune-Larsen og Dybedal, 2014; Thune-Larsen og Farstad, 2016; 2018). Som en ser av Figur 2-5 er det store forskjeller fra by til by, hvor ulikheter i bystruktur, nærhet til flyplass og utstrekning av jernbanenettet påvirker reisemiddelvalget. Oslo og Trondheim har en jevn stigende trend, noe som indikerer en viss endring i reisemiddelvalg mellom 2013 og 2017. Men det er tydelig at Oslo med sine 24% som tar toget til flyplassen i 2017 overgår Trondheims 11%. Dette er dessuten andel togreiser *ikke medregnet Flytoget*, slik at andelen i realiteten

er enda høyere. Bergen har frem til åpningen av Bybanens linje til flyplassen 0% reisende med bane, men denne andelen økte markant etter åpningen til hele 17%. Dette tyder på at et forbedret og nyetablert banetilbud til flyplassen kan føre til en økning i togreiseandelen av tilbringertrafikken til Værnes.



Figur 2-5: Andel tilbringertrafikk til lufthavn, sammenstilling av rapporter

2.2 Tilgjengelighet langs jernbanens trasé

Forskningsspørsmål 2: *Hvor mange har god tilgjengelighet til holdeplasser langs jernbanen i dag og i 2050, i og rundt Trondheim?*

Tilgjengelighet er nært knyttet til mobilitet, men kan ikke sies å være det samme. Litman og Victoria Transport Policy (2012, s. 1) kommer med følgende utsagn: «*An automobile is a machine for mobility. A city is a machine for accessibility*». Dette kan tolkes som at bilen er et virkemiddel for å øke og forbedre mobilitet, mens en økt og forbedret tilgjengelighet heller kommer i sammenheng med byer og deres struktur. En tettere bygget by har sannsynligvis et bedre og mer utbredt transportnettverk innad, noe som da vil promotere god tilgjengelighet. Mobilitet handler helt enkelt om den fysiske flyttingen av mennesker og gods. Mobilitet kan derfor enkelt måles i antall reiser, eller i hvor langt man har reist over et tidsintervall. På denne måten vil økt mobilitet bety økt mulighet til å reise, og henger sammen med et økt trafikkvolum. Dette vil kunne gi økt tilgjengelighet, men det kan også virke begrensende hvis mobiliteten kun har et fokus på bilen som reisemiddel. En annen måte å beskrive tilgjengelighet på, er beskrevet av Geurs og Wee (2004) som i hvilken grad transportsystemene og arealbruken tilrettelegger for å nå et reisemål, ved å benytte et eller flere reisemidler. Altså er det nødvendig at byen har en god og tettbygget struktur med et velutbygget transportnett (herunder også gang- og sykkeltilbud) for at tilgjengeligheten skal være høy. Ved å forbedre kollektivtransporttilbudet i form av et oppgradert togtilbud som møter det økende persontransportbehovet, økes mobiliteten uten å øke bilbruken. Sammen med en målrettet arealbruk og fortetting langs jernbanen,

kan dermed økt mobilitet og tilgjengelighet bidra til et økt potensiale for passasjergrunnlag, og skape flere insentiver til etablering av et bytogtilbud i Trondheim.

Befolkningsprognoser mot 2050

Trøndelag fylkeskommunes befolkning er per 1.januar 2020 på 464 060 innbyggere, med 190 039 innbyggere i Trondheim kommune per 4. kvartal. Opp mot 2030 og 2040 forventes det at befolkningen øker til henholdsvis 210 560 og 220 545, noe som tilsier en forventet befolkningsvekst på om lag 11% og 16% i Trondheim kommune (Statistisk sentralbyrå, 2020). Dette vil kunne påvirke kollektivbruken i området betydelig, spesielt med tanke på nullvekstmålets ideal om at all persontrafikkvekst skal tas med gange, sykkel og kollektivt. Dersom også Byutredningenes foreslåtte arealbruk legges til grunn, skal befolkningsveksten mot 2050 lokaliseres i knutepunktene og tettstedene langs jernbanen slik at befolkningsveksten i disse områdene vil kunne bli betraktelig høyere enn 16%.

2.2.1 Planlegging av kollektivnettverk

I følge Hitrans sin håndbok for planlegging av kollektivnettverk (Nielsen, 2005) er det en rekke tiltak og faktorer som må styrkes og oppfylles for at et kollektivtransportsystem skal fungere i regioner, samt små og middels store byer:

- Det er viktig at eksisterende og fremtidige kollektivsystemer samhandler, slik at de kan yte sitt beste hver for seg og med hverandre.
- Det må være enkelt å bytte fremkomstmiddel ikke bare ved de større stasjonene og knutepunktene, men også ved mindre steder rundt om i regionen.
- De ulike transportmidlene bør utnytte sitt potensiale, og bruken bør tilpasses og begrenses i områder der hvor det er hensiktsmessig. Slik kan de møte behovene i det aktuelle området.
- Nettverksstrukturen bør være enkel og ha klare linjer og akser, slik at det blir forståelig for brukerne hvordan den er lagt opp.
- Ruteplanen bør tilpasses områder og tidsrom med høyere og lavere etterspørsel, slik at det for eksempel legges inn høyere frekvens på avganger og direkteruter i rushtider.
- Nettverket bør også legge opp til pendlerruter som går mellom boligområdene og arbeidsplassene og via sentrum, slik at disse knyttes sammen.
- I tillegg er det viktig at tjenester slik som billettering, informasjon og markedsføring blir støttet opp og tatt vare på. Sammen med eventuelle restriktive tiltak rettet mot personbilbruken, vil disse tjenestene kunne ha en betydelig innflytelse på etterspørsel og styrke de andre tiltakene nevnt ovenfor.

Til sammen vil alle disse nøkkelpunktene bidra til å sikre realiseringen av et vellykket kollektivtransportsystem.

Modellering av gangnettverk

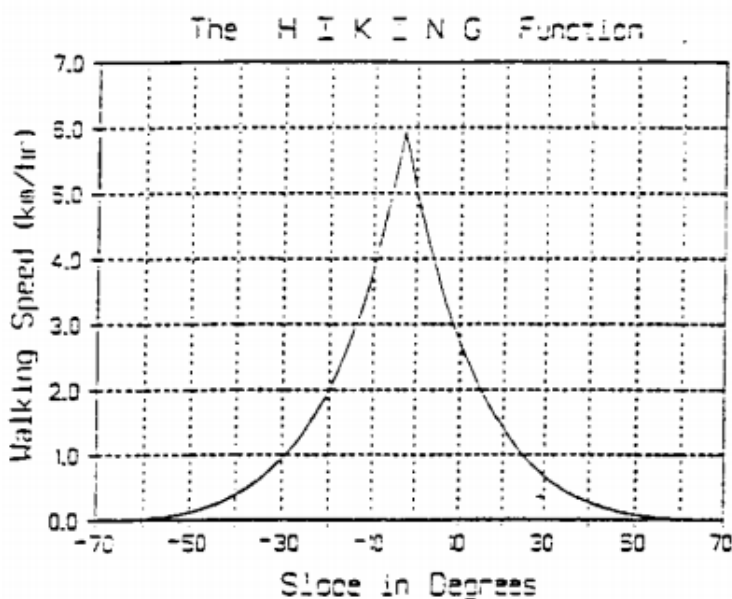
Nettverksanalyser er et nyttig hjelpemiddel for å undersøke hvordan folk kan forflytte seg fra A til B. Felles for alle nettverk er at de består av lenker og noder, hvor ulike typer informasjon lagres i hver lenke og node. Det kan være informasjon slik som fart, helning og tillatt kjøreretning. Det gir en indikasjon på hvor god tilgjengeligheten på nettverket er for utvalgte reisemiddel, basert på reisetid og reiselengder mellom start- og endepunkt. Nettverkene vil variere med reisemiddelet, slik at et gangnettverk, sykkelnettverk, kollektivnettverk og bilnettverk vil kunne inneha ulike parametere og parameterverdier.

Et gang- og sykkelnettverk vil i utgangspunktet være likt fordi det er lov å sykle på gangveier, mens hastigheten på lenkene vil variere. Akkurat hvilken hastighet en skal sette

for gange og sykkel er omdiskutert i litteraturen. Tobler (1993) foreslår at hastigheten for gående burde variere med helningen på terrenget, slik det fremkommer i Formel 2-1 og er illustrert i Figur 2-6: «The Hiking Function» (Tobler, 1993). Ganghastighetsfunksjonen. Figur 2-6 «The Hiking Function». Ved 0 graders helning settes ganghastigheten til 5 km/time, noe som tilsier omtrent 1 minutt per 100 meter (grovt regnet). Av figuren ser man dessuten at makshastigheten på ca. 6 km/t oppnås for en lett negativ helning, altså vil man gå litt raskere i en lett nedoverbakke. Men så vil hastigheten synke igjen når det blir for bratt og personen vil måtte bremse ned farten.

Formel 2-1: Ganghastighet ifølge Tobler (1993)

$$\text{Walking speed} = 6^{-3,5 \cdot \left| \frac{dh}{dx} + 0,05 \right|} \text{ [km/h]} \quad (\text{Formel 2-1})$$



Figur 2-6: «The Hiking Function» (Tobler, 1993). Ganghastighetsfunksjonen.

I Norge er bruken av areal- og transportplanleggingsmodellen, kalt ATP-modellen, utbredt. Modellen er tilpasset ulike trafikantgrupper, både gående, syklende, bilister og dem som benytter kollektivtransport (Regjeringen, 2018). ATP-modellen kan lastes ned og legges til i GIS-verktøyet ArcMap 10.7, hvor den har noen forhåndsinnstilte parameterverdier for ulike reisemidler. For eksempel vil sykkelhastigheten på lenkene i et sykkelnettverk være slik som presentert i Tabell 2-4. Da vil sykkelhastigheten ligge mellom 8 og 40 km/t, avhengig av helningen på terrenget. Når helningen er utenfor intervallet [-10%, 8%] settes hastigheten til ganghastigheten, med antakelsen om at den reisende da vil velge å trille sykkelen i stedet.

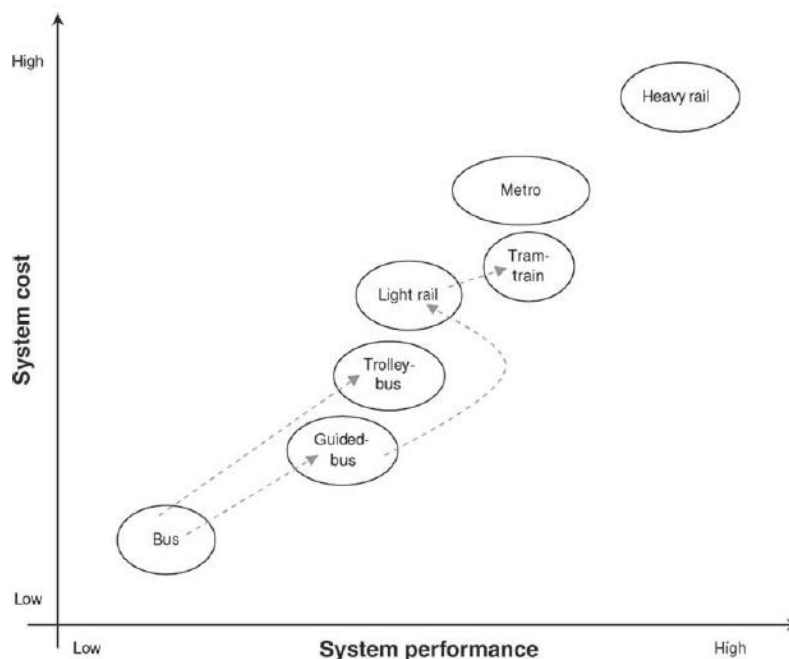
Tabell 2-4: Parameterverdier for sykkellenker i ATP-modellen

Parameter	Parameterverdi
Ganghastighet	3 km/t
Minste sykkelhastighet	8 km/t
Høyeste sykkelhastighet	40 km/t
Normal sykkelhastighet	16 km/t
Minste helning	-10 %
Største helning	8 %

2.3 Valget mellom buss eller bane

Forskningsspørsmål 3: *Hvordan kan et nytt rutetilbud for bytog se ut i og rundt Trondheim og hvordan vil det påvirke togtrafikken dersom det legges opp til økt avgangsfrekvens?*

Et banetilbud kan ha mange former og fasonger, og det enkelte systemet vil alltid være spesifisert og tilpasset det stedet banen skal bygges. Generelt ser man en utvikling hvor nyere lavkostnad-tilbud prøver å nå en høyere ytelse på høyde med høykostnad-tilbud (Hodgson og Potter, 2010). Dette er typisk busstjenester som prøver å nå ytelsen til jernbanen, med hensyn til kapasitet og effektivitet. Dette har vi eksempler på i Norge også, med Metrobussen i Trondheim som kom høsten 2019, og Trolleybussen i Bergen som nå skal bygges ut (AtB, 2019; Miljøløftet, 2019). Dette prinsippet illustreres i Figur 2-7, hvor det er en nær lineær sammenheng mellom økte systemkostnader og økt systemytelse. Nederst til venstre i figuren er «bus» plassert, med både lave kostnader og lav ytelse. Når tilbudet får en økning i kostnader og ytelse «utvikles» det til Trolleybuss, deretter i retning bybane og t-bane, og til sist jernbane. Det er verdt å merke seg at sammenhengen likevel ikke er 1-til-1, slik at t-bane og «trikke-tog» (en slags bymessig hybrid hvor trikken kan benytte deler av jernbanenettet, og vice-versa) har en lik ytelse, men at t-banen vil medføre høyere kostnader. Dette er fordi det må bygges ut helt ny infrastruktur for t-banen, mens det for trikke-toget vil være mulig å bruke deler av den eksisterende jernbaneinfrastrukturen.



Figur 2-7: «Cost-performance relationship for transit modes.» (Hodgson og Potter, 2010, s. 369)

Vuchic (1981) foreslår at en måte å dele inn ulike urbane transportsystemer på kan være ved å fokusere på ulike karakteristikk. Det å klassifisere systemene basert på selve transportmiddelet (buss, rullende materiell) ikke er tilstrekkelig på grunn av den raske utviklingen av transportmidlene i samfunnet. I stedet foreslås det tre definisjonskriterier: driftstype, teknologi på infrastruktur og kjøretøy og «R/W» eller «ROW». ROW står for «right of way» og beskriver i hvilken grad systemet er integrert eller separert fra resten av trafikkbildet. ROW deles inn i tre kategorier: A, B og C. Kategori A beskriver det typiske

fullt separerte systemet en ser for skinnegående transport. Dette er høykostnad-systemer som krever separate broer, tunneler og stasjoner, men som også er svært effektive og tilbyr høyere hastigheter og stor kapasitet. Delvis separate systemer inngår i kategori B, hvor transportmidlene for det meste kjører i egne traséer, men kan krysse vanlig trafikk i tillegg. Kategori C består av lavkostnad-systemer som kjører i veibanen, og er en del av det ordinære trafikkbildet. Fra C til A øker ikke bare kostnadene, men også ytelsen i form av kapasitet og hastighet. For eksempel er det mindre kostbart å implementere et «kategori-C-buss-system» hvor infrastrukturen ikke trengs å endres, men kapasitet og ytelse er relativt lav, sammenliknet med et signalregulert t-banesystem av kategori A. Basert på disse definisjonene går det an å velge ut et par eksempler fra Norge for å illustrere dette: T-banen i Oslo (kategori A), Bybanen i Bergen (kategori B) og Metrobussen i Trondheim (kategori C). Et eventuelt bytogtilbud i Trondheim vil være en del av jernbaneinfrastrukturen, og vil derfor i likhet med T-banen være av kategori A.

For å systematisere ulike ord, uttrykk og typer transportsystemer foreslår Hodgson og Potter (2010) å innføre et nodalt beslutningstre. Et beslutningstre består av ulike valg, hvor det finnes 2 svar: ja eller nei. Hvert svar forgreiner seg til et nytt spørsmål helt til en havner på bunn av treet og en konklusjon er formet. Beslutningstreet til Hodgson og Potter (2010) er lagt til som Vedlegg 1 i slutten av oppgaven.

Ved å benytte beslutningstreet er det mulig å definere hva et eventuelt bytogtilbud i Trondheim kan klassifiseres som. Som vist i Tabell 2-5 vil et bytog kunne defineres som en form for «Tram-train (OLE)», altså et «Trikke-tog med overhengende kjøreledning». Det som skiller bytogene fra ordinære tog, er altså primært utstrekningen av tilbudet (holder seg innenfor Trøndelag, ikke interregionalt) og passasjerkapasiteten (lavere enn store tog, men høyere enn trikk). Det er derfor også naturlig at det senere i denne oppgaven vil være nettopp rutetilbudet og passasjergrunnlaget som skal undersøkes.

Tabell 2-5: Klassifiseringsprosess for bytog i Trondheim

Karakteristikk	JA	NEI
Interregionalt tilbud	-	X
På skinner	X	-
Erstatning for jernbane (tunge tog)	X	-
Tilpasset gater i by	-	X
Diskret ledesystem (ikke sammenkoblet)	-	X
Kapasitet > 300	-	X
Kapasitet < 100	-	X
Ikke selvforsynt med strøm/drivstoff	X	-

2.3.1 Kapasitet for linje, stasjon og passasjerer

Kapasitet er et mål på hvor stor andel en klarer å fylle eller romme noe. Kapasitetsbegrepet i jernbanesammenheng består av mange deler, og kapasitet på en strekning er forskjellig fra kapasitet på en stasjon. Disse typene kapasitet handler om hvor mange tog som kan kjøre samtidig på en bestemt strekning, uten å bryte sikkerhetskrav til plass, bremselengder og buffertider for forsinkelser. Dette er en teknisk form for jernbanekapasitet som varierer med infrastrukturen rundt. Det er også andre former for «tekniske» kapasiteter som ikke vil bli fokusert på i denne oppgaven, deriblant vendekapasitet som handler om evnen til å kunne snu tog (spesielt nyttig å se på for enkeltspor eller pendellinjer) og hensetningskapasitet som tar for seg hvor tog kan parkere (spesielt på nattetid hvor det er færre tog som er oppe og kjører). For strekningskapasitet og stasjonskapasitet vil viktige parametere inkludert kjørehastighet, tid mellom tog

(togfølgetid), signalsystem og antall spor, samt lengdene på tog, plattformer og spor. Alle disse parameterne er med på å påvirke den samlede kapasiteten både på stasjonene internt, og på lengre strekninger mellom stasjoner. Det er et skille mellom kapasitet for hvor mange tog som kan kjøre i trafikken sammen, og på hvor mange passasjerer togene har mulighet til å transportere. I denne oppgaven er det valgt å kalle denne siste kapasitetstypen for «passasjerkapasitet».

Kapasitet på en strekning kalles strekningskapasitet. Denne kan lettest defineres ved å benytte *International Union of Railways's* krav til praktisk kapasitet (UIC, 2013). Denne er noe mindre enn den teoretiske makskapasiteten, ettersom det er tatt høyde for noe buffertid mellom togene for å forhindre at større forsinkelser forplanter seg. Praktisk kapasitet er vist i Formel 2-2, hvor det er tydelig at den avhenger av antall innkommende tog T , minste togfølgetid t_{smin} og buffertid t_b . Enkelt forklart betyr dette at strekningens kapasitet kommer av forholdet mellom hvor mange tog som kjører på sporet, og hvor lang avstand (i kjøretid) togene trenger mellom hverandre for å opprettholde en sikker avstand.

Formel 2-2: Linjekapasitet etter UIC 406

$$K_{praktisk}[tog/t] = \frac{T [\# tog]}{t_{s,min}[h] + t_b[h]} \quad (\text{Formel 2-2})$$

Utfordringen med å bruke strekningskapasiteten som utgangspunkt for å beregne eksisterende kapasitet og mulig fremtidig kapasitet, er at det ikke er sikkert problemer med avviklingen oppstår langs linjen, men heller starter allerede på stasjonen. Stasjonskapasiteten er ikke like enkel å beregne, fordi en stasjon oftest har flere spor med mange sporveksler og signaler i nærheten. Da burde man benytte spesielle simuleringsverktøy som kan beregne bruksgraden på hver delstrekning av sporet innad på stasjonen. For eksempel kan driftens kvalitet simuleres for en bestemt timetabell og sporlayout, gitt tilfeldige forsinkelser i timetabellen (VIA Consulting & Development, 2019). Disse simuleringene er basert på tre grunnleggende forhold som Landex (2011) beskriver ved hjelp av følgende formuleringer:

1. Stasjonens kompleksitet av sporutforming (basert på hvor mange spor stasjonen har og organiseringen av disse)
2. Driftens kompleksitet (basert på sannsynlighetsberegninger)
3. Stasjonens kompleksitet (basert på sannsynlighetsberegninger)

Landex (2011) sier videre at disse tre metodene å evaluere kompleksiteten på har ulike styrker og svakheter. Hvis det er ukjent hvor mange tog som ankommer stasjonen, kan kompleksiteten av sporutformingen gi en viss forståelse av hvor mange tog stasjonen har kapasitet til (Se Formel 2-3). Dersom timetabellen er kjent, kan kompleksitet av drift ved sannsynlighetsberegninger bygge videre på dette. Da medregnes antallet tog, og dersom det ikke er noe særlig trafikk på tidligere antatte problematiske ruter, fremkommer det da at det ikke vil påvirke kapasiteten noe særlig likevel. Til sist, ved å inkludere minste togfølgetid, kan man beregne kompleksiteten til stasjonen ved sannsynlighetsberegninger. Dette er den mest nøyaktige metoden, men er også den som krever mest datagrunnlag. Det er derfor naturlig å benytte den enkleste metoden fra Formel 2-3 i startfasen av et prosjekt, og heller forbedre estimatet etter hvert som mer data blir tilgjengelig.

Formel 2-3: Kompleksitet av stasjon ved sporutforming

$$\text{kompleksitet}_{\text{stasjonsutforming}} = \varphi_n = \frac{n_k}{n_\Sigma} \quad (\text{Formel 2-3})$$

n_k = antall kombinasjoner der to tog ikke kan kjøre samtidig

n_Σ = antall kombinasjoner der to tog kan kjøre etter hverandre

Dagens rutetilbud og togmateriell på Trønderbanen

Dagens rutetilbud på Trønderbanen består av en timespendel mellom Steinkjer og Lundamo/Melhus, halvtimespendel mellom Steinkjer-Lerkendal, tre avganger om dagen fra Trondheim S til Røros, i tillegg til en avgang fra Oppdal til Trondheim på morgenen og fra Trondheim til Støren på ettermiddagen. Utenom dette kommer fjerntogene fra Nordlandsbanen og Dovrebanen (Bane NOR, 2019b).

Planlegging av et togtilbud er ikke bare avhengig av jernbanetraséen og andre ytre faktorer, men også selve togmateriellet som skal kjøre. For å kunne evaluere om det finnes tilstrekkelig passasjergrunnlag for et togtilbud må passasjerkapasiteten på togene også undersøkes. Passasjerkapasitet handler først og fremst om avgangsfrekvens og størrelse på togene. Togene har et begrenset antall sitteplasser og ståplasser, men en høy avgangsfrekvens vil kunne øke kapasiteten totalt. For eksempel er det stor forskjell på en frekvens på 1 tog/time med 200 plasser og 6 tog/timen med 100 plasser per tog. Selvsagt har det ene toget høyere passasjerkapasitet enn de seks togene hver for seg, men samlet sett vil høyfrekvenstilbudet kunne tilby hele 600 plasser i timen kontra 200 plasser.

På Trønderbanen i dag kjøres lokaltogene med ulike togmateriell: Type 92 og 93. De tekniske spesifikasjonene er beskrevet i Tabell 2-6, hvor det blant annet fremkommer at togene i dag kjører på diesel. Planene fremover er å elektrifisere mer av jernbanen i Norge, og en ny type bimodale tog skal innføres på Trønderbanen (Fard og Tekna Jernbane, 2020; Jernbanedirektoratet, 2018). Bimodal betyr «å ha to moduser», altså at togene skal kunne kjøre på både elektrisitet og diesel. Trønderbanen knytter den elektrifiserte Dovrebanen i sør sammen med den dieseldrevne Nordlandsbanen i nord, og dette er derfor ett steg nærmere målet om elektrifisering av jernbanen. I Tabell 2-6 ser en også at de nye bimodale togene, Type 76 på 112,7 m, er vesentlig lengre enn dagens type 92 og 93 på henholdsvis 49,95 m og 38,21 m. Dagens tog har dessuten mellom 87 og 145 sitteplasser, mens det nye toget kan forventes å ha et nært doblet antall plasser da det likner type 74 og 75 som i dag er i bruk som lokaltog på Østlandet (Fard og Tekna Jernbane, 2020; Norske tog, 2019b; 2019a). Ved en eventuell overgangsperiode fra dagens rutetilbud til et bytogtilbud, kan det være aktuelt å benytte de eldre Type 92 og 93-togene til øvrige bytog imens Type 76 rulles ut for de planlagte lokaltogpendlene.

Tabell 2-6: Tekniske spesifikasjoner for tog på Trønderbanen

	Type 76	Type 92	Type 93
Lengde	112,7 m	49,45 m	38,21 m
Trekraftsystem	Diesel og elektrisk	Diesel	Diesel
Sitteplasser	-	143/145	87
Ståplasser	-	80 (4 stk pr m ²)	39 (2 stk pr m ²)

Enkeltspor, dobbeltspor og ERTMS

I dag er i underkant av 7% av det offentlige jernbanenettet i Norge dobbeltspor (Bane NOR, 2019a). I følge Jernbanedirektoratets kapasitetshåndbok (Nielsen, 2017), burde det

bygges dobbeltspor dersom summen av tog i hver retning på et enkeltspor overstiger 4 tog i timen. Dette vil altså si at mesteparten av jernbanen i Norge aldri vil kunne ha en avgangsfrekvens høyere enn 4 tog i timen. Dette kan ikke konkurrere med verken det eksisterende busstilbudet i Trondheim, Bybanen i Bergen eller T-banen i Oslo, som alle har muligheter for høyere avgangsfrekvens.

På enkeltsporede strekninger må signalsystemet fungere optimalt for å sikre effektive togkryssinger samtidig som sikkerhetskravene overholdes. Når et tog skal krysse på en enkeltsporet strekning, er det normalt slik at det legges inn et kryssingsopphold på omtrent 3 minutter på stasjonen. Dette betyr at når tog nr.1 ankommer en stasjon, så må det gå minst 3 minutter før neste tog kan ankomme. Dette er fordi det ikke kan være to tog i bevegelse ved stasjonen samtidig. Dette kalles også for kryssingstap, hvor man summerer akselerasjonstap, retardasjonstap, oppholdstid og tid brukt på passasjerutveksling på stasjon. Passasjerutveksling opptar 1-1,5 minutter av disse 3 minuttene (Nielsen, 2017). De siste 2 minuttene kan «spares inn» ved å fornye signalsystemet, og legge til rette for «samtidig innkjør». Samtidig innkjør betyr at flere tog kan kjøre inn på en stasjon samtidig fra begge sider, og dermed kan effektivisere togfremføringen og ta igjen eventuelle forsinkelser i trafikken.

Bane NOR planlegger per 2020 en storstilt utbygging og fornyelse av signalsystemene på jernbanen i Norge. Dagens teknologi begynner å bli utdatert, og derfor skal European Rail Traffic Management System, eller «ERTMS», bli den nye standarden i jernbane-Norge. Dette muliggjør en økt kapasitet på jernbanen på sikt, og øker både sikkerheten og punktligheten betraktelig (Otterholt 2019). Dagens signalanlegg er bygget opp av utvendige lyssignaler. Disse settes opp langs jernbanen og gir togføreren visuell informasjon om kjøretillatelse. ERTMS trenger ikke disse lyssignalene, men benytter i stedet jernbanens mobilnett for å sende av gårde signalinformasjon direkte til togførerens førerpanel. Et slikt databasert system vil kunne gi en mer robust og stabil jernbane, hvor sannsynligheten for menneskelige feil reduseres. I fremtiden skal ERTMS erstatte alle nasjonale signalanlegg i Europa, noe som vil legge til rette for en mer effektiv og raskere togfremføring over landegrensene (Otterholt 2019).

2.4 Skinnefaktor, etterspørsel og elasticitet i transportmarkedet

Forskningsspørsmål 4: *Hvordan vil en endring i togtilbudet i og rundt Trondheim kunne påvirke etterspørselen?*

Skinnegående kollektivtransport er åpenbart mer kostbart å bygge ut enn busstransport, ettersom det må legges skinner og strømkabler og dessuten ofte er lagt opp som et helt eller delvis separatsystem hvor de kjører i egen trasé. Så hvorfor vil en da i det hele tatt satse på skinner? Ifølge Norheim og Kjørstad (2009) er det nettopp her at kjernen i diskusjonen kommer frem. Kan fordelene ved skinnegående transport virkelig forsvare merkostnadene? Finnes det en såkalt «*skinnefaktor*»?

«Skinnefaktor» er ifølge Stangeby og Norheim (1995) definert som de egenskapene ved skinnegående transport som gjør at reisende velger dette fremfor et identisk busstilbud. Det vil altså si at det er andre faktorer enn reisetid, antall avganger og billettpriser som påvirker de reisendes transportmiddelvalg. I Tabell 2-7 oppsummeres det hvor stor andel av Oslo-trafikantene i 1994 som sier de ville valgt buss over skinnegående transport (Stangeby og Norheim, 1995). Det er viktig å merke seg at studien er over 20 år gammel og ikke kan sammenliknes med dagens kollektivtilbud i Oslo. I 1994 var for eksempel

Sognsvannbanen nylig blitt bygget om året før fra å ha et overhengende elektrisk anlegg slik som de andre T-banene vest i Oslo, til strømskinner slik som på østsiden. Det ble da den første gjennomgående T-banelinjen mellom vest og øst, og starten på et mer sammensatt og tilgjengelig banenett (Sporveien AS, u.å.). Resultatene fra 1995-studien gir likevel høyst interessante resultater for den tids kollektivtilbud. Her er det en tydelig tendens til å velge skinnegående transport, især tog over buss, når reisetiden øker. Ved en reise på 40 minutter med sitteplass er det kun 22% og 21% av Oslo-trafikanter som ville valgt buss i stedet for henholdsvis trikk og tog. For reiser på 40 minutter uten sitteplass endres de respektive andelene til 45% og 15%. T-banens konkurransekraft er ikke like stor som toget, og prosentandelene som ville valgt buss i stedet ligger over 50%. Dette er uansett reiselengde og tilgang på sitteplass, noe som tyder på at busstilbudet på denne tiden var bedre i de områdene hvor T-banen gikk. Dette gir grunn til å tro at det kan være noe som gjør skinner mer attraktivt for de reisende.

Tabell 2-7: «Personer som vil velge buss i konkurranse med andre kollektive transportmidler, etter transportmiddel, reiselengde, sitteplass eller ståplass. Prosent. Modell-beregning basert på Oslo-trafikanterens preferanser. Kilde Norheim 1994» (Stangeby og Norheim, 1995, s. 91)

Standard	Andel som vil velge buss på en reise som er		
	5 minutter	20 minutter	40 minutter
<i>Sitteplass hele vegen</i>			
Buss vs. trikk	39	31	22
Buss vs. T-bane	51	54	57
Buss vs. tog	30	26	21
<i>Ståplass hele vegen</i>			
Buss vs. trikk	42	43	45
Buss vs. T-bane	51	56	62
Buss vs. tog	24	22	15

Hvorvidt det finnes en skinnfaktor som påvirker valget av reisemiddel er som sagt omdiskutert, men det er blitt undersøkt i flere norske og utenlandske studier. En sammenfattende litteraturstudie kalt «Skinnebonus» utført for SINTEF i 2002, konkluderer med at det faktisk er klare tegn på at den eksisterer (Tørset og Meland, 2002). Samlet sett later det til at det er egenskaper ved skinnegående transport som gjør denne mer attraktiv enn buss, og at disse egenskapene ser ut til å relateres til reisekomfort. Ulike skinnegående transportmidler vil ha ulike komfortegenskaper, og det er forskjeller i verdsettingen for disse egenskapene i de ulike markedssegmentene. Resultatene fra litteraturstudien er presentert i Tabell 2-8. Noen interessante observasjoner er at det kan virke som om byer med skinnegående transporttilbud har en høyere kollektivandel enn andre byer. I tillegg later det til at reisende vil velge skinnegående transport over buss, selv om reisetiden er lengre og sittekomforten noenlunde lik. Skinnefaktoren ser altså ut til å være vanskelig å bestemme opphavet til, men flere av studiene estimerer verdier på denne basert på hvor mye de reisende er villige til å betale ekstra (i kroner eller i reisetidsverdi), sammenliknet med et nært identisk busstilbud.

I en nyere studie fra 2019 har ulike reisemidlers tidsverdi til/fra arbeid (under 70 km) blitt dokumentert og beregnet, noe som resulterer i verdiene i Tabell 2-9 (Lunke og Fearnley, 2019). En bussreise er her estimert til å være verdt 83 kr/time, en reise med tog 82 kr/time

og en reise med T-bane/trikk/bybane 85 kr/time. I forhold til tidsverdien for en bilreise/reise som bilpassasjer på henholdsvis 76 og 68 kr/time, ser man at det likevel fortsatt er bilen som er mest attraktiv. Terskelen for å gå eller ta sykkel til jobb er vesentlig høyere, noe som nok ikke bare er på grunn av reiseavstanden mellom hjem og jobb, men også sannsynligvis er knyttet til reisekomfort.

Tabell 2-8: «Sammenstilling av konklusjoner fra de gjennomgåtte rapportene» (Tørset og Meland, 2002, s. 21)

Rapport	Konklusjon vedr. skinnefaktor
VINNOVA, Stockholm, 1999	Ikke entydig for alle markedssegment, men menn og høyinntektsgrupper foretrekker skinnegående transportmidler
Sheffield supertram	Rapporten påviser ikke skinnefaktor og er ikke kommentert i rapporten. Hovedgrunnen for skifte av transportmiddel var standardfaktorer.
Skovdal, litteraturstudie	Skovdal definerer skinnefaktoren som en overgangsfaktor og konkluderer med at byer med skinnegående transporttilbud har høyere kollektivandel.
Axhausen, Dresden, 1998	Skinnefaktoren er knyttet til reisetiden. Tid brukt på skinnegående transportmiddel gir litt mindre ulempe enn tid brukt på buss.
KFB, Stockholm, 1998	Skinnefaktoren er en abstrakt verdi utover reisemidlenes reelle egenskaper.
KTH, Blekinge	Studien konkluderer med at folk foretrakk tog framfor buss selv om standardfaktorene var like og sittekomforten også var noenlunde lik. Dette kan tyde på at det finnes en skinnefaktor, men denne er ikke kvantifisert i rapporten.
TØI, Oslo, 1992	Rapporten presenterer en tabell, den samme som tabell 2 i dette notatet, hvor betalingsvilje for å få reise med angitt transportmiddel i stedet for buss var oppgitt. Gjennomsnittet var uvektet for tre separate spill. For å få trikk i stedet for buss kunne man betale 1 krone. For bane 60 øre, men det resultatet var ikke signifikant. For tog spriker verdiene 1,40 til 3,20 kroner, med gjennomsnitt på 2,30 kroner.
Widlert, Stockholm 1992	Valget sto mellom tog og buss. Tog var foretrukket av flertallet dersom reisetiden var lik og selv om toget brukte 20% lenger tid, ville en god del fortsatt foretrekke tog.
TØI, Gardermoen 1991	Tid ombord i tog ble oppfattet som en mindre ulempe enn i buss. Forretningsreisende kunne betalt 20-80 kroner for å få reise med tog framfor buss.
TØI tog/ekspresbuss 1991	Tog konkurrerer ut ekspresbuss. På kortere reiser har buss noen markedsandeler og andre avgangstidspunkt kan gjøre at buss for enkelte passer bedre enn tog.
Eifraimsson, litt. studie	Studien konkluderer med at skinnegående trafikk attraherer flere passasjerer enn buss og anslår skinnefaktoren til å være på 1,0-1,1 for Oslo.
Ahlstrand, Stockholm 1983	55 % av de intervjuede trivdes best på buss. Medianpersonen ville valgt buss selv om reisen tok 8 minutter lengre tid eller var 50 øre dyrere (i 81 SKR).

Tabell 2-9: «Tidsverdier for reiser til/fra arbeid under 70 km. Basert på Flügel mfl. (2019) (kroner per time, 2018).» (Lunke og Fearnley, 2019, s. 2)

Transportmiddel	Tidsverdi, kr/time
Bilfører	76
Bilpassasjer	68
Buss	83
Tog	82
T-bane/trikk/bybane	85
Sykkel	115
Gående	258

Generelt sett handler betalingsvilligheten for en tjeneste eller vare om hvor mye kjøperen er villig til å gi for å tilegne seg den. Det er nettopp dette som legger grunnlaget for etterspørsel i et marked, og sådan også etterspørselsfunksjonen (Andresen og Nilsen, 2020). Etterspørselen etter en vare eller tjeneste henger sammen ved tilbudet som finnes for den bestemte varen eller tjenesten. I et enkelt system vil forholdet mellom etterspurt mengde og varens pris resultere i en synkende etterspørselskurve, ettersom en økt mengde produsert vare vil senke prisen per vare (Stoltz og Andresen, 2014). Videre forklarer Stoltz og Andersen at etterspørsel også vil kunne variere med andre faktorer enn varens egen pris, ettersom det i markedet sannsynligvis finnes tilsvarende varer som kan erstatte denne. Prisen på erstatningene eller supplementene vil påvirke hvorvidt en velger å kjøpe varen i det hele tatt, da kjøperens egen inntekt og preferanser også spiller inn. For å bedre forstå sammenhengene mellom disse faktorene kan en sette opp etterspørselsfunksjoner og etterspørselselastisiteter. Elastisitet er en betegnelse på hvordan etterspørsel vil endre seg prosentvis og «reagere» på en 1 prosents endring i inntekt eller pris (Andresen, 2014).

Etterspørselen etter kollektivtransport vil variere med faktorer slik som avgangsfrekvens, reiselengde og reisetid for reisemiddelet og andre konkurrerende reisemidler. Dette kan konkretiseres ved hjelp av matematiske uttrykk i form av «*generaliserte kostnader*». Generaliserte kostnader, «*GK*», betegner summen av de relevante kostnadskomponentene som inngår i beslutningen om å reise (Odeck, 2014). Her inngår for eksempel bompenger, billettpriser, tidskostnader og operasjonelle kostnader slik som drivstoff. Av disse kostnadene er tidskostnader spesielt interessant, da det i dette ikke bare handler om eksterne kostnader, men også den reisendes egen verdsetting av tid. Dette kalles «*generalisert reisetid*», eller «*GT*». For det er slik at de ulike delene av en reise vil oppleves forskjellig og tilegnes ulik verdi. Hvorvidt en del av reisen oppfattes som belastende vil påvirke hvilket reisemiddel som benyttes til fordel for et annet. For eksempel vil det være vesentlig mer belastende å kjøre i tett kø enn ved fri trafikkflyt. Tilsvarende for kollektivtransport så vil trengsel på bussen eller toget oppleves som mer belastende enn om det er god plass. Andre deler av kollektivreisen som vil kunne gi utslag for GT blant annet tiden brukt på å bytte mellom reisemiddel og ventetid på holdeplassen (Østli, Halse og Killi, 2015). Gitt at de andre komponentene i GK for en kollektivreise holdes konstante (billettpris for eksempel), så vil det være summen av GT som bestemmer hvorvidt den reisende velger å ta bussen i stedet for toget. Fra Lunke og Fearnley (2019) inngår følgende komponenter i GT, som vist i Formel 2-4.

Formel 2-4: Komponenter for å beregne generalisert reisetid (GT)

$$\begin{aligned}
 GT = & (\text{gangtid til holdeplass} * \text{vekt}) + (\text{ventetid på holdeplass} * \text{vekt}) & \text{(Formel 2-4)} \\
 & + (\text{reisetid om bord med sitteplass og uten trengsel}) \\
 & + (\text{reisetid om bord uten sitteplass og med trengsel} * \text{vekt}) \\
 & + (\text{antall bytter} * \text{bytteulempe}) \\
 & + (\text{gangtid fra holdeplass til destinasjon} * \text{vekt})
 \end{aligned}$$

For å undersøke alle måtene en kan forbedre et reisetilbud på, vil det være nødvendig å ta for seg hvert av leddene i formelen og utføre en parameterstudie. Slik kan man bestemme elastisiteten for hvert ledd, altså hvor mye en endring av leddet vil påvirke hele etterspørselsfunksjonen. For eksempel vil en endring i rutetilbudet til toget i Trondheimsområdet i form av frekvensøkning og lokalisering av holdeplasser langs toglinjen, kunne ha stor påvirkning på GT. Ved å øke frekvensen på antall avganger reduseres ventetiden på holdeplass, som vist i Formel 2-5 og påfølgende eksempel.

Ventetid beregnes altså ved å se på hvor lenge det er mellom to etterfølgende avganger og dele denne tiden i to for å finne et gjennomsnitt, gitt en uniform avgangsfordeling i løpet av døgnet (Oslo Economics, 2016). En eventuell relokalisering av holdeplasser kan føre til at toget i større grad stopper der hvor folk bor og arbeider, og dermed senke gangtiden til holdeplass for flest mulig.

Formel 2-5: Formel for beregning av ventetid på holdeplass for to etterfølgende togavganger

$$\text{ventetid på holdeplass} = \frac{(\text{ankomsttid for tog nr.2} - \text{ankomsttid for tog nr.1})}{2} \quad (\text{Formel 2-5})$$

Eksempel: avgangstiden for tog nr.2 er satt til 30 min etter tog nr.1

$$\text{ventetid}_{\text{FØR}} = \frac{\text{kl.8:30} - \text{kl.8:00}}{2} = 15 \text{ minutter}$$

Ender avgangstiden for tog nr.2 til å ankomme 20 min etter tog nr.1

$$\text{ventetid}_{\text{ETTER}} = \frac{\text{kl.8:20} - \text{kl.8:00}}{2} = 10 \text{ minutter}$$

Når ventetiden mellom avgangene blir kortere og kortere vil en til slutt nå en terskelverdi hvor de reisende ikke lenger sjekker når neste avgang er, men bare møter opp. Dette kalles «*rullende fortau*» og forutsetter en avgang minst hvert 7,5 minutt. Med et minkende behov for å planlegge hvilken avgang en skal rekke blir de reisende mer motiverte til å velge kollektivt, og opp til 20% flere vil velge å ta kollektivtransport enn dersom frekvensen hadde vært lavere (Lunke og Fearnley, 2019).

Oslo Economics (2016) sin rapport «Beregning av elastisiteter for togreiser» viser forskjellene i beregnet ventetidselastisitet fra tre norske studier. Alle verdiene i Tabell 2-10 er sitert direkte fra Oslo Economics (2016), og betegner forventet økning i etterspørsel i %, ved en 1%-økning i avgangsfrekvensen. Studiene til Hamre fra 2002 og Rekdal fra 2006 kommer frem med tre ulike verdier hver, fordelt på reisehensiktene «Fritid», «Forretning» og «Alle». I disse studiene ble antallet avganger brukt som varierende faktor for å undersøke endring i etterspørsel etter togreiser. Som en ser i Tabell 2-10 ser det ut til å være lite spredning blant disse verdiene, med laveste på 0,29 og høyeste på 0,41. Dette påpekes å være iøynefallende med hensyn til øvrig litteratur (Oslo Economics, 2016). Studien til Vibe et al. fra 2005 har derimot variert antallet vognkilometer i stedet for avgangsfrekvens for å se hvordan etterspørselen endres. Her er ikke reisehensikten det som skiller de to verdiene, men hvorvidt verdiene er beregnet på kortsiktig eller langsiktig respons i transportmarkedet. Disse verdiene spriker litt mer, med en mer følsom etterspørsel på lang sikt. Ifølge Oslo Economics (2016) er dette å være et forventet resultat, grunnet usikkerheter for estimater lenger frem i tid.

Tabell 2-10: «Elastisiteter med hensyn til endringer i avgangsfrekvens og skjult ventetid – norske studier» (Oslo Economics, 2016, s. 21)

Referanse	Kort/lang sikt	Reisehensikt	Avstand	Estimat
Hamre (2002)	Middels	Alle	>100 km	0,31
Hamre (2002)	Middels	Fritid	>100 km	0,29
Hamre (2002)	Middels	Forretning	>100 km	0,39
Rekdal (2006)	Middels	Alle	>100 km	0,34
Rekdal (2006)	Middels	Fritid	>100 km	0,32
Rekdal (2006)	Middels	Forretning	>100 km	0,41
Vibe et al (2005)	Kort	Alle	Byområder	0,20
Vibe et al (2005)	Lang	Alle	Byområder	0,43

Videre i rapporten til Oslo Economics (2016) har det blitt prøvd estimert elastisitetsverdier for togreiser i Nord- og Midt-Norge. Men av de fire estimerte verdiene er det kun ventetidselastisiteten fra den ene modellen (D) som gir et estimat som er forskjellig fra null, på et 5%-signifikansnivå. Denne verdien er på $-0,204^1$, og indikerer at etterspørselen ser ut til å inneha en lav følsomhet for endringer i togtilbudet. Altså betyr det at en økning på 10% i avgangsfrekvens vil føre til en 2% økning i etterspørselen. Denne verdien kan være lav fordi det var et nokså mangelfullt datagrunnlag, så rapporten klarte heller ikke å estimere elastisiteten for GT på grunn av det. Hamre (2002) har estimert verdier for elastisitet grunnet økt reisetid, og som en kan se i Tabell 2-11 ligger disse verdiene på mellom $-0,37$ og $-0,65$, noe som tilsier en større følsomhet enn ved frekvensøkning.

Tabell 2-11: Ulike elastisiteter for varierende faktorer: frekvens og reisetid

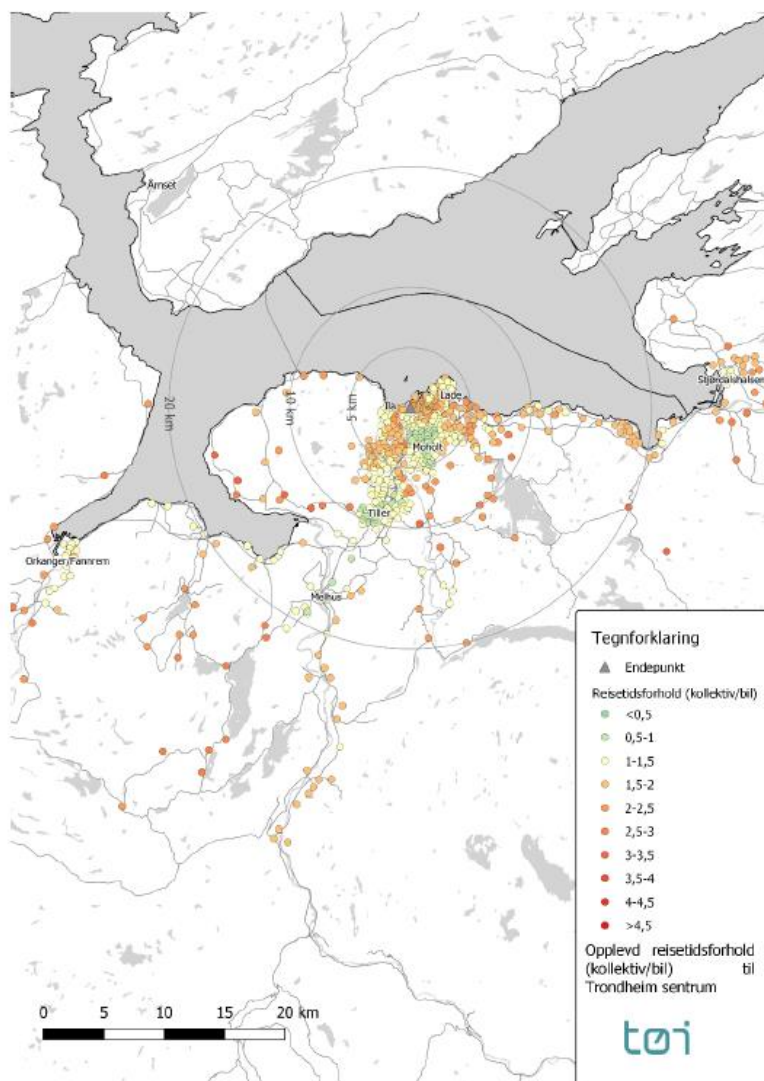
Referanse	Variierende faktor	Reisehensikt	Område	Estimat
(Oslo Economics, 2016)	Frekvens	Alle	Nord- og Midt-Norge	$-0,204^1$
Hamre (2002)	Reisetid	Alle	Hele Norge	$-0,403$
Hamre (2002)	Reisetid	Fritid	Hele Norge	$-0,366$
Hamre (2002)	Reisetid	Forretning	Hele Norge	$-0,651$

2.4.1 Reisetidsforholdet mellom bil og tog

En annen måte å illustrere kollektivtilbudets konkurransedyktighet på er ved å undersøke reisetidsforholdet mellom bil- og kollektivtransport. Jo større reisetidsforholdet er, jo mindre attraktivt vil tilbudet være. I TØIs rapport om generalisert reisetid presenterer Lunke og Fearnley (2019) blant annet et kart, vist i Figur 2-8, hvor GT for kollektivt (GT_{koll}) deles på GT for bil (GT_{bil}) for reiser til Trondheim sentrum. Et forholdstall på 1 tilsier at den opplevde reisetiden er lik for kollektivtransport og bil, mens et forholdstall >1 tilsier at kollektivt bruker lenger tid sammenliknet med biltransport. I Figur 2-8 vises dette med henholdsvis gule og oransje/røde punkter. Forholdstall på <1 vises med grønt. Som en ser av figuren er det områder sør for sentrum og på Tiller og Melhus som har gunstige kollektivtilbud. Her er punktene grønne, noe som gjør kollektivtransport konkurransedyktig med tanke på reisetid. Lunke og Fearnley (2019) forklarer de relativt gunstige forholdene med at Trondheim er en forholdsvis kompakt by, og at reisestrekningene er ganske korte sammenliknet med de andre byene i studien. Kollektivreisene blir derfor enklere, og da også til en viss grad konkurransedyktige med biltransport. Den klare kollektivaksen fra sentrum via Tiller og til Melhus (sammenfaller med den tidligere nevnte Kollektivbuen) viser at tilbudet også er konkurransedyktig for pendlere langs aksene, og de gule punktene på veien mot og rundt Orkanger/Fannrem viser at det er fungerende kollektivtilbud her også.

Akkurat hva som er grenseverdien for reisetidsforholdet mellom bil og offentlig transport vil variere fra by til by og med innbyggernes reisevaner. Hitge og Vanderschuren (2015) og Sun et al. (2018) opererer med forholdstallet 1,5 som øvre akseptable grenseverdi i sine respektive studier. Forholdstall over 1,5 medfører at kollektivtransportens konkurransedyktighet blir så lav at den ikke lenger er attraktiv for de reisende.

¹ Legg merke til at det er angitt motsatt fortegn sammenliknet med resultatene i Tabell 2-10, dette er kun fordi det er lagt til grunn reduksjon av frekvens i stedet for økning i studien.



Figur 2-8: «Forholdet mellom GT_{koll} og GT_{bil} på reiser til Trondheim sentrum.» (Lunke og Fearnley, 2019, s. 43)

Gitt at skinnefaktoren eksisterer, virker det altså som om et skinnegående kollektivtilbud vil inneha en høyere andel reisende enn et tilsvarende busstilbud, dersom reisetidsforholdet holdes under 1,5. Dette er i tråd med Nullvekstmålet, fordi det legger opp til en høyere kollektivandel som kan være med på få folk til å la bilen stå. Med den forventede befolkningsøkningen i Trondheimsområdet mot 2050 er det viktig å ha stor nok kapasitet på kollektivnettet, for at så mange som mulig skal kunne reise kollektivt uten å oppleve konstant trengsel, kø eller andre former for ulemper. Elastisiteten i transportmarkedet vil sannsynligvis føre til at flere velger tog over buss dersom frekvensen øker og reisetiden minker, men det er kanskje mulig at det med en tilstrekkelig befolkningsvekst vil være nok passasjerer til å betjene begge transporttilbudene. Kollektivnettet i Trondheim per 2019 har lovende tendenser til god tilgjengelighet for pendlere, og det finnes allerede områder langs kollektivaksen sør for sentrum hvor kollektiv konkurrerer med bil på reisetid.

3 Metode

I dette delkapittelet vil jeg presentere og gjennomgå metodikken bak masteroppgaven, og sortere denne etter det forskningsspørsmålet som skal besvares. En vurdering som gjøres når man velger forskningsmetode er hvorvidt den skal være kvalitativ eller kvantitativ. Generelt sett egner kvalitative metoder seg godt når temaet en ønsker å undersøke ikke er direkte forskningsbasert, men kanskje er mer erfaringsbasert og går i dybden på et tema. Dette kan være å holde intervjuer eller spørreundersøkelser, samt å målrettet søke opp faglitteratur. Kvantitative metoder tar heller for seg temaer som er kvantifiserbare, slik som tall og statistikk. Dette egner seg godt for ulike beregninger og analyser på geografiske data, og gir et breddeperspektiv (Andersen, 2019). Det som er viktigst er at metoden tilpasses det forskningstemaet som undersøkes og bidrar til å gi et nyansert og reflektert resultat. Metodene som er benyttet i oppgaven er en blanding av kvantitative og kvalitative metoder, hvor hver enkelt fremgangsmåte er valgt for å best mulig besvare det tilhørende forskningsspørsmålet.

3.1 Litteraturstudie

Forskningsspørsmål 1: *Hvordan er mulighetene for et bytog i Trondheim, basert på tidligere, nåværende og fremtidige planer, utredninger og fremtidsutsikter for jernbanen og generell transport- og arealutvikling i og rundt Trondheim?*

For å besvare Forskningsspørsmål 1 har jeg gjort noen litteratursøk. Dette inkluderer Byutredningene for Trondheim og utredning om dobbeltspor Trondheim-Stjørdal, samt flere rapporter og oppdrag fra blant annet TØI, Urbanet Analyse, Trondheim kommune og Trøndelag fylkeskommune. Høsten 2019 ble det gjennomført to møter med fagpersoner i tilknytning til prosjektoppgaven. Det første møtet var med Tor Nicolaisen fra Jernbanedirektoratet, og det andre var med Jofrid Burheim, Esther Balvers, Elise Nordskog og Zsuzsanna Olofsson fra Trondheim Kommune. Gjennom en åpen diskusjon og drøfting rundt en liknende, men mer åpen problemstilling enn denne, ble det utarbeidet en litteraturliste over dokumenter som ble sett på som viktige å gjennomgå. Dette var for å få en oversikt over hva som er gjort før i sammenheng med jernbane, bybane og bytog i Trondheim. Litteraturlisten inkluderte planer og utredninger som er gjort for generell samordnet transport- og arealplanlegging i kommunen og i regionen, hvilke planer og utredninger som gjennomføres i dag og hvilke som var planlagt i nær fremtid. Dette var en kvalitativ vurdering fra fagfolk, og var derfor bedømt til å være tilstrekkelig som utgangspunkt for det litteraturstudiet som forgikk i høst. I løpet av vårsemesteret 2020 har dokumentene blitt gjennomgått på nytt, i tillegg til at min veileder Yngve Frøyen har kommet med enda flere relevante rapporter og lesestoff.

De andre forskningsspørsmålene er av en mer teoretisk art, og for å finne relevant litteratur på disse emnene er det gjort målrettede søk på NTNU Universitetsbibliotekets litteratursøkstjeneste Oria. Søkeordene som er benyttet er blant annet ulike kombinasjoner av: «tram», «train», «railway», «light rail», «metro», «urban», «city», «transportation», «planning», «network», «capacity», «market elasticity» og «travel ratio». Ut ifra de resulterende trefflistene og titlene ble det valgt å ta med enkelte artikler som var nyttige å ha med som teorigrunnlag. Den vitenskapelige litteraturen som ble valgt å gå videre med er opplistet i litteraturlisten sammen med øvrig litteratur.

3.2 Nettverksanalyser

Forskningsspørsmål 2: *Hvor mange har god tilgjengelighet til holdeplasser langs jernbanen i dag og i 2050, i og rundt Trondheim?*

Vurderinger rundt et behov for et forbedret togtilbud i og rundt Trondheim er nært knyttet til passasjergrunnet. Hvis det er mulig å se for seg mange brukere i dag og i fremtiden, kan det være at nytteverdien av et slikt tiltak er betydelig. Derfor er det i Forskningsspørsmål 2 lagt opp til å undersøke tilgjengeligheten rundt holdeplassene langs jernbanen. Det skal undersøkes hvor mange innbyggere og sysselsatte som befinner seg innen en 20 minutters gangavstand til en av holdeplassene mellom Stjørdal og Melhus. Dette beregnes for dagens befolkningsgrunnlag og for befolkningsframskrivingene mot 2050. Som utgangspunkt for dette brukes dagens holdeplasstruktur, men det skal også undersøkes hvor gunstig denne er og om noen holdeplasser kanskje burde flyttes på.

Metoden som er benyttet for å svare på dette er nettverksanalyser. Ved å analysere befolknings- og sysselsettingsdata er det mulig å undersøke det potensielle passasjergrunnet i dag. Datasett over vegnett, gangnett og jernbanenett danner grunnlaget for et transportnett som kan ses i sammenheng med innbyggerne i Trondheimsområdet. Ved å koble punktdata for befolkning og sysselsatte sammen med et ønsket nettverk, kan man utføre ulike nettverksanalyser som kvantifiserer tilgjengelighetsgraden til punktene i lys av et bestemt reisemiddel.

Ulike aspekter rundt reisetid, tilgjengelighet og potensiale til passasjergrunnet skal undersøkes ved hjelp av ulike beregninger i programvaren ArcMap 10.7, gjennom verktøyet «Network Analyst». Det er primært to typer nettverksanalyser som vil bli gjennomført; kostnadsmatriser og nedslagsfelt for service. Disse vil bli gjennomgått i detalj senere i kapittelet.

Utfordringer knyttet til denne type analyse handler stort sett om nettverkdataenes fullstendighet og utstrekning. Det har dukket opp flere feilmeldinger knyttet til at deler av nettverket ikke er mulig å forflytte seg på, eller ikke er korrekt tilknyttet resten av nettverket. Dette gjør at ulike punktdatasett som prøver å koble seg på dette nettverket ikke får det til. For å ordne opp i problemet er nettverket enten blitt manuelt editert og gjort fullstendig, eller så har enkelte holdeplasser måtte bli flyttet et par meter langs jernbanetraséen. Det er for at den skulle kunne koble seg på nettverket på en riktig måte og kunne gi resultater. Dette ble gjort ved å undersøke det faktiske vegnettet ved hjelp av Finn kart og tilhørende ortofoto, slik at nettverket i størst mulig grad likner det eksisterende vegnettet.

Datasett: opphav og bearbeidelse

Datasettene som benyttes i nettverksanalysene er presentert i Tabell 3-1 med tilhørende informasjon om datatype og dataeier.

Tabell 3-1: Oversikt over datasett benyttet i nettverksanalysene

Datasett	År	Datatype	Dataeier/ opphavsrett
Befolkning	2017	Punktraster	SSB, aggregert til rutenett ved IAP - NTNU
Bedrifter, sysselsetting	2018	Punktraster	SSB, aggregert til rutenett ved IAP - NTNU
Sykkelvegnett	2018	Nettverk	Statens vegvesen, NVDB og OSM
Bilvegnett, Elveg	2019	Nettverk	Statens vegvesen, NVDB
Jernbanelinje og stopp, FKB-Bane	2020	Punkt og linje	Kartverket v/Geovekst
Bakgrunnskart, Topografisk norgeskart	2020	WMS	Kartverket v/Geovekst

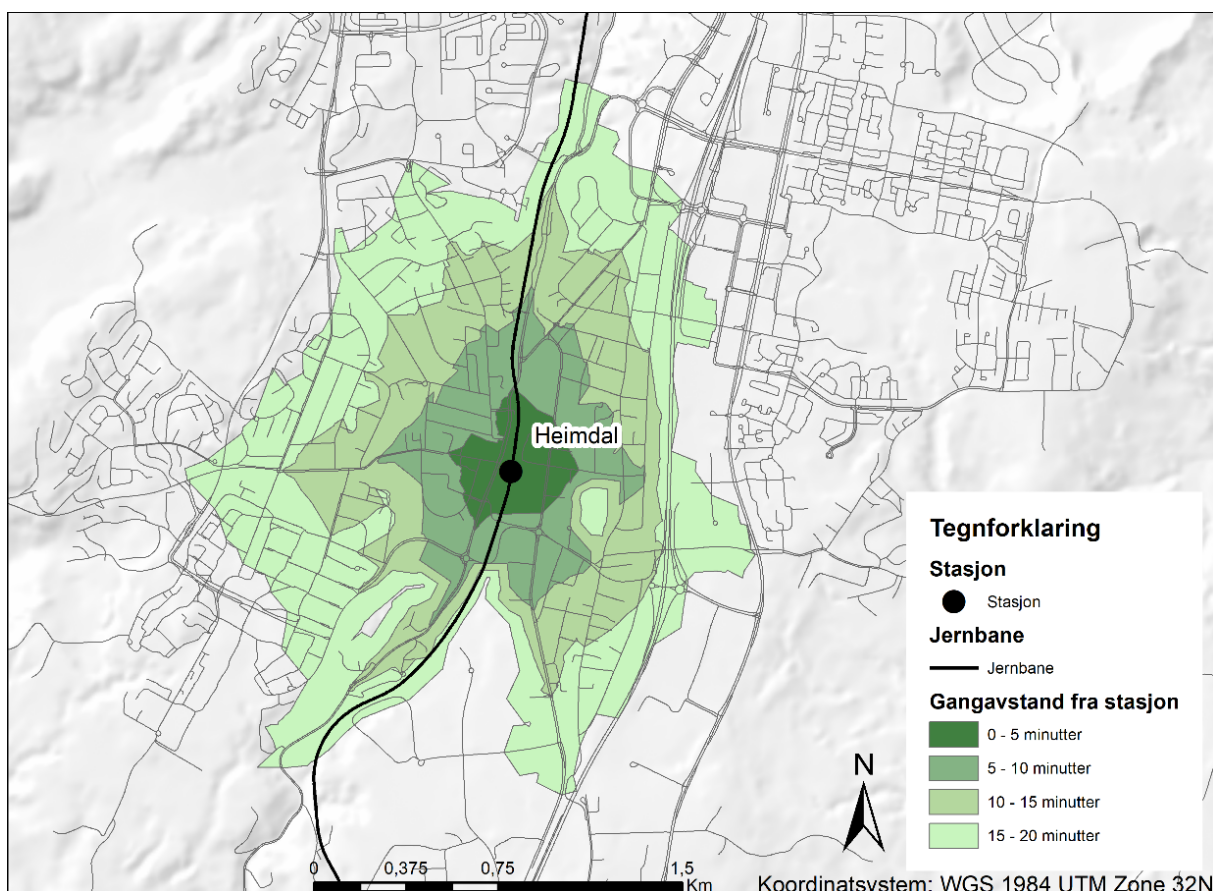
Det er ikke alle nødvendige datasett som har vært tilgjengelig. Det var ønskelig å undersøke passasjergrunnlaget for fremtidens Trøndelag, og da måtte et befolkningsgrunnlag for 2050 frembringes. Det er bestemt å bruke data fra Byutredningens trinn 2, arealalternativ «Kollektiv» til dette formålet, da disse er basert på en jernbanerettet knutepunktsutbygging. Disse skal illustrere et «best case scenario» for jernbanen med all befolkningsvekst rundt holdeplassene, slik at passasjergrunnlaget kan bli høyest mulig. Disse dataene kommer fra RTM-beregninger som har tatt utgangspunkt i at stasjonene langs jernbanen i Trondheim vil få en større andel av befolkningsveksten enn andre steder. Ved å bruke denne «ferdigfordelte» befolkningsveksten og legge den til i befolkningslaget er det mulig å generere et befolkningsgrunnlag for 2050. Fordelingen er gjort ved å ta den forventede befolkningsveksten i Trøndelag estimert av SSB og fordele denne likt på de utvalgte grunnkretsene langs jernbanen. Det er viktig å merke seg at det i Byutredningen ble valgt ut enkelte stasjoner som skulle få vekst enten rett rundt stasjonen eller i de lokale bysentra. Derfor vil dette gi utslag for mindre holdeplasser langs jernbanelinjer som ikke ble valgt ut til å motta tilsvarende befolkningsvekst.

Det finnes ikke et fritt tilgjengelig gangnettverk for Trondheim og omegn, men det finnes et sykkelnettverk fra 2018, som vist i Tabell 3-1. Dette nettverket likner veldig på bilnettverket, men det er tilpasset sykkel. For eksempel er det ikke tillatt å kjøre sykkel på motorveiene, og dermed tilegnes disse lenkene en «kjøring forbudt»-attributt. Videre er sykkelveger lagt inn der hvor det i dag er «kjøring forbudt» for biler. Det er rimelig å anta at et gangnettverk vil være identisk i utstrekning sammenliknet med sykkelnettverket, og derfor benyttes dette som utgangspunkt for gangnett. Det eneste som må endres er hvor raskt en person forflytter seg langs lenkene, da det er betraktelig raskere å sykle enn å gå, spesielt i nedoverbakker. ATP-modellen er et tillegg i ArcMap som tilegner hver lenke en hastighet basert på reisemiddel og helning i terrenget. Dette vil si at for å gjøre sykkelnettet om til et gangnett, så senkes hastigheten på lenkene i forhold til hvilken helning det er i terrenget. På lenker hvor helningen er stor vil kanskje ikke hastigheten endre seg noe særlig, da ATP-modellen forutsetter en makshelning for sykkel, slik at hastigheten settes til ganghastighet (personen vil da i teorien trille sykkelen når det blir for bratt).

Dagens holdeplasstruktur er ikke nødvendigvis optimal med tanke på hvor folk bor og arbeider i og rundt Trondheim. For å undersøke dette nærmere opprettes det et nytt datasett med punkter kalt «Potensielle stasjoner». Dette er punkter som er generert hver 200 m langs jernbanen fra Stjørdal til Melhus, og skal brukes som utgangspunkt for å illustrere nettopp hvor folk bor og arbeider innen 20 minutters gangavstand langs jernbanen.

3.2.1 Nedslagsfelt for service – «Service Area»

Den første nettverksanalysen som skal gjøres kalles «Service Area», eller nedslagsfelt for service. Dette går ut på å beregne avstand og reisetid langs et gitt nettverk fra et sett bestemte punkter og opprette et nedslagsfelt (et areal), også kalt polygon. Med utgangspunkt i de eksisterende holdeplassene langs jernbanen og gangnettverket for Trondheimsområdet beregner ArcMap hvor langt en person kommer ved å gå i alle mulige retninger fra holdeplassen. Disse polygonene kan videre deles inn i ulike intervaller for den valgte «impedansen», som enten er reisetid eller avstand. Dette er illustrert for Heimdal stasjon i Figur 3-1 nedenfor. Her ser man at polygonene strekker seg naturlig langs vegnettet. Det er viktig å merke seg at det i denne oppgaven er valgt å fordele befolkning og sysselsatte kun innenfor én stasjon. Dersom flere stasjoners nedslagsfelt overlapper hverandre vil personene kun velge nærmeste holdeplass som sin foretrukne holdeplass og ikke bli talt dobbelt.



Figur 3-1: Prinsipp for Service Area-analyser i ArcMap for Heimdal stasjon

I disse analysene velges reisetid som impedans for å illustrere hvor stort nedslagsfelt den enkelte holdeplass har for henholdsvis 5, 10, 15 og 20 minutters gange. Videre kan man

legge datasettene med befolkning og sysselsatte *oppå* datasettet og gjennomføre en «*Spatial Join*». Dette er en operasjon som bruker de romlige koordinatene til objektene i hvert datasett til å relatere dem til hverandre. På denne måten vil alle punkter med befolkning og sysselsatte som havner innenfor samme polygon få en fellesnevner. Det er denne fellesnevneren som gjør at det er mulig å beregne summen av antall innbyggere innenfor hvert enkelt polygon. Metodikken er lik både for summering av befolkning i dag, befolkning for 2050 og sysselsatte i dag. Dette resulterer i flere tabeller som må bearbeides videre i Excel for å trekke ut relevante data.

Prosedyre:

1. Lage et nytt Service Area inne i Network Analyst
2. Legge inn holdeplassene på jernbanen mellom Stjørdal og Melhus som «Facilities»
3. Bruke reisetid som impedans, med intervaller på 5, 10, 15 og 20 minutter for polygonene
4. Spatial Join mellom polygonene og det valgte punktsettet (befolkning/sysselsatte)
5. Summere opp befolkning per intervall, fordelt på hver holdeplass
6. Bearbeide tabeller i Excel

3.2.2 Kostnadsmatrise – «OD Cost Matrix»

En annen måte en kan undersøkte passasjergrunnlaget langs jernbanen på er ved å bruke en kostnadsmatrise. En kostnadsmatrise beregner minste motstands veg (laveste «kostnad») mellom to sett med punkter. På samme måte som med nedslagsfelt for service kan en da sette impedansen, eller motstanden, til reisetid og beregne raskeste rute i et nettverk mellom to punkter; et startpunkt (Origin) og et endepunkt (Destination). Dette resulterer i en matrise som viser alle Origin-punktets raskeste rute til alle Destination-punkter.

Ved å sette stasjonspunktene for potensielle plasseringer hver 200m langs jernbanen som Origins og befolkning/sysselsatte som Destinations, vil det beregnes reisetid fra alle mulige stasjonspunkter til alle befolkning- eller sysselsattpunkter. Det er viktig å merke seg at det i denne oppgaven er valgt å fordele befolkning og sysselsatte fritt til alle potensielle punkter langs jernbanen. Dersom en person kan gå til flere punkter langs jernbanen vil altså disse summeres opp uavhengig av hverandre. Summen av antallet personer i nærheten av jernbanen vil da følgelig være høyere enn summen av personer totalt innen 20 minutters gangavstand, noe som skiller seg fra Service Area-analysene. Dette gjøres fordi punktene langs jernbanen skal vurderes uavhengig av hverandre, hvor formålet er å kartlegge tettheten av innbyggere og sysselsatte lang jernbanens trasé.

Ved å assosiere antallet personer i befolknings- og sysselsattpunktene med de genererte punktene langs jernbanen, kan man finne ut akkurat hvor mange innbyggere og sysselsatte som befinner seg innen 20 minutters gangavstand. Her vil også nettverket langs banen spille en rolle, slik at områder med høyere tilgjengelighet vil komme bedre frem (for eksempel ved eksisterende stasjoner). Denne operasjonen gjentas for hver kombinasjon av to punktsett, og resulterer i mange matriser (tabeller) som må bearbeides videre i Excel for å trekke ut relevante data, samt kan vises på kartet ved hjelp av kartografiske fremstillingsmetoder.

Prosedyre:

1. Lage en ny OD Cost Matrix inne i Network Analyst

2. Legge inn de potensielle holdeplassene hver 200m langs jernbanen som «Origins», og befolkning/sysselsatte som «Destinations»
3. Bruke reisetid som impedans, med en øvre grense på 20 minutters reisetid
4. Summere opp befolkning/sysselsatte fordelt på hvert potensielle holdeplass-punkt
5. Bearbeide matriser i Excel og vise kartografisk fremstilling

3.3 Beregning av grafiske ruteplaner

Forskningsspørsmål 3: *Hvordan kan et nytt rutetilbud for bytog se ut i og rundt Trondheim og hvordan vil det påvirke togtrafikken dersom det legges opp til økt avgangsfrekvens?*

For å besvare Forskningsspørsmål 3 skal det utarbeides ulike forslag til nye ruteplaner for togtilbudet mellom Stjørdal og Melhus, samt undersøke gjennomførbarheten rundt de ulike alternativene.

En endring av rutetilbudet på jernbanen må skje innenfor de eksisterende begrensningene for kapasitet og utnyttelse av sporet. Det er ikke mulig å øke avgangsfrekvensene for et togtilbud på samme måte som en ville gjort for et busstilbud. Busstilbudet er mer fleksibelt og har i større grad mulighet til å sette opp ekstraavganger og endre rutetidene, så lenge dette også skjer innenfor begrensningene til holdeplassenes avviklingskapasitet. Dette er fordi busser benytter det ordinære vegnettet i Norge og ikke begrenses av egen trasé (selv om det også finnes eksempler på dette). Dessuten kan bussen kjøre tettere på grunn av størrelse og bremselengde, og har muligheten til å kjøre forbi hverandre når de ankommer en holdeplass samtidig. Denne fleksibiliteten finner man ikke hos tog, som med sine strenge krav til avstand og sikkerhet gjør det til et forholdsvis rigid system.

Jernbanestrekningen mellom Melhus og Stjørdal er for det meste enkeltsporet, noe som da innebærer at tog bare kan kjøre i en retning og kan kun krysse hverandre på stasjoner og dedikerte krysningsspor. Dette er for at signalsystemet skal kunne fange opp at det kun er ett tog per delstrekning av gangen, og dermed hindre potensielt fatale kollisjoner. Det er derfor viktig å undersøke hvordan togtrafikken i sin helhet vil påvirkes ved en endring av togrutetilbudet i Trondheim. Med bakgrunn i eksisterende planer og utredninger, vil Ranheim stasjon bli behandlet som gjenåpnet og skal tas med i ruteplanforlagene. I tillegg vil det bli lagt opp til forlengelse av pendlene fra Stjørdal hele veien til Melhus såfremt det er mulig.

For å få et så bredt perspektiv som mulig vil jeg i denne oppgaven foreslå tre ulike alternativer. Disse skal vise mulighetene for økt avgangsfrekvens, og dermed redusert ventetid, ved ulike grader av forbedret kjøreveg:

1. Minimumsalternativet
 - Dagens ruteplan hvor enkelte pendler er forlenget mot Stjørdal og Melhus for å skape en gjennomgående pendel, uten ombygging av linjen
2. Maksalternativet
 - Det innføres stor frekvensøkning med 10-minuttersfrekvens for bytog Stjørdal – Melhus og Melhus – Stjørdal, og forutsetter dobbeltspor hele linjen
3. Middeldomalternativet
 - Det innføres stor frekvensøkning med 10-minuttersfrekvens for bytog Stjørdal – Trondheim og Trondheim – Stjørdal, og forutsetter dobbeltspor mellom Stjørdal og Trondheim

- Det innføres middels frekvensøkning med 20-minuttersfrekvens for bytog Trondheim – Melhus og Melhus – Trondheim, uten ombygging av linjen

Det er for alle alternativene forutsatt ERTMS og samtidig innkjør, samt eventuell forlenging av plattformer sør for Trondheim det det er behov. Dette er ifølge Rejlers (2016) mulig å gjennomføre for flere av holdeplassene, og legges derfor til grunn som et nødvendig tiltak. Eventuelle geometriske og arealmessige begrensninger er ikke gjennomgått i detalj i denne oppgaven, men burde utredes i en egen rapport.

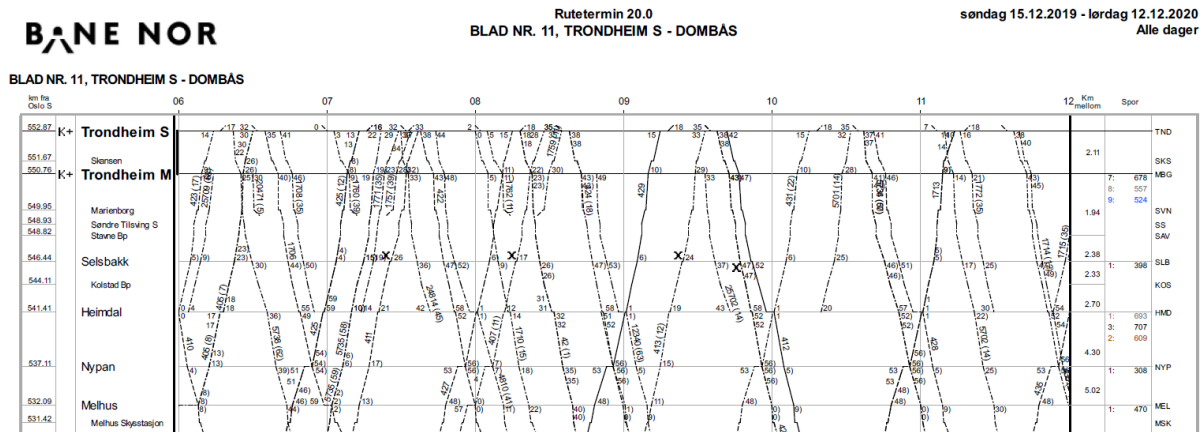
Et tidsrom mellom kl.6.00 og 9.00 på morgenen vil bli brukt som en representativ illustrasjon av det travleste tidspunktet på døgnet. Dette er det samme som Rejlers (2016) gjør i sin rapport, og det regnes som en hensiktsmessig måte å gjøre det på, da alle tidspunkter utenom dette intervallet vil være enklere å modellere. Dette grunngis i den antakelsen om at rushtid for godstrafikk og persontrafikk stort sett dekkes av dette tidsrommet, noe som vil gi en pekepinn på hvor nært sporet er å nå maksimal praktisk kapasitet. Det er rimelig å anta at ruteoppleggene vil kunne fungere ellers på døgnet også da det ikke vil være like mange tog i trafikk, og at det i ettermiddagsrushet skal være mulig å benytte en liknende eller invertert ruteplan. Med invertert ruteplan menes det at det kan være avganger som prioriteres inn til Trondheim sentrum på morgenen, og at det på ettermiddagen heller kan være avgangene på vei ut av Trondheim sentrum som prioriteres.

For å kunne fremstille og beregne de ulike alternativene er det nødvendig å sette opp en grafisk ruteplan. I profesjonelle sammenhenger benyttes det gjerne spesifikke programmer, men de har ikke vært tilgjengelige i sammenheng med denne oppgaven. Derfor modelleres ruteplanene opp i Excel med utgangspunkt i dagens grafiske ruteplan. Denne ruteplanen heter «Rutetermin 20» (Bane NOR, 2019b), og det er strekningen mellom Stjørdal og Melhus som er blitt gjennomgått og lagt inn manuelt i Excel for timene mellom kl.6.00 og 9.00, tilsvarende Figur 3-2 og Figur 3-3. For å lage en slik grafisk ruteplan settes kilometeravstanden til Oslo S for hver stasjon, holdeplass og blokkpost opp mot det klokkeslettet et tog befinner seg der. En stasjon er en holdeplass hvor det er mulig for tog å krysse, og en blokkpost er et punkt mellom to holdeplasser hvor det også er mulig for to tog å krysse hverandre. Senere i oppgaven vil stasjon og holdeplass diskuteres litt om hverandre, men det er hovedsakelig snakk om stasjoner der hvor man snakker om muligheter for togkryssing. En togkryssing fremstilles i en graf, hvor krysningspunktet mellom to linjer (to tog) da må befinne seg på en stasjon eller et krysningsspor. Til slutt leses det av verdier for kjøretid mellom holdeplassene for et ordinært persontog. Det er disse tidene som benyttes som grunnlag for de senere ruteoppleggsalternativene. I likhet med Rutetermin 20 settes det opp 1 minutt stopptid på alle stasjoner, med unntak av Trondheim S som har 3 minutter. Denne stopptiden vil ikke bli nedjustert, men kan bli forlenget dersom det er behov for å vente på et kryssende tog.

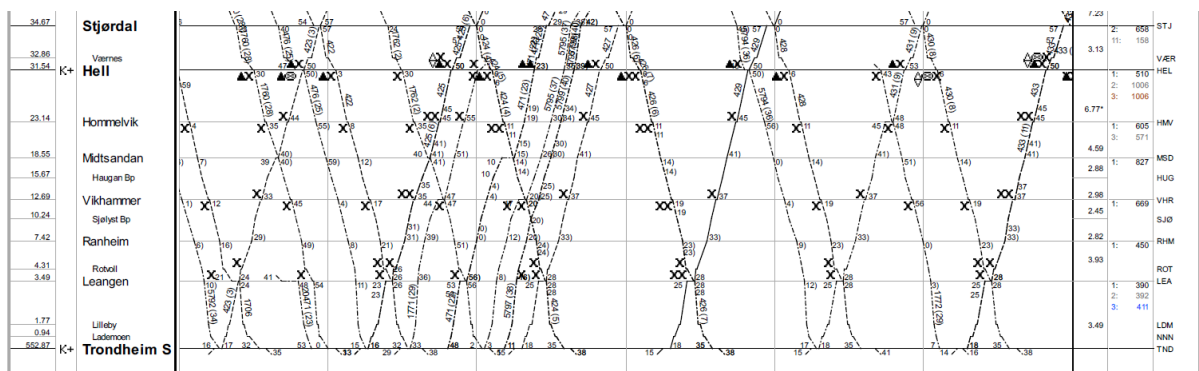
Metodikken videre bygger på den som benyttes i rapporten til Rejlers (2016, s. 6), hvor det er en «*iterativ prosess mellom kjøretider, avgangstider og infrastruktur*» som karakteriserer utarbeidelsen av ruteopplegget. Bytogene skal settes opp med ønsket intervall, og persontogene bakes inn i dette. Etter god dialog og anbefalinger fra Ida Bøe, fagansvarlig for trafikkapasitet hos Bane NOR, blir det vurdert at godstrafikken og eventuelle fjerntog bør så langt det lar seg gjøre beholdes innenfor det samme tidsrommet. Dette er blant annet med tanke på at godstog og fjerntog er avhengige av togtrafikken utenfor studieområdet Stjørdal – Melhus, slik at større forskyvninger av disse avgangene

vil kunne ha negative innvirkninger for resten av togtrafikken og medføre omrokkeringer av omkringliggende togruter.

De største utfordringene handler om å få til at krysninger mellom tog skjer på stasjonene. Det er i de grafiske ruteplanene tegnet inn horisontale linjer som viser hvor stasjonene befinner seg langs jernbanelinjen, og dermed også hvor det er mulig å krysse eller kjøre forbi hverandre. Det presiseres at ikke alle holdeplasser er med på ruteplanene, da flere er utelatt fordi de ikke har mulighet for togkryssing og dermed vil være overflødige i den grafiske fremstillingen.



Figur 3-2: Utsnitt av grafisk ruteplan for rutetermin 2020, fra klokken 6 til 12 i «Blad nr. 11 Trondheim S - Dombås» (Bane NOR, 2019b)



Figur 3-3: Utsnitt av grafisk ruteplan for rutetermin 2020, fra klokken 6 til 12 i «BLAD NR. 14, GRONG - TRONDHEIM S» (Bane NOR, 2019)

Minimumsalternativet

Utgangspunktet for dette ruteopplegget er identisk med Rutetermin 20 mellom Stjørdal og Melhus. Det er i hovedsak togavgangene frem og tilbake mellom Stjørdal - Trondheim og Trondheim - Melhus som er tenkt å forlenges til henholdsvis Melhus og Stjørdal. For å få ruteopplegget til å gå opp gjennomføres det følgende prosedyre:

Prosedyre:

1. Legge inn alle godstog, fjerntog og persontog fra dagens ruteplan

2. Forlenge persontogreiser så langt det er mulig. Se til at det er minst en avgang Stjørdal – Melhus og en avgang Melhus- Stjørdal omtrent hver time. Tilstrebe fire ankomster på Trondheim S i tidsrommet 7.00-8.00, hvorav to fra Stjørdal og to fra Melhus
3. Forskyve eller bytte om på persontog først, så godstog innenfor intervallet 6.00-9.00
4. Legge til ekstra persontog dersom det er mulig

Maksalternativet

Dette alternativet har som hovedantakelse at det vil bli bygget dobbeltspor hele strekningen Stjørdal-Melhus, og skal undersøke hvilke muligheter en har for et bytogtilbud i så tilfelle. Alternativet har som mål å sette opp bytog Stjørdal – Melhus og Melhus – Stjørdal hvert 10.minutt fra og med kl.6.00.

Prosedyre:

1. Sette opp to grafer for å illustrere dobbeltspor, annethvert bytog vil settes på spor 1 og spor 2
2. Sette opp sørgående bytog fra Stjørdal til Melhus hvert 10.minutt, ankomst for første bytog omtrent kl.6.00 på Trondheim S. Sette opp nordgående bytog fra Melhus til Stjørdal hvert 10.minutt
3. Forskyve de nordgående bytogene slik at det er minst mulig sørgående bytog som krysser dem utenfor stasjonene langs jernbanelinjen. Prioritere gode, mulige kryssinger på stasjonene Leangen og Marienborg og jobbe seg nord- og sørover inkrementelt, og iterativt flytte avgangene 1 minutt av gangen
4. Legge inn alle godstog og fjerntog fra dagens ruteplan inn på begge spor. Fordele godstog og fjerntog over på det sporet som er mest gunstig, eventuelt forskyve eller bytte om på godstog og fjerntog innenfor intervallet 6.00-9.00, men gjøre dette i minst mulig grad.

Middelalternativet

Minimumsalternativet innebærer en liten frekvensøkning og en optimalisering av ruteopplegget, men er stort sett identisk med dagens togtilbud. Maksalternativet forutsetter dobbeltspor både på strekningen Stjørdal-Trondheim og Trondheim-Melhus, noe som ikke har vært en anbefalt løsning i tidligere utredninger. Dette er blant annet på grunn av at det ikke er nevnt utbygging av dobbeltspor sør for Trondheim i gjeldende NTP, men dette kan skyldes et manglende passasjergrunnlag i dag samt antatte krevende grunnforhold, noe som vil ikke nødvendigvis vil kunne forsvare kostnadene. Dobbeltspor nord for Trondheim er derimot utredet og planlagt, noe som rettfærdiggjør en antakelse om at dette vil bli bygget i fremtiden. Det skal derfor også utarbeides et Middelalternativ.

Middelalternativet har som mål å sette opp bytog Stjørdal – Trondheim og Trondheim – Stjørdal hvert 20.minutt, samt Stjørdal – Melhus og Melhus – Stjørdal hvert 20.minutt fra og med kl.6.00. Dette betyr at det i praksis vil gå et bytog mellom Stjørdal og Trondheim hvert 10. minutt, men at annethvert tog i hver retning vil ha avgang fra, eller fortsette sørover mot, Melhus. På denne måten økes frekvensen mellom Stjørdal og Trondheim som følge av dobbeltsporet, mens det på den enkeltsporede strekningen Trondheim – Melhus til sammenlikning vil ha en halvert avgangsfrekvens.

Prosedyre:

1. Sette opp to grafer for å illustrere dobbeltspor, annethvert bytog vil settes på spor 1 og spor 2. Dobbeltsporet settes bare opp mellom Stjørdal – Trondheim.
2. Sette opp sørgående bytog fra Stjørdal til Trondheim hvert 10.minutt, hvorav annethvert tog fortsetter til Melhus, ankomst for første bytog omtrent kl.6.00 på Trondheim S. Sette opp nordgående bytog fra Trondheim til Stjørdal hvert 10.minutt, hvorav annethvert tog starter i Melhus i stedet.
3. Forskyve de nordgående bytogene slik at det er minst mulig sørgående bytog som krysser dem utenfor stasjonene langs jernbanelinjen. Prioritere gode, mulige kryssinger på stasjonene Leangen og Marienborg og jobbe seg nord- og sørover inkrementelt, og iterativt flytte avgangene 1 minutt av gangen.
4. Legge inn alle godstog og fjerntog fra dagens ruteplan inn på begge spor. Fordele godstog og fjerntog over på det sporet som er mest gunstig. Her vil alle godstog og fjerntog som kjører sør for Trondheim måtte kjøre på spor 1 (men kan hende de kjører på spor 2 nordover). Eventuelt forskyve eller bytte om på godstog og fjerntog innenfor intervallet 6.00-9.00, men gjøre dette i minst mulig grad.

3.4 Elastisitetsberegninger

Forskningsspørsmål 4: *Hvordan vil en endring i togtilbudet i og rundt Trondheim kunne påvirke etterspørselen?*

Tilbud og etterspørsel er to sider av samme sak, og vil avhenge sterkt av hverandre. I Forskningsspørsmål 4 stilles spørsmål om nettopp i hvilken grad de faktisk er avhengige, og for å undersøke dette skal det gjennomføres elastisitetsberegninger. Fra litteraturstudiet er det blant annet funnet ulike verdier for ventetidselastisitet og reisetidselastisitet. Estimatenes for elastisitet varierer med hensyn på om det forutsettes en kort, lang eller middels tidshorisont, samt hvilket formål reisen har. I disse beregningene velges middels tidshorisont som et passende valg, da eksisterende planer og utredninger for det meste tar for seg de neste årene mot 2050. Tanken er å beregne forventet passasjerendring etter en økning i avgangsfrekvensen, samt endringen etter en eventuell forandring i reisetid. Økt avgangsfrekvens fører til kortere ventetid mellom tog og flere passasjerer, og det er derfor positive elastisitetsverdier. Økt reisetid derimot har motsatt effekt. For å understreke dette siste poenget velges den strengeste verdien for reisetidselastisitet, den som er estimert på basis av forretningsreiser. Det hadde vært naturlig å velge elastisitetsverdi for ventetid også basert på forretningsreiser, men for å være enda mer konservativ velges den verdien som er basert på alle reiser (fritid + forretning). Dette gir følgende verdier (hentet fra Tabell 2-10 og Tabell 2-11):

- Ventetidselastisitet = 0,31
- Reisetidselastisitet = -0,65

Beregningene skal gjennomføres ved hjelp av Formel 3-1:

Formel 3-1: Prinsipp for elastisitetsberegning

$$\text{passasjerendring \%} = \text{endring i tilbud \%} * \text{elastisitetsverdi} \quad (\text{Formel 3-1})$$

For å illustrere hvordan de nye forslagene til ruteplaner påvirker den enkelte passasjer, skal det beregnes reisetid før og etter tiltakene. Dette gjøres ganske enkelt ved å trekke

fra ankomsttid fra avgangstid i hver av de nye ruteplanene. I stedet for å gjøre dette for alle mulige reisekombinasjoner er det valgt å illustrere dette ved hjelp av reisehverdagen før og etter eventuelle tiltak for tre eksempelreisende:

- Passasjer nr.1: arbeider på St. Olavs hospital nær Marienborg stasjon, bor i 5 minutters gangavstand fra Ranheim stasjon
- Passasjer nr.2: arbeider på Byhaven kjøpesenter nær Trondheim Sentralstasjon, bor i 15 minutters gangavstand fra Heimdal stasjon
- Passasjer nr.3: arbeider på Trondheim lufthavn (Værnes) nær Værnes holdeplass, bor i 10 minutters gangavstand fra Melhus skysstasjon

For hver eksempelreise skal de ulike reisetidskomponentene undersøkes for å kunne se på total reisetid dør-til-dør fra bolig til arbeidsplass. Disse komponentene er gangtid til/fra stasjon, gangtid til/fra bil eller parkering, samt kjøretid i transportmiddelet. Da vil det være mulig å undersøke hvordan de tre eksempelreisene endres etter at rutetilbudet oppgraderes, samt se hva disse endringene vil kunne føre til av endringer i passasjergrunnlaget.

3.4.1 Reisetidsforhold

Attraktiviteten til bytogtilbudene skal undersøkes ved å se på reisetidsforholdet mellom tog og de to største konkurrerende transportmarkedene; bil og buss. Dette skal gjøres ved å undersøke reisetiden i tog, i bil og i buss og sammenlikne dem. Dagens reisetider er satt som konstanter, og reisetid med buss og bil skal estimeres gjennom Entur sin reiseplanlegger og Google sin veibeskrivelse-modul i «Google Maps».

4 Resultater

I dette kapittelet vil jeg presentere funnene og resultatene fra analysene gjennomført i oppgaven, beskrevet i kapittel 3. Også her vil jeg bruke en fire-delt inndeling, hvor jeg først tar for meg plangrunnlaget, deretter passasjergrunnlaget, så forslag til nye ruteplaner og til sist endringer i etterspørsel.

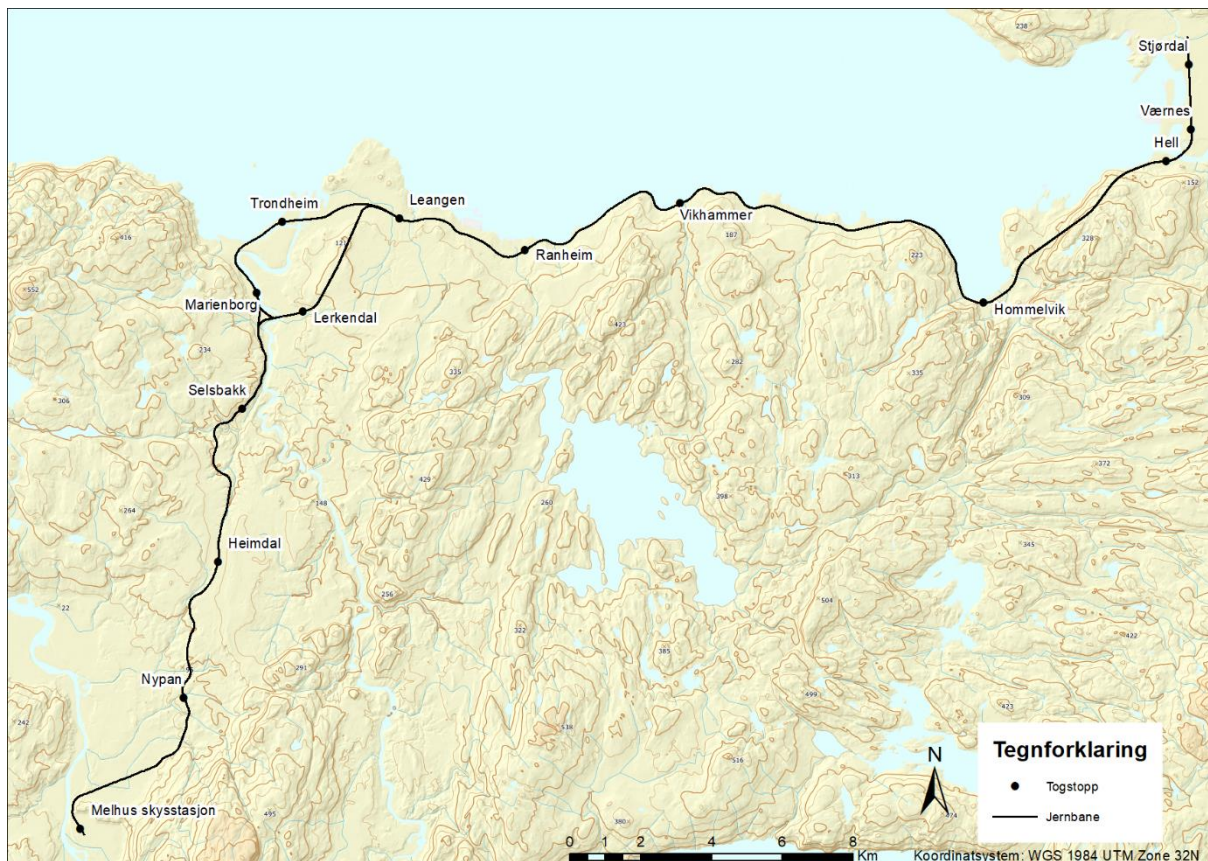
4.1 Demografi og geografi i og rundt Trondheim

Forskningsspørsmål 1: *Hvordan er mulighetene for et bytog i Trondheim, basert på tidligere, nåværende og fremtidige planer, utredninger og fremtidsutsikter for jernbanen og generell transport- og arealutvikling i og rundt Trondheim?*

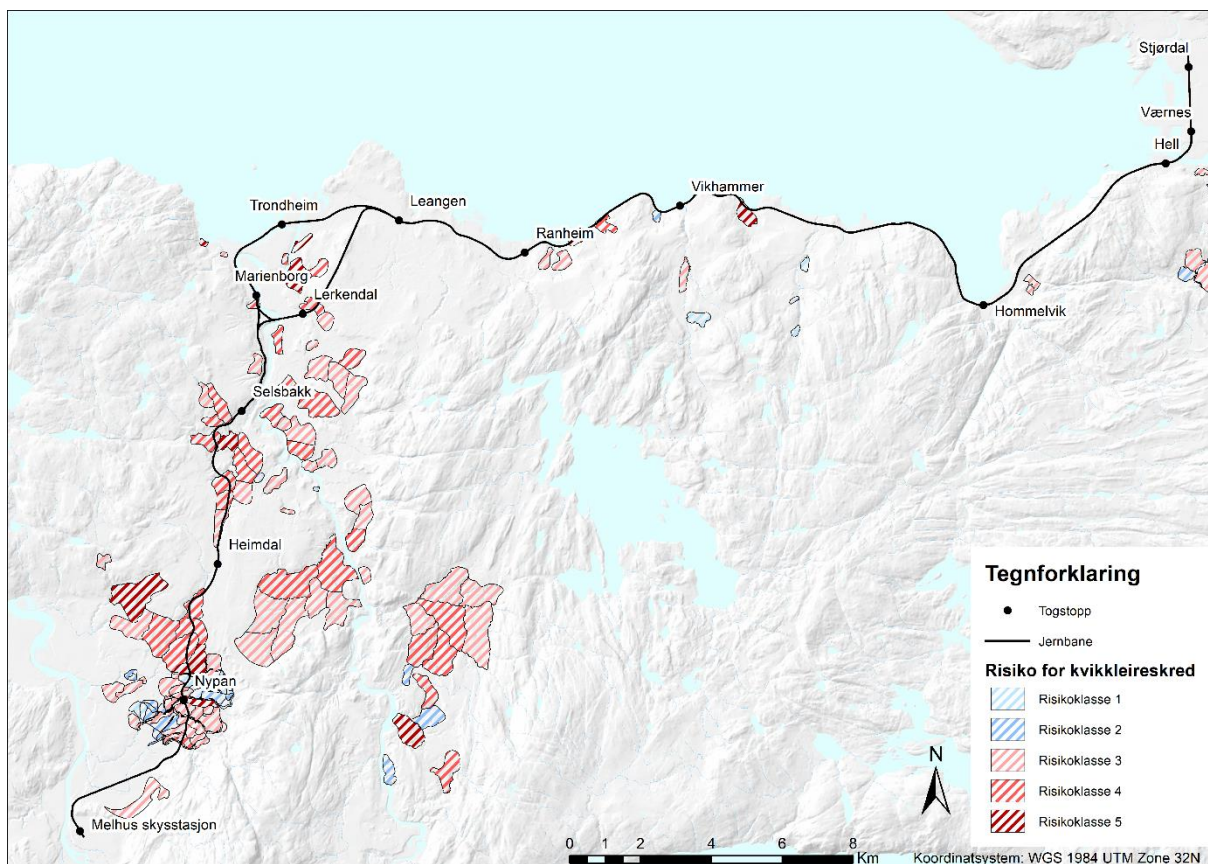
I tilknytning til Forskningsspørsmål 1 som omhandler eksisterende plangrunnlag, har enkelte demografiske og geografiske forhold blitt kartlagt. Noen utvalgte kart er presentert som et forminsket bilde for å få plass på siden, resten er lagt til som vedlegg i slutten av oppgaven. Flere av kartene er dessuten laget i 2 målestokker; ett med oversikt over hele strekningen Stjørdal – Melhus og ett med fokus på sentrum av Trondheim, mellom Ranheim og Selsbakk.

Av Figur 4-1 fremkommer det hvordan terrenget i Trondheimsområdet karakteriseres ved at det er bratte skråninger og utfordrende topografi når en beveger seg vekk fra elvens bredder mellom Melhus og Trondheim. Det er langs elven at jernbanens trasé befinner seg, og følgelig resten av vegnettet og bebyggelsen også. En ser også at jernbanen følger terrenget mellom Marienborg og Selsbakk, og sørover mot Heimdal. Terrenget mellom Trondheim og Stjørdal er også preget av høydeforskjeller, og det er derfor naturlig at jernbanen ligger i de flatere områdene nært kysten. Her kommer det særlig tydelig frem hvordan jernbanetraséen følger konturene av kystlinjen, og at det ikke er en «rett strek» å trekke langs jernbanen mellom de ulike tettstedene.

Trondheimsområdet er preget av marine leiravsetninger, noe som betyr at det er store forekomster av kvikkleire i området. Kvikkleire utgjør en risiko for skred, og er presentert i Figur 4-2 ved ulike klasser av risikoområder. Det er vanskelig å si helt klart hvor stort utfall eventuelle kvikkleireforekomster vil kunne påvirke økonomien i et byggeprosjekt i risikozonene, men det vil sannsynligvis være en viktig del av investeringskostnadene. Som en ser i figuren er det mange risikozoner i studieområdet, spesielt sør for Trondheim sentrum. Banestrekningen mellom Selsbakk og Heimdal krysser flere risikoområder, og Nypan stasjon ligger midt i særdeles mange risikoområder. Nærmere Melhus er derimot grunnforholdene tilsynelatende mer stabile. Østover fra Trondheim mot Stjørdal er det også enkelte kvikkleireforekomster som er risikable, mest fremtredende litt øst for Ranheim stasjon og litt øst for Vikhammer stasjon.

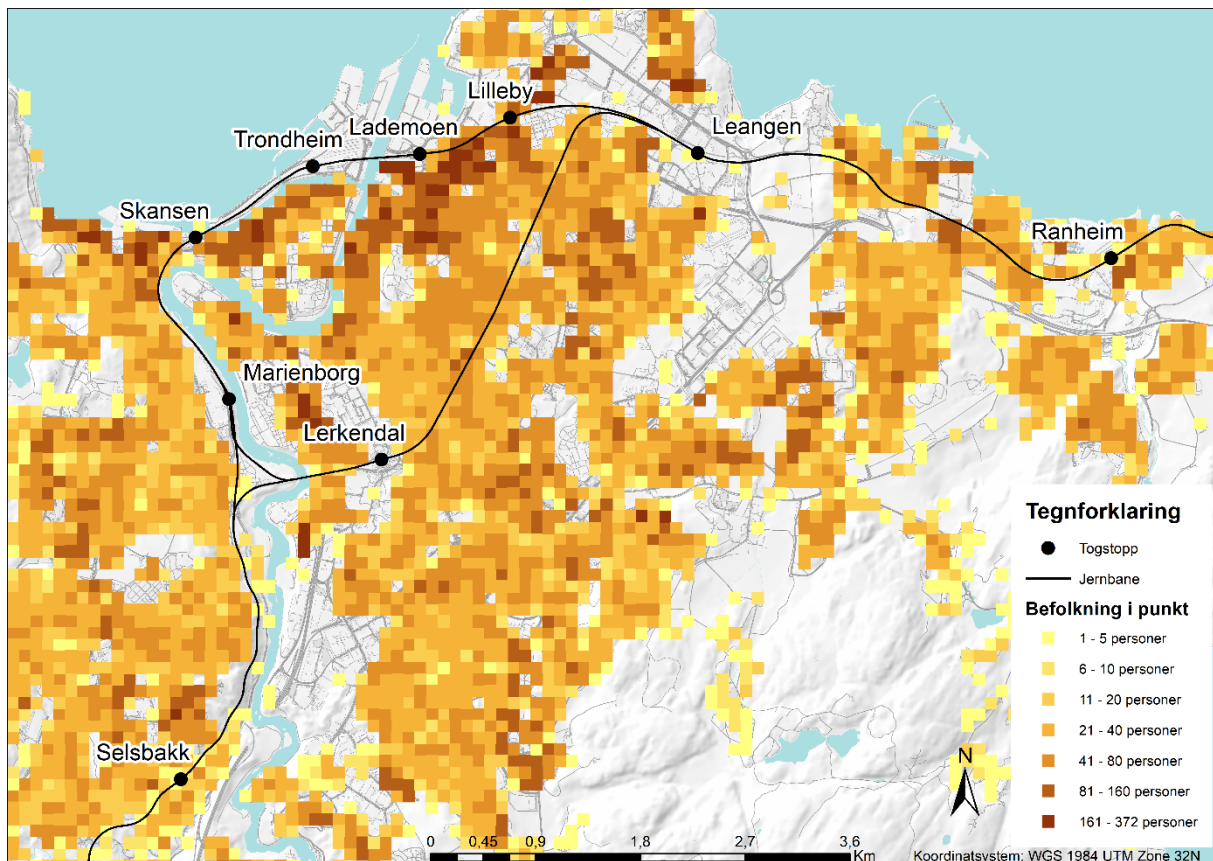


Figur 4-1: Terreng og koter i Trondheimsområdet

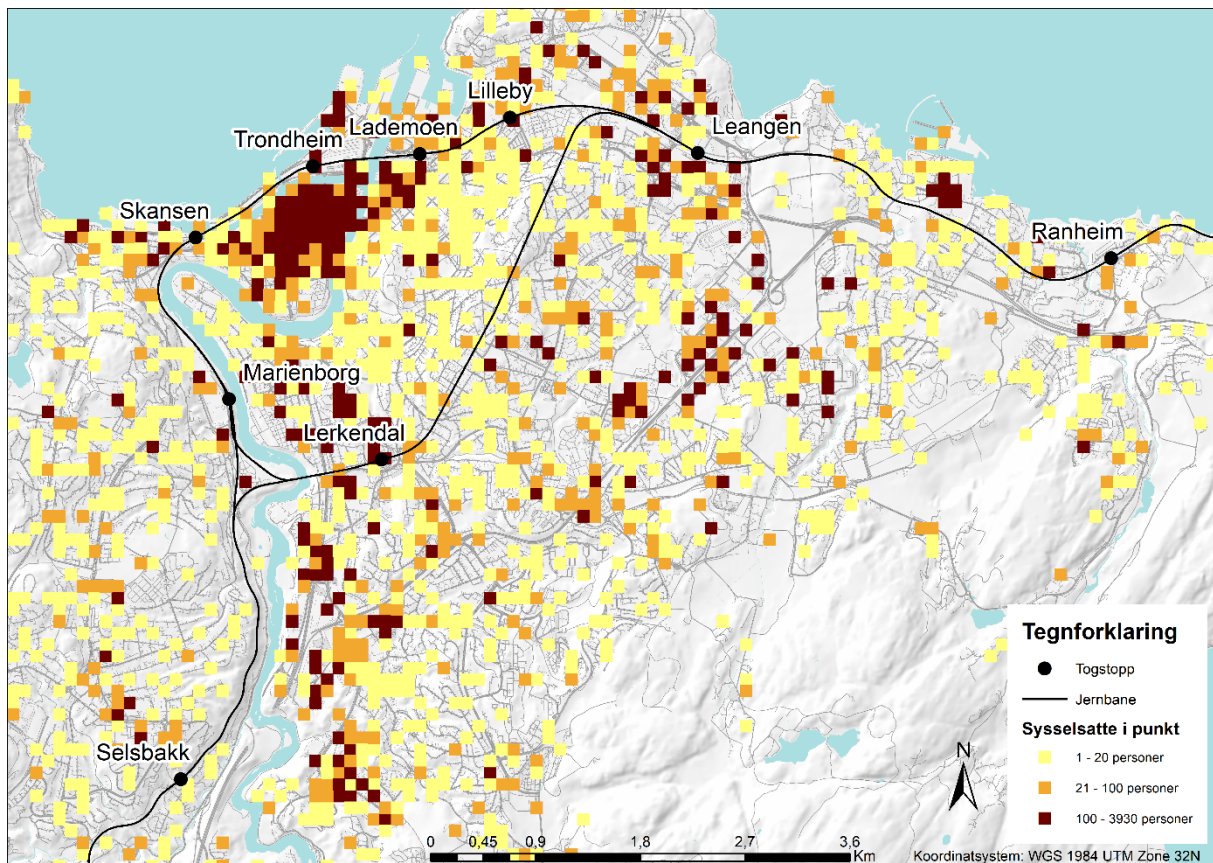


Figur 4-2: Risiko for kvikkleire i Trondheimsområdet

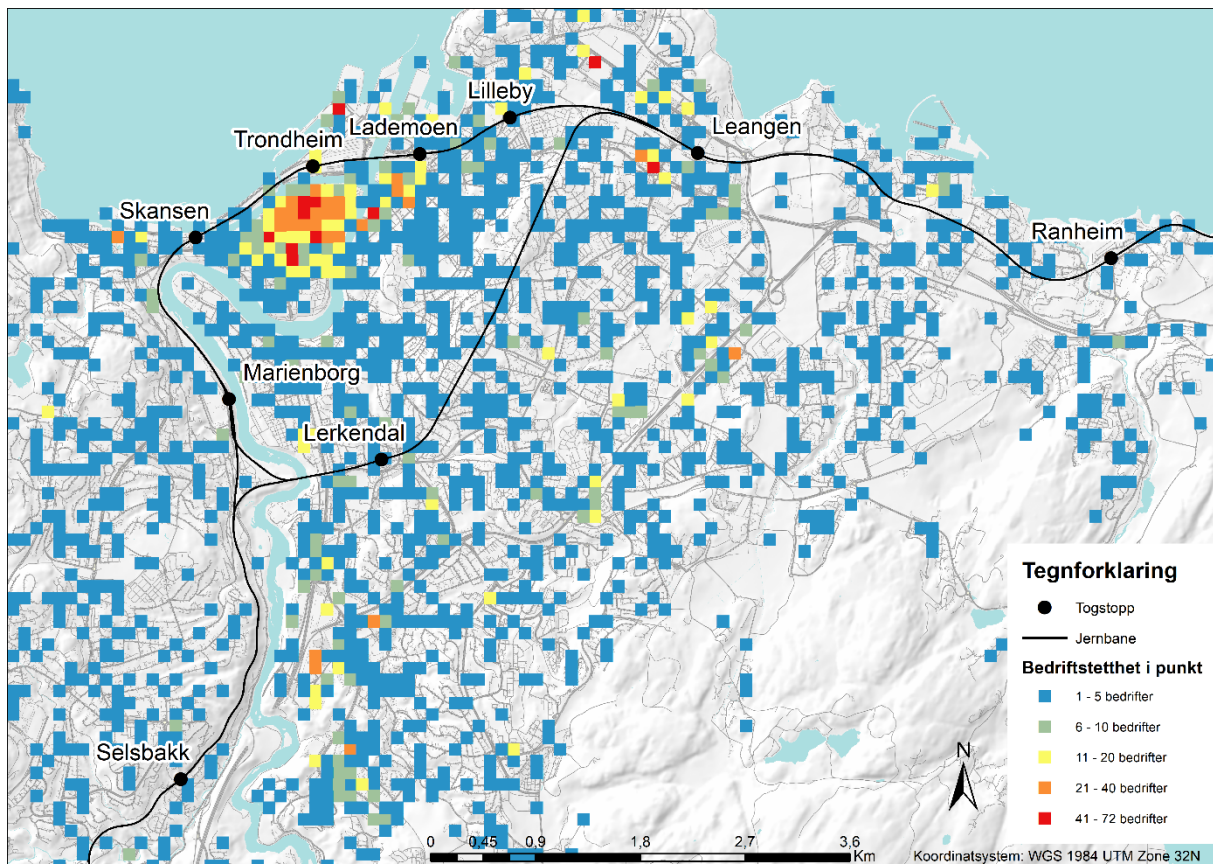
Datagrunnlaget over befolkning og sysselsatte i dag er synliggjort i en kartografisk fremstilling i Figur 4-3 (Vedlegg 2b), Figur 4-4 (Vedlegg 4b) og Figur 4-5 (Vedlegg 5b). Datasettene er aggregert på et 100m rutenett, som betyr at antallet personer eller bedrifter er definert innenfor et 100*100m område. Dette gir et godt oversiktsbilde over hvor i Trondheims sentrumsnære områder det er tettest med boliger og arbeidsplasser. Som en kan se er det tettest befolket rundt Skansen og sør for Lademoen og Lilleby. Dette inkluderer Ila og de østre delene av Midtbyen, i tillegg til Møllenberg og Bakklandet og Rosenborg. Stasjoner slik som Marienborg og Leangen ligger ikke like nært boligområdene, men til gjengjeld er antallet sysselsatte i nærheten høyere her enn rundt spesielt Selsbakk og Ranheim. Det er en klar overvekt store bedrifter i Midtbyen, rett sør for Trondheim S. Inndelingen for antall sysselsatte i punkt er satt til Næringslivets Hovedorganisasjon sin standard med 1-20 for små bedrifter, 21-100 for mellomstore bedrifter og >100 for store bedrifter (NHO, 2020). Fordelingen av store bedrifter følger stort sett Kollektivbuens utstrekning mellom Sluppen (øst for Selsbakk, over elven) og Ranheim. Bedriftstettheten er høyest i Midtbyen, med en overvekt av 11-72 bedrifter, mens resten av Trondheim tettsted sjelden har en bedriftstetthet på over 10 bedrifter.



Figur 4-3: Befolkning i dag (per 2017), mellom Ranheim og Selsbakk (Vedlegg 2b)



Figur 4-4: Sysselsatte i dag (per 2018), mellom Ranheim og Selsbakk (Vedlegg 4b)



Figur 4-5: Bedriftstetthet i dag (per 2018), mellom Ranheim og Selsbakk (Vedlegg 5b)

4.2 Passasjergrunnlag langs jernbanen

Forsknings spørsmål 2: *Hvor mange har god tilgjengelighet til holdeplasser langs jernbanen i dag og i 2050, i og rundt Trondheim?*

For å besvare Forsknings spørsmål 2 er det estimert antall personer mellom Stjørdal og Melhus som bor eller arbeider innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, da 20 minutter i denne oppgaven er definert som «god» tilgjengelighet. Beregningene er utført både for dagens befolkningsgrunnlag (per 2017), dagens sysselsetningsgrunnlag (per 2018) og befolkningsprognosene mot 2050 (basert på RTM-modellens arealalternativ «Kollektiv»). Dette har blitt gjennomført for dagens holdeplasstruktur gjennom Service Area-analyser og for potensialet til alle punktene hver 200m langs jernbanen gjennom OD Cost Matrix-analyser.

4.2.1 Tilgjengelighet med dagens holdeplasstruktur

Det har blitt undersøkt hvor tilgjengelig dagens jernbanestasjoner og holdeplasser ligger i forhold til hvor folk bor og arbeider. Deler av resultatet er presentert i Tabell 4-1, hvor det er summert opp dagens antall sysselsatte og befolkning for hver holdeplass langs jernbanen fra Melhus skysstasjon til Stjørdal. Noen holdeplasser er ikke med i oversikten, men disse finnes i detaljerte tabeller i Vedlegg 6a og Vedlegg 6b. Summeringen er gjort i reisetidsintervaller på henholdsvis 5, 10, 15 og 20 minutters gangavstand fra stasjonene ved hjelp av Service Area-analyser. Befolkningsprognosene mot 2050 er ikke blitt undersøkt på denne måten, ettersom disse bare viser en prosentvis befolkningsvekst på grunnkrets nivå og det derfor ikke vil være hensiktsmessig å undersøke på et så detaljert nivå.

I Tabell 4-1 ser man blant annet at Stjørdal, Skansen, Lerkendal og Heimdal har høyt antall bosatte innen alle intervallene, mens det er store forskjeller for Leangen og Marienborg hvor det er enkelte intervaller som har under 10 og over 1000 personer (hhv. 0-5 min og 10-15 min). Ranheim og Lerkendal har 0 sysselsatte innen 5 minutter, men 291 og 1617 sysselsatte innen 10 minutter. Spesielt Leangen ser ut til å ha lav tilgjengelighet innenfor 5 minutter, men denne er betraktelig bedre når gangavstanden økes til mer enn 5 min. Trondheim S skiller seg ut med hele 13400 sysselsatte innen 5-10 min, og har generelt veldig mange sysselsatte med god tilgjengelighet til jernbanen i nærheten. I den detaljerte oversikten i Vedlegg 6b er også Værnes holdeplass inkludert, hvor det kommer frem at det er 0 bosatte innen 20 minutter, og få sysselsatte (under 400 personer).

Tabell 4-1: Oversikt over befolkning og sysselsatte i dag innenfor 5, 10, 15 og 20 minutters gangavstand fra holdeplasser langs jernbanen

Holdeplass	Intervall for gangavstand	Befolkning 2017	Sysselsatte 2018
Stjørdal	0 – 5 minutter	677	301
	5 – 10 minutter	1747	5965
	10 – 15 minutter	1845	2086
	15 – 20 minutter	2116	1363
Ranheim	0 – 5 minutter	61	0
	5 – 10 minutter	1396	291
	10 – 15 minutter	952	362
	15 – 20 minutter	1275	302
Leangen	0 – 5 minutter	4	0
	5 – 10 minutter	530	1617
	10 – 15 minutter	1435	1401
	15 – 20 minutter	2670	726
Trondheim S	0 – 5 minutter	396	2973
	5 – 10 minutter	888	13400
	10 – 15 minutter	1073	4610
	15 – 20 minutter	848	1316
Skansen	0 – 5 minutter	423	153
	5 – 10 minutter	3082	2071
	10 – 15 minutter	2243	5631
	15 – 20 minutter	1264	2390
Marienborg	0 – 5 minutter	0	377
	5 – 10 minutter	511	3292
	10 – 15 minutter	1467	1095
	15 – 20 minutter	808	83
Lerkendal	0 – 5 minutter	134	556
	5 – 10 minutter	1313	5885
	10 – 15 minutter	2523	4962
	15 – 20 minutter	3720	2469
Heimdal	0 – 5 minutter	298	1062
	5 – 10 minutter	1356	929
	10 – 15 minutter	3009	380
	15 – 20 minutter	4797	2378
Melhus skysstasjon	0 – 5 minutter	371	236
	5 – 10 minutter	162	120
	10 – 15 minutter	116	43
	15 – 20 minutter	199	6

I Tabell 4-2 er antall bosatte og sysselsatte i dag summert opp for et 20 minutters intervall (basert på Vedlegg 6a og 6b) for alle holdeplassene mellom Stjørdal og Melhus skysstasjon. Legg merke til at enkelte nedlagte stasjoner er blitt analysert, slik som «Melhus» (gamle Melhus stasjon), for å vise tilgjengeligheten ved alle de eksisterende holdeplassene slik at det eventuelt kan tas med i videre undersøkelser. Melhus har omtrent dobbelt så høyt antall bosatte og sysselsatte i nærheten med hhv. 1554 og 930 personer sammenliknet med Melhus skysstasjon sine hhv. 848 og 405 personer. Heimdal topper listen over befolkning i dag med 9460 personer, men har omtrent halvparten så mange sysselsatte (4749 personer). Trondheim S har hele 22299 sysselsatte i nærheten, men bare 3205 bosatte. Dette viser at det er en del forskjeller mellom fordelingen av befolkning og arbeidsplasser langs jernbanen, både i antall personer og i geografisk utstrekning. Generelt sett er det holdeplassene rett rundt Midtbyen som Lilleby, Lerkendal, Skansen og Lademoen, samt tettstedene Heimdal og Stjørdal, som har god tilgjengelighet for befolkningsgrunnet. Lerkendal og Skansen utpeker seg ved å være stoppesteder langs jernbanen hvor det både bor mellom 7012 og 7690 personer og

arbeider mellom 10245 og 13472 personer i nærheten av jernbanen. Nederst på listen ligger blant annet Nypan og Værnes, som har både få bosatte og sysselsatte i nærheten.

Tabell 4-2: Befolkningsmengde i 2017 innen 20 minutters gangavstand til holdeplasser langs jernbanen. Sortert etter høyest verdi

Holdeplass	Befolkning 2017 (personer)	Holdeplass	Sysselsatte 2018 (personer)
Heimdal	9460	Trondheim S	22299
Lilleby	7750	Lerkendal	13872
Lerkendal	7690	Skansen	10245
Skansen	7012	Stjørdal	9715
Lademoen	6856	Lademoen	6581
Stjørdal	6385	Marienburg	4847
Leangen	4639	Heimdal	4749
Ranheim	3684	Leangen	3744
Selsbakk	3495	Lilleby	3669
Trondheim S	3205	Ladalen	2836
Marienburg	2786	Rotvoll	2607
Rotvoll	2374	Ranheim	955
Hommelvik	1625	Melhus	930
Melhus	1554	Selsbakk	578
Stavne	1293	Stavne	555
Vikhammer	1154	Hommelvik	548
Melhus skysstasjon	848	Vikhammer	420
Ladalen	846	Melhus skysstasjon	405
Hallstad	480	Værnes	334
Midtsandan	386	Hell	143
Hell	345	Midtsandan	79
Nypan	105	Hallstad	53
Værnes	0	Nypan	2
SUM	73972	SUM	90166

Den forventede befolkningsmengden mot 2050 er også blitt summert opp for 0-20 minutters gangavstand fra holdeplassene, og vises i Tabell 4-3 sammen med den prosentvise befolkningsendringen fra 2017 til 2050. Her ser man et klart skille fra Trondheim S og oppover, fra -5%-24% til mellom 70%-367% økning i antall bosatte med god tilgjengelighet til jernbanen. Selsbakk ligger nederst på listen, og her er et tydelig eksempel på hvordan fordelingen fra RTM-modellen i Byutredningen ikke har fordelt noe av fremtidens befolkningsvekst i Trondheim i dette området, men heller at det forventes et minket befolkningsgrunnlag. På tredje plass over befolkningsendring kommer Melhus skysstasjon som har fått en kraftig tilvekst i befolkningsprognosene med hele 305%, og nå passerer gamle Melhus stasjon med 3430 bosatte over 3215 bosatte. Heimdal topper fortsatt listen over flest antall bosatte med god tilgjengelighet til jernbanen med hele 31435 personer ifølge RTM. Generelt sett utmerker holdeplassene Stjørdal, Lerkendal, Lademoen og Skansen seg ved å ha over 6000 personer som både bosatte i dag, sysselsatte i dag og bosatte i 2050.

Totalt sett forventes det en befolkningsøkning fra 73972 til 150829 innen 20 minutters gangavstand til holdeplassene langs jernbanen mellom Stjørdal og Melhus skysstasjon.

Tabell 4-3: Forventet befolkningsmengde i 2050 innen 20 minutters gangavstand til holdeplasser langs jernbanen og relativ endring fra 2017, basert på Byutrednings arealalternativ «Kollektiv». Sortert etter høyest verdi

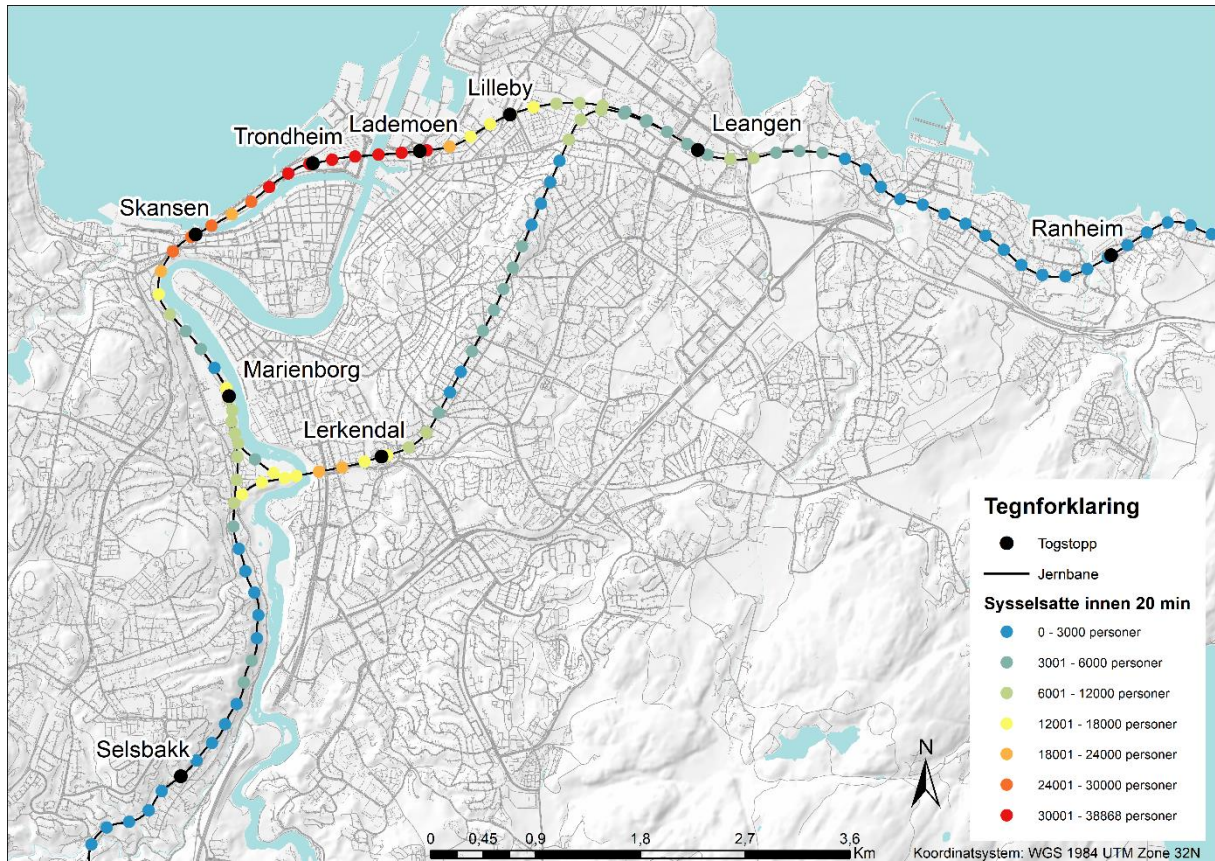
Holdeplass	Befolkning 2050 (personer)	Holdeplass	Endring i % fra 2017
Heimdal	31435	Ranheim	367 %
Ranheim	17200	Ladalen	325 %
Leangen	13916	Melhus skysstasjon	305 %
Stjørdal	13658	Stavne	297 %
Lilleby	9208	Heimdal	232 %
Lerkendal	8873	Leangen	200 %
Lademoen	8478	Hommelvik	170 %
Skansen	8259	Stjørdal	114 %
Marienburg	5947	Marienburg	113 %
Trondheim S	5460	Melhus	107 %
Stavne	5135	Trondheim S	70 %
Hommelvik	4390	Lademoen	24 %
Ladalen	3599	Rotvoll	20 %
Melhus skysstasjon	3430	Lilleby	19 %
Selsbakk	3321	Skansen	18 %
Melhus	3215	Lerkendal	15 %
Rotvoll	2856	Hell	7 %
Vikhammer	1125	Nypan	1 %
Hallstad	469	Værnes	0 %
Midtsandan	381	Midtsandan	-1 %
Hell	368	Hallstad	-2 %
Nypan	107	Vikhammer	-3 %
Værnes	0	Selsbakk	-5 %
SUM	150829	GJ.SNITT	103 %

4.2.2 Potensielt passasjergrunnlag langs jernbanen

Det er også undersøkt hvor mange som bor og arbeider på generell basis innen en 20 minutters gangavstand til dagens jernbanetrasé. Dette ble gjort ved å sjekke for 200 m-intervaller mellom Stjørdal og Melhus, og antallet personer summert opp i klasser per 6000 personer (med unntak av den første klassen hvor intervallet er 3000). Disse resultatene er beregnet for befolkningen i dag, befolkningen 2050 og sysselsatte i dag. Alle resultatene er presentert i to kart hver; ett med oversikt over hele strekningen mellom Stjørdal og Melhus og ett med fokus på sentrum av Trondheim, mellom Ranheim og Selsbakk. Disse vises i Vedlegg 7 til 9.

Et forminsket bilde av Vedlegg 9b er presentert i Figur 4-6 og viser sentrumsutsnittet av antall sysselsatte innen 20 minutters gange fra stasjon. Som en ser i figuren er det vesentlig flere sysselsatte i nærheten av Skansen, Trondheim S, Lademoen og Lerkendal enn det er i nærheten av Ranheim, Leangen og Selsbakk. Det er verdt å merke seg at Trondheims sentrums handelsområde for det meste befinner seg i Midtbyen og på Solsiden (nært Trondheim S og Lademoen) og at SINTEF og NTNUs campus Gløshaugen ligger nært Lerkendal. På resten av strekningen skiller nærområdene til Heimdal og Stjørdal seg litt ut med mellom 6000-12000 sysselsatte i nærheten av traséen, mens resten av linjen kun har

mellom 0-3000 sysselsatte i nærheten. En tabulert fremstilling av passasjergrunnlag for eksisterende stasjoner (samme fargeskala som vist på kartene) er presentert i Tabell 4-4.



Figur 4-6: Sysselsatte i dag (per 2018) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Ranheim og Selsbakk (Vedlegg 9b)

Tabell 4-4: Tabulert fremstilling av personer innen 20 min for eksisterende holdeplasser

Forklaring på farger (i antall personer)	0- 3000	3001- 6000	6001- 12000	12001- 18000	18001- 24000	24001- 30000	30001- 38868
Holdeplass	Sysselsatte						
Holdeplass	Befolkning						
Holdeplass	Befolkning 2050						
Stjørdal							
Værnes							
Hell							
Hommelvik							
Vikhammer							
Ranheim							
Leangen							
Lilleby							
Lademoen							
Trondheim S							
Skansen							
Marienburg							
Lerkendal							
Selsbakk							
Heimdal							
Nypan							
Melhus skysstasjon							

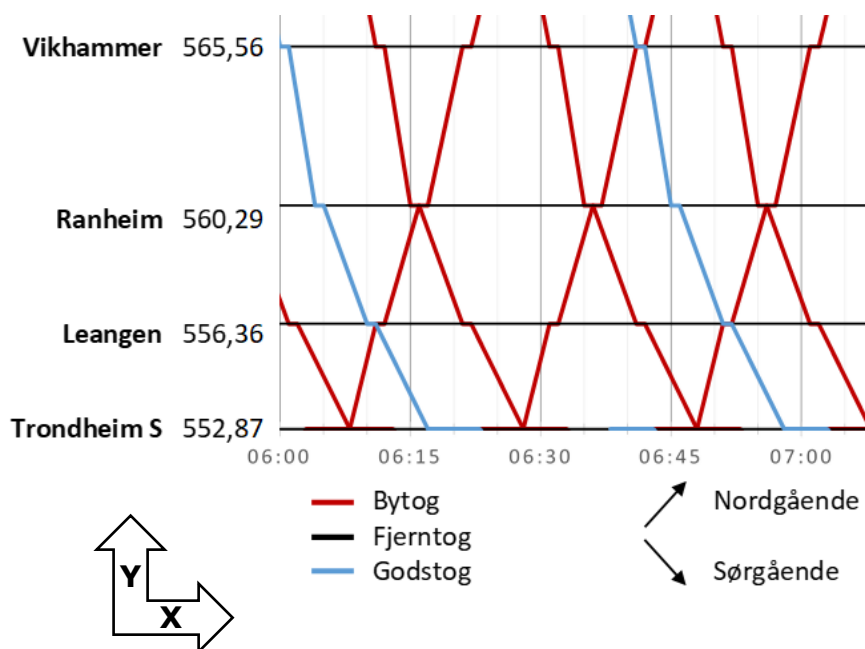
Befolkningsanalysene viser en liknende trend (Vedlegg 7b og 8b), hvor befolkningen i dag langs jernbanen er mest konsentrert mellom Trondheim S og Lilleby og befolkningen 2050 utvider dette strekket fra Skansen til Leangen, i tillegg til Ranheim. Det er også et strekke mellom Selsbakk og Heimdal som får en stor befolkningsvekst (Flatåsen-Kolstad), fra mellom 6000-12000 personer i dag til en dobling med over 24000 i 2050 (Vedlegg 7a og 8a). I Tabell 4-4 ser en at de eksisterende holdeplassene mellom Skansen og Ranheim har over 6000 innbyggere innen 20 minutters gangavstand, mens det for de øvrige holdeplassene er jevnt over lavt antall innbyggere. Dette tilsier et lavere mulig passasjergrunnlag for holdeplasser lenger unna Trondheim sentrum, med Stjørdal som eneste unntak. Dette tettstedet har mellom 6001-12000 innbyggere innen 20 minutters gangavstand.

4.3 Forslag til nye grafiske ruteplaner

Forskningsspørsmål 3: *Hvordan kan et nytt rutetilbud for bytog se ut i og rundt Trondheim og hvordan vil det påvirke togtrafikken dersom det legges opp til økt avgangsfrekvens?*

Det er blitt utarbeidet fire ulike alternativer til grafiske ruteplaner; minimumsalternativet, maksalternativet, middelalternativet og middelalternativet D1 (mer om dette senere). Disse skal besvare Forskningsspørsmål 3 og illustrerer hvordan ruteplanene kan legges opp for å innfri de forventningene som er satt. Det vil også bli lagt lys på hvilke deler av ruteplanene som gjør dem komplekse og sammensatte, og legger føringer for oppsettene. Alternativene vil presenteres hver for seg, og de legges inn som fullt detaljerte vedlegg i slutten av oppgaven. Der hvor det er forutsatt dobbeltspor, er hvert enkelt spor lagt inn separat. I tillegg er ruteplanene delt inn i strekningen Stjørdal – Trondheim S og strekningen Trondheim S – Melhus skysstasjon. Dette er for å gi høy nok oppløsning og god lesbarhet for ruteoppleggene. Dette gjør at vedleggene vil kunne ha suffikser som a, b, c og d. Nedenfor vil det vises et grovt overblikk over den fullstendige ruteplanen for hvert alternativ, hvor strekningen Stjørdal – Melhus er illustrert i sin helhet.

For å lese de grafiske ruteplanene er det viktig å se for seg x-aksen som tid og y-aksen som posisjon. Tidsaksen starter kl.6.00 og slutter kl.9.00, og posisjonen er proporsjonal med km-avstanden til Oslo S. I Figur 4-7 man et utsnitt av hvordan aksene ser ut i vedleggene. De vertikale støttelinjene i grafen markerer hvert kvarter i tidsrommet. De tykkere horisontale støttelinjene betegner posisjonen til stasjonene langs jernbanetraséen hvor tog kan krysse. Øvrige togstopp er ikke tatt med i grafen av den grunn at de er overflødige for en slik fremstilling, da tog ikke kan krysse her. Ellers viser røde linjer bytog (persontog), blå linjer godstog og sorte linjer fjerntog.



Figur 4-7: Utsnitt av aksene i de grafiske ruteplanene, x-akse som tidspunkt og y-akse som km-avstand til Oslo S

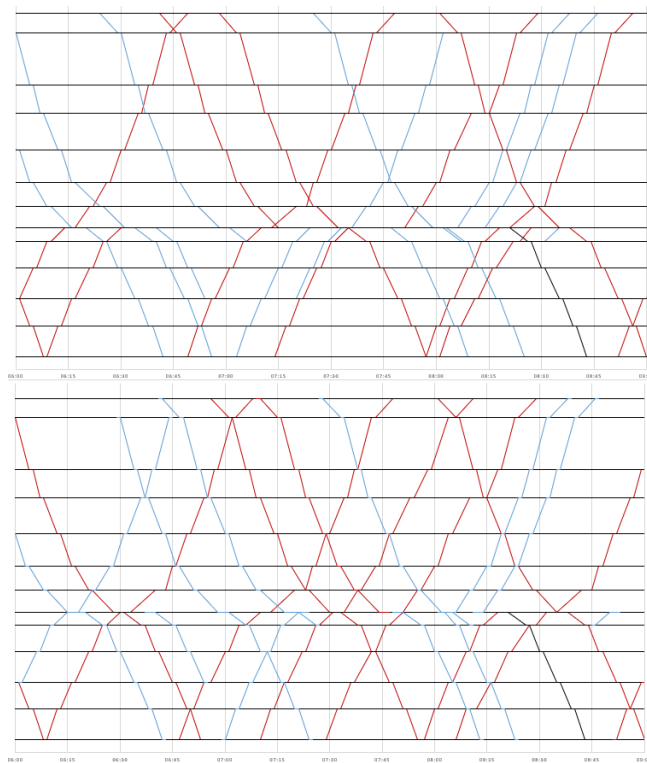
Felles for alle alternativene er en eventuell utbedring og forlengelse av plattformer der det er nødvendig, slik det er beskrevet i Rejlers (2016). I tillegg forutsettes det samtidig innkjør og oppgradert signalsystem (ERTMS) på hele strekningen Stjørdal – Melhus. Ettersom kjøretidene mellom stasjonene er basert på dagens situasjon uten samtidig innkjør, kan man generelt sett anta at det vil være et par minutter «til gode». Dette betyr i praksis at togene i de nye ruteplanene egentlig vil være litt mindre avhengige av hverandres punktlighet. Men ettersom det er lagt opp til en betydelig frekvensøkning i alle alternativene, er det valgt å ikke ta hensyn til eventuelle kortere kjøretider mellom stasjoner. Dette for å gjøre ruteplanene litt mer robuste i tilfelle forsinkelser.

En annen fellesnevner for alternativene er at bytogreiser inn mot Trondheim er prioritert. Dette vil si at når det har vært utfordrende å få ruteplanene til å gå opp, har bytog som kjører inn mot Trondheim i mindre grad blitt «forstyrret». Kryssende tog som skal andre veien kan da måtte risikere å vente et par minutter på en stasjon, eller at kjøretiden mellom to stasjoner øker med et par minutter. Dette gjelder spesielt for godstogene, hvor det flere ganger er en klar prioritering av bytog over godstog. Dette gjør at reisetiden på strekningene Trondheim S – Stjørdal og Trondheim S – Melhus vil være et par minutter lenger enn motgående bytog. Begrunnelsen ligger i at det i morgentimene mellom 6.00 og 9.00 vil være et større antall reisende inn mot arbeidsplasser i Trondheim enn andre steder langs jernbanen. Dette støttes opp med beregninger av antall sysselsatte i nærheten av sentrumsnære stasjoner og holdeplasser som beskrevet i kapittel 4.2. Det legges dessuten opp til at denne prioriteringen burde inverteres på ettermiddagen, hvor da tog som er på vei ut av Trondheim i større grad kommer raskere frem og effekten vil være motsatt.

Minimumsalternativet

Dette alternativet bygger som nevnt tidligere på dagens ruteplan, Rutetermin 20. En oversikt over resultatet vises side om side med dagens opplegg i Figur 4-8. Detaljert grafisk ruteplan finnes i slutten av oppgaven som Vedlegg 10. Som en ser likner minimumsalternativet på dagens ruteplan. Legg merke til at det er små unøyaktigheter i dagens oppsett, dette er fordi det er skrevet inn manuelt og kjøretidene har variert noe

fra tog til tog. Den største forandringen man ser i den nye ruteplanen er at det er flere gjennomgående tog mellom Stjørdal og Melhus, med 5 nordgående og 3 sørgående tog i dette alternativet kontra 3 nordgående og 2 sørgående tog i Rutetermin 20. I tillegg er nå persontogene (bytog nå) blitt jevnere fordelt utover de tre timene, hvorpå det er litt lenger mellom enkelte avganger sørfra mot Trondheim, men til gjengjeld flere avganger.



Figur 4-8: Dagens Rutetermin 20 til venstre, minimumsalternativet til høyre

En oppsummering av hvilke tog som er tatt med i ruteplanene finnes i Tabell 4-5 hvor alle data er avlest manuelt fra Rutetermin 20. Det vil være totalt ett fjerntog, nr.42, som drar fra Trondheim i retning Oslo S, 12 persontog (blanding av lokaltog og regiontog) og 13 godstog som trafikkerer deler av strekningen Stjørdal – Melhus mellom kl.6.00 og 9.00. Følgene endringer foreslås for å øke antall avganger mellom Stjørdal og Melhus i dette tidsrommet:

- 405 forlenges fra Trondheim til Stjørdal
- 476 forlenges fra Trondheim til Melhus
- 423 forlenges fra Heimdal til Melhus
- 476 bytter plass og starttidspunkt med 1706
- 423 bytter plass og starttidspunkt med 1771
- 427 bytter plass og starttidspunkt med 407
- Nytt tog settes opp fra Stjørdal til Trondheim

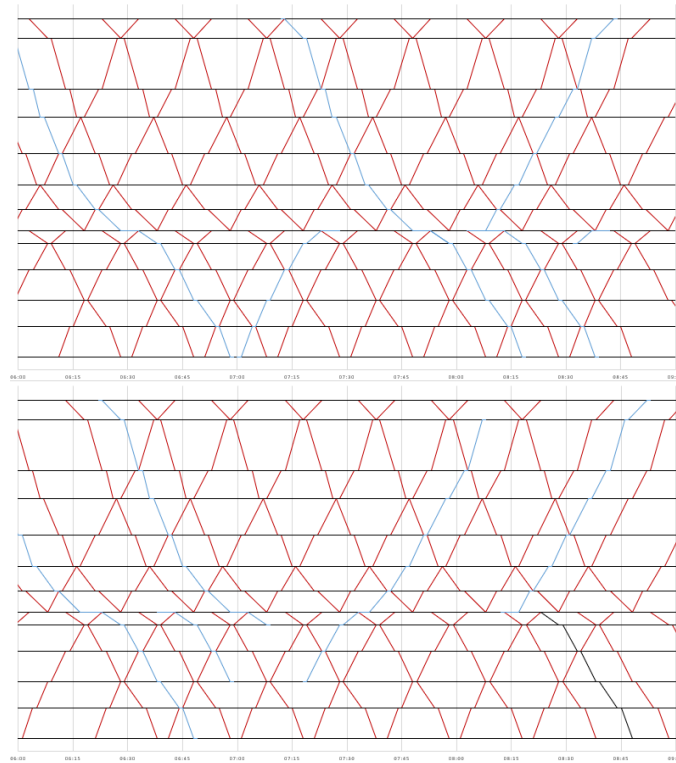
Tabell 4-5: Togavganger fra Rutetermin 20, med informasjon om retning, type tog og eventuelt hvor kjørestrekningen er forlenget

Tognummer	Retning	Type tog
42	Nordgående	Fjerntog (til Oslo S)
410, 422, 424, 476	Sørgående	Persontog
405, 407, 411, 423, 425, 427, 429, 471	Nordgående	Persontog
1706, 1708, 1710, 1760, 1762, 4810, 5738, 5792	Sørgående	Godstog
1759, 1771, 5735, 5795, 5797/5799	Nordgående	Godstog

Maksalternativet

Med grunnantakelsen om at det bygges dobbeltspor fra Trondheim S til Stjørdal, så er det mulig å gjennomføre et ruteopplegg for bytog med 10-minuttersintervaller i hver retning. Dette resulterer i en avgangsfrekvens på 6 tog i timen i hver retning, eksklusiv godstog og fjerntog. En oversikt over resultatet vises i Figur 4-9. Detaljert grafisk ruteplan finnes i slutten av oppgaven som Vedlegg 11.

I maksalternativet ser man at helningen på bytog-strekene i grafene er brattere for sørgående tog mellom Stjørdal og Trondheim, og likeså for nordgående tog mellom Melhus og Trondheim s. Dette samsvarer med prioriteringene som ble beskrevet i starten av delkapittelet, hvor tog på vei inn mot Trondheim sentrum har «forkjørsrett». Når det gjelder godstogene er det ingen store konflikter, men det er tett mellom godstogene og bytogene med avganger rett før og etter. Derfor er også godstogene forsøkt fordelt på de to sporene, slik at eventuelle forsinkelser gir rom for at godstogene kan vente på neste «luke» i ruteplanen for å ikke forstyrre resten av bytogene. Et mulig kapasitetsproblem kan oppstå når fjerntoget på spor 2 (sort linje) kjører fra Trondheim S rett før halv ni, noe som overlapper med godstoget på spor 1. Her er det mindre rom for forsinkelser enn ellers, men da legges det opp til at det er godstoget som må vente og at fjerntogets punktlighet skal prioriteres ettersom dette i størst grad vil påvirke togtrafikken utenfor studieområdet.



Figur 4-9: Maksalternativet, Spor 1 ovenfor Spor 2

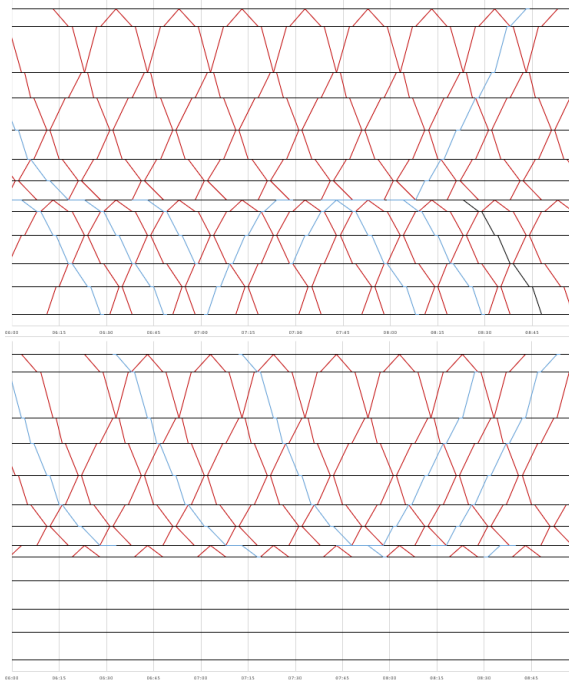
Middelalternativet

Minimumsalternativet og maksalternativet har som formål å vise de to ytterpunktene når det gjelder hvor mange tiltak og utbedringer en kan legge inn på ruteplanen. Det er derfor også utarbeidet et middelalternativ som skal være et mindre drastisk tiltak enn maksalternativet, men likevel skal inneha en betydelig endring og forslag til forbedring av dagens rutetilbud. Dette innebærer en forutsetning om at det gjennomføres en utbygging av dobbeltspor mellom Stjørdal og Trondheim, men at det forblir enkeltspor mellom Trondheim og Melhus.

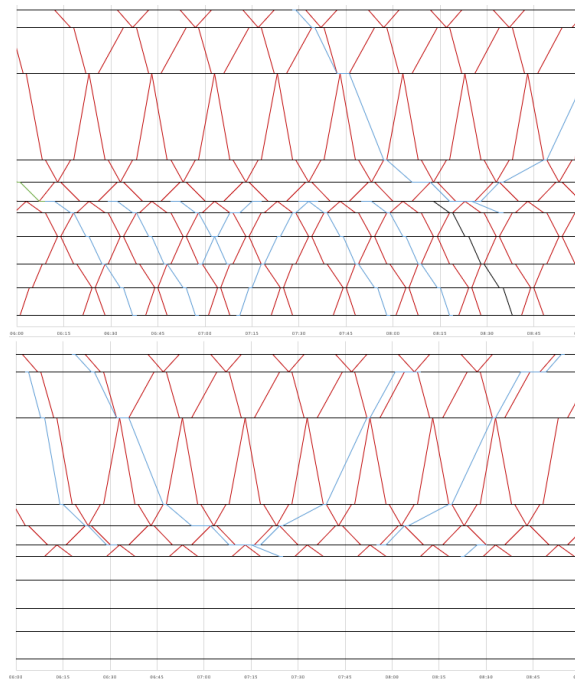
Gjennom arbeidet med middelalternativet har utredningen «Dobbeltspor Trondheim – Stjørdal» (Norconsult, 2018a) gitt føringer på hvordan ruteplanene ble laget. Utredningen anbefaler at det nye dobbeltsporet bør ligge lenger sør for det eksisterende sporet, og gå i tunnel store deler av strekningen mellom Ranheim og Hommelvik. Dette er i utredningen kalt «Alternativ D1», og gjør at holdeplassene Vikhammer og Midtsandan utgår i ruteplanen. For å få frem dette alternativet er det altså blitt besluttet å utarbeide to middelalternativer, ett kalt «middelalternativet» og ett kalt «middelalternativet D1». En oversikt over resultatene fra disse to ruteplanene vises i Figur 4-10 og Figur 4-11. Detaljerte grafiske ruteplaner finnes i slutten av oppgaven som Vedlegg 12 og Vedlegg 13.

Disse to middelalternativene er satt opp på samme måte som maksalternativet på strekningen Stjørdal – Trondheim, mens det på grunn av enkeltspor sørover er lagt opp til et mer begrenset togtilbud. Dette resulterer i at det også her er mulig å gjennomføre et ruteopplegg for bytog med 10-minuttersintervaller i hver retning nord for Trondheim, mens det sørover vil være lagt opp til 20-minuttersintervaller for bytogene. Dette resulterer i en avgangsfrekvens på 6 tog i timen i hver retning mellom Stjørdal og Trondheim, og en avgangsfrekvens på 3 tog i timen i hver retning mellom Trondheim og Melhus, eksklusiv godstog og fjerntog.

Som en ser i Figur 4-10 og Figur 4-11, er oppsettene noe forskjøvet i forhold til hverandre. Dette er fordi middelalternativ D1 har vært utfordrende å sette opp når det ikke har vært mulig for tog å krysse mellom Ranheim og Hommelvik. Dette fører til at alle togene er svært avhengige av å rekke disse krysningene, og at det ikke har vært mulig å rekke krysningen på Hell uten å legge inn økt kjøretid og ventetid på stasjonene før/etter. I middelalternativ D1 kan man dessuten tydelig se hvordan godstogene får en dobling av kjøretid nord for Trondheim, da det er veldig vanskelig å rekke krysningene mellom bytogene. Dette er selvsagt ikke optimalt, men kan kanskje unngås dersom det eksisterende enkeltsporet på denne strekningen kan benyttes utelukkende for godstrafikken. Dette er ikke undersøkt i detalj, men burde ses på videre i en senere utredning.



Figur 4-10: Middellalternativet, Spor 1 ovenfor Spor 2



Figur 4-11: Middellalternativet D1, Spor 1 ovenfor Spor 2

4.4 Endring i tilbud og etterspørsel etter innføring av bytogtilbud

Forskningsspørsmål 4: *Hvordan vil en endring i togtilbudet i og rundt Trondheim kunne påvirke etterspørselen?*

For å besvare Forskningsspørsmål 4 er det beregnet ulike parametere knyttet til reisetid med bil, buss og tog/bytog. Disse er sammenliknet i form av totale reisetider dør-til-dør, effekter på forventede endringer i passasjergrunnlag og reisetidsforhold for tre eksempler på reisestrekninger langs jernbanen i Trondheimsområdet.

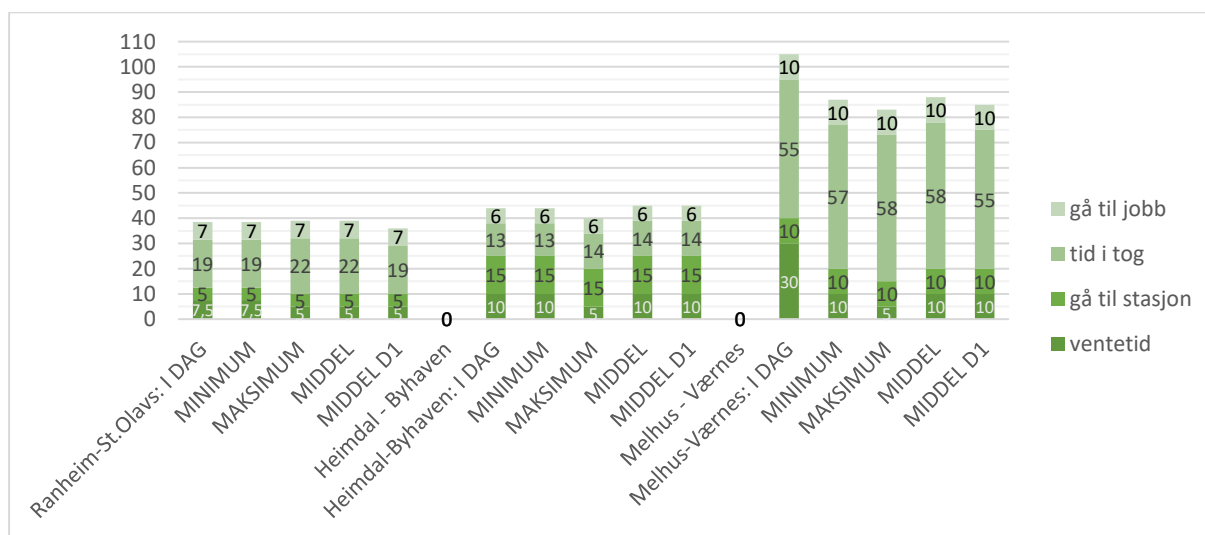
For å regne på totale reisetider for de tre eksempelpassasjerene nevnt i Kapittel 3.4 er det estimatene for de øvrige reisetidskomponentene i Tabell 4-6 lagt til grunn. Disse er valgt fritt etter egne antakelser, og er bare til for å illustrere en tilfeldig reise. Det er for eksempel antatt at alle de tre reisende vil bruke 2 minutter på å gå hjemmefra til de er i bilen sin og denne er startet opp. Dette er muligens lite estimat, men det er regnet som mer gunstig for beregningene å gi bilreiser litt mer fordelaktige parametere i forhold til togreiser. Dette

er for å ikke favorisere togreiser og heller gjøre sammenlikningen mer realistisk, ved å unngå for positive estimater. Gangtider fra stasjon til arbeidsplass er basert på Google sin karttjeneste «Google maps» sine forslag til veibeskrivelse for bil og gange. Det antas at det for alle passasjerene tar 5 minutter å finne en parkeringsplass samt å parkere. For Passasjer nr.1 og 3 antas det at det finnes personalparkering nær arbeidsplassen, hvorpå det er litt kortere å gå til St. Olavs enn til Værnes fra parkeringen. For Passasjer nr.2 er det antatt at parkeringen under Trondheim Torg benyttes, hvorpå Google maps anslår 7 minutters gangtid til Byhaven. Reisetider for bil er valgt i rushtiden med ankomst omtrent kl.8 på arbeidsplassen, slik at togtilbudet likevel skal få en sjanse til å konkurrere i dette kritiske tidspunktet på døgnet.

Tabell 4-6: Valgte parametere for de ulike eksempelreisene

Reisestrekning	Gå til stasjon	Gå til jobb fra stasjon	Gå til bil	Tid i bil	Parkere	Gå til jobb fra parkering
Ranheim – St.Olavs	5 min	7 min	2 min	22 min	5 min	3 min
Heimdal – Byhaven	15 min	6 min	2 min	35 min	5 min	7 min
Melhus – Værnes	10 min	10 min	2 min	50 min	5 min	5 min

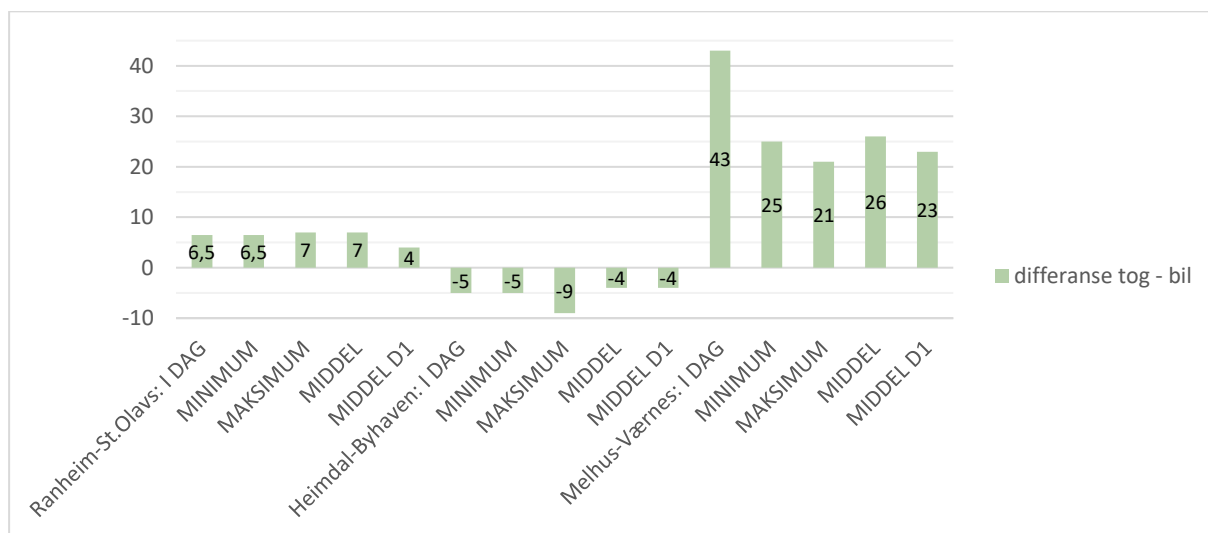
I Figur 4-12 er alle reisetidskomponentene beskrevet i minutter for hver av de tre eksempelreisene, for hvert nye forslag til ruteplan. Som en ser i figuren er det tid i tog (kjøretid) som utgjør den største delen av alle tre eksempelreisende. Men det er en klar forskjell fra Passasjer nr.1 og 2 til nr.3, hvor det er tydelig at reisen Melhus – Værnes er betraktelig lenger. Det er også her at ventetiden endres mest fra «I DAG» til alle de 4 alternativene til ny ruteplan.



Figur 4-12: Reisetidskomponenter for arbeidsreise med tog for tre eksempelreiser

Ved å summere alle reisetidskomponenter får man et eksempel på total reisetid fra hjem til jobb. Reisetidskomponentene for bilreise til jobb er satt som konstante før og etter et eventuelt nytt rutetilbud, slik at total reisetid med bil vil være summen av alle reisetidskomponentene for bil i Tabell 4-6. I Figur 4-13 er differansen mellom total reisetid for de tre arbeidsreisene vist, beregnet som (total tid ved bruk av tog) - (total tid ved bruk av bil). Dette betyr at et positivt tall betegner en større total reisetid med tog enn bil, noe

som gjør at det i det tilfellet vil være raskere å ta bilen til jobb enn å ta toget. Dette gjelder for Passasjer nr. 1 og nr.3, men her er det store forskjeller på gunstigheten ved bil over tog. Passasjer nr. 3 har en klar fordel av å benytte bilen, selv om reistidsdifferansen senkes fra 43 til 21 minutter i maksalternativet. For Passasjer nr. 1 ligger det jevnt mellom 4 og 7 minutters differanse, noe som en kan se at i Figur 4-12 ikke utgjør mer enn omtrent en tredel av tid i tog. For Passasjer nr. 2 som skal fra Heimdal til Byhaven er det derimot et motsatt resultat, hvor det er mellom 4 og 9 minutter raskere totalt sett å ta toget til jobb fremfor å ta bilen. 9 minutter er over halvparten av tid i tog på samme strekningen, til forskjell fra de to andre eksempelreisene. Det store utslaget her ligger i at reisetid med bil i rushet er beregnet til 35 minutter (Tabell 4-6) med bil og 15 min med tog.



Figur 4-13: Totale reisetidsdifferanser mellom tog og bil til jobb for tre eksempelreiser

Ved en endring av tilbudet forventes det en endring av etterspørselen i transportmarkedet. Endringer av togtilbudet i Trondheim i form av de ulike bytog-alternativene kan kvantifiseres ved hjelp av ventetidsendringer og reisetidsendringer for de reisende. Basert på estimatene for elastisiteter nevnt i Kapittel 3.4 vil dette kunne endre passasjergrunnlaget for de tre eksempelreisene slik det er vist i Tabell 4-7, Tabell 4-8 og Tabell 4-9. Her ser man hvordan minkende ventetid som følge av økte avgangsfrekvenser for flere av ruteplan-alternativene gir positive relative passasjerendringer på opptil 10,3% for Ranheim-St. Olavs, 15,5% for Heimdal-Byhaven og 25,8% for Melhus-Værnes. De økte avgangsfrekvensene fører til mer kompliserte ruteplaner, hvorpå det for alle de tre eksempelreisene enten er ingen endring eller en økning i reisetid med tog. Dette medfører negative relative passasjerendringer ned mot -10,3% for Ranheim-St. Olavs, -5,0% for Heimdal-Byhaven og -3,6% for Melhus-Værnes.

For reisen Ranheim-St. Olavs vil de fleste nye ruteplanene gi en like stor forventet passasjerøkning på grunn av ventetidsendringen som negativ forventet passasjerendring på grunn av økte reisetider. Det vil ikke være riktig å sammenstille disse to prosentvise endringene slik at «summen» blir 0% passasjervekst, da det vil være flere andre faktorer som spiller inn. Men det er likevel en grei fremstilling av hvor stor effekt endringer av rutetilbudet vil kunne ha på passasjergrunnlaget. For Heimdal-Byhaven er det kun maksalternativet som senker ventetiden, noe som gir en forventet passasjerøkning på 15,5%. Her vil reisetiden øke for maks, middel og middel D1-alternativene og gi en negativ endring på 5,0%. For Melhus-Værnes ser en den største forventede passasjerendringen, på over 20% økning for alle ruteplan-alternativer. Reisetiden økes ikke betraktelig i forhold

til den opprinnelige reisetiden i dag, noe som fører til negative forventede passasjerendringer på under -5%.

Tabell 4-7: Passasjerendring som følge av elastisiteter, Ranheim – Marienborg

Ranheim – St.Olavs	Ventetid	Ventetids- endring	Passasjer- endring	Reisetid	Reisetids- endring	Passasjer- endring
I DAG	7,5 min	-	-	19 min	-	-
MINIMUM	7,5 min	0,0 %	0,0 %	19 min	0,0 %	0,0 %
MAKSIMUM	5 min	33,3 %	10,3 %	22 min	-15,8 %	-10,3 %
MIDDEL	5 min	33,3 %	10,3 %	22 min	-15,8 %	-10,3 %
MIDDEL D1	5 min	33,3 %	10,3 %	19 min	0,0 %	0,0 %

Tabell 4-8: Passasjerendring som følge av elastisiteter, Heimdal – Trondheim S

Heimdal – Byhaven	Ventetid	Ventetids- endring	Passasjer- endring	Reisetid	Reisetids- endring	Passasjer- endring
I DAG	10 min	-	-	13 min	-	-
MINIMUM	10 min	0,0 %	0,0 %	13 min	0,0 %	0,0 %
MAKSIMUM	5 min	50,0 %	15,5 %	14 min	-7,7 %	-5,0 %
MIDDEL	10 min	0,0 %	0,0 %	14 min	-7,7 %	-5,0 %
MIDDEL D1	10 min	0,0 %	0,0 %	14 min	-7,7 %	-5,0 %

Tabell 4-9: Passasjerendring som følge av elastisiteter, Melhus skysstasjon – Værnes

Melhus – Værnes	Ventetid	Ventetids- endring	Passasjer- endring	Reisetid	Reisetids- endring	Passasjer- endring
I DAG	30 min	-	-	55 min	-	-
MINIMUM	10 min	66,7 %	20,7 %	57 min	-3,6 %	-2,4 %
MAKSIMUM	5 min	83,3 %	25,8 %	58 min	-5,5 %	-3,6 %
MIDDEL	10 min	66,7 %	20,7 %	58 min	-5,5 %	-3,6 %
MIDDEL D1	10 min	66,7 %	20,7 %	55 min	0,0 %	0,0 %

4.4.1 Reisetidsforhold mellom bytog og andre reisemidler

I Tabell 4-10 vises reisetidsforholdet mellom tog og buss for de tre eksempelpassasjerene, og i Tabell 4-11 vises tilsvarende tabell, men for reisetidsforholdet mellom tog og bil. Reisetidene i buss er beregnet ved hjelp av Entur sin ruteplanlegger, hvor det er lagt inn reiser mellom følgende holdeplasser: Ranheim (like ved Ranheim stasjon) til Studentersamfundet (like ved St. Olavs hospital), Heimdal stasjon til Olav Tryggvasons gate (like ved Byhaven) og fra Melhus skysstasjon til Trondheim lufthavn Lufthavnveien (her gikk det ingen direkte buss, slik at det i ruteplanleggeren ble lagt til en overgang på Trondheim S til ny buss). Reisetider med bil er de samme som i kolonnen «tid i bil» i Tabell 4-6, og er medregnet forventede forsinkelser på grunn av kø i rushtiden før 8.00 om morgenen. Verken busstidene eller togtidene har tatt hensyn til eventuelle forsinkelser pga. kø eller signalfeil, noe som vil virke positivt i deres favør.

Som en ser i Tabell 4-10, ligger forholdstallet for tog/buss alltid under 1, selv for ruteplansalternativ i dag, som altså beskriver dagens togtilbud. Dette betyr altså at tiden en reiser med toget er mindre enn tiden en ville brukt med buss for alle de tre

eksempelreisene. For reisen Ranheim-St. Olavs ligger forholdstallet mellom 0,7 og 0,8, for Heimdal-Byhaven ligger det mellom 0,4 og 0,5 og for Melhus-Værnes ligger det på 0,9. 0,7-0,8 tilsier en fordel ved toget over bussen, mens 0,9 vil være så tett opp mot 1 at det kun er en liten reisetidsforskjell mellom reisemidlene. 0,4-0,5 derimot betyr at reisetiden halveres dersom en benytter tog i stedet for buss som kollektivreisemiddel. Det er stort sett liten forskjell mellom forholdstallene innenfor en reisestrekning for dagens situasjon og de nye ruteplanene for bytog, med kun en liten økning på forholdstall for maksalternativet og middelalternativene.

Forholdstallene i Tabell 4-11 viser at det kun er reisen Heimdal-Byhaven som for alle ruteplanalternativene vil være raskere med tog enn med bil. Her ligger forholdstallet mellom 0,4 og 0,5 og viser at det er mer enn dobbelt så raskt å ta toget på denne strekningen sammenliknet å kjøre bil. Reisen Ranheim-St. Olavs ligger på 0,9 for i dag, minimum og middel D1, og på 1 for de andre ruteplanalternativene. Det vil si at toget er omtrent like raskt som bil. For reisen Melhus-Værnes er det for alle alternativene et forholdstall på 1,1-1,2, med størst forholdstall for middel og maks-alternativene. For denne reisen vil det være litt raskere å ta bil i stedet for tog.

Tabell 4-10: Reisetidsforhold mellom tog og buss

Reisestrekning	Ruteplan	Kjøretid tog	Kjøretid buss	Reisetidsforhold tog/buss
Ranheim – St. Olavs	I DAG	19 min	27 min	0,7
	MINIMUM	19 min	27 min	0,7
	MAKSIMUM	22 min	27 min	0,8
	MIDDEL	22 min	27 min	0,8
	MIDDEL D1	19 min	27 min	0,7
Heimdal – Byhaven	I DAG	13 min	30 min	0,4
	MINIMUM	13 min	30 min	0,4
	MAKSIMUM	14 min	30 min	0,5
	MIDDEL	14 min	30 min	0,5
	MIDDEL D1	14 min	30 min	0,5
Melhus – Værnes	I DAG	55 min	64 min	0,9
	MINIMUM	57 min	64 min	0,9
	MAKSIMUM	58 min	64 min	0,9
	MIDDEL	58 min	64 min	0,9
	MIDDEL D1	55 min	64 min	0,9

Tabell 4-11: Reisetidsforhold mellom tog og bil

Reisestrekning	Ruteplan	Kjøretid tog	Kjøretid bil	Reisetidsforhold tog/bil
Ranheim – St. Olavs	I DAG	19 min	22 min	0,9
	MINIMUM	19 min	22 min	0,9
	MAKSIMUM	22 min	22 min	1,0
	MIDDEL	22 min	22 min	1,0
	MIDDEL D1	19 min	22 min	0,9
Heimdal – Byhaven	I DAG	13 min	35 min	0,4
	MINIMUM	13 min	35 min	0,4
	MAKSIMUM	14 min	35 min	0,4
	MIDDEL	14 min	35 min	0,4
	MIDDEL D1	14 min	35 min	0,4
Melhus – Værnes	I DAG	55 min	50 min	1,1
	MINIMUM	57 min	50 min	1,1
	MAKSIMUM	58 min	50 min	1,2
	MIDDEL	58 min	50 min	1,2
	MIDDEL D1	55 min	50 min	1,1

5 Avslutning og refleksjon

Basert på resultatene som fremkommer av litteraturgjennomgangen, analysene og beregningene i denne oppgaven vil jeg nå forsøke å svare på problemstillingen ved å ta for meg hvert av forskningsspørsmålene og til slutt diskutere dem samlet sett.

Forskningsspørsmål 1: *Hvordan er mulighetene for et bytog i Trondheim, basert på tidligere, nåværende og fremtidige planer, utredninger og fremtidsutsikter for jernbanen og generell transport- og arealutvikling i og rundt Trondheim?*

Nullvekstmålet legger grunnlaget for hele oppgaven ved å legge opp til en endring av reisevanene til Trondheims innbyggere. For å unngå at den forventede veksten i persontransport som følge av befolkningsvekst blir tatt med bil, må det legges til rette for gange, sykkel og kollektivtransport. På grunn av Trondheimsområdets geografiske utstrekning er det hovedsakelig kollektivtransport som er i fokus for reiser utenfor Trondheim sentrum. Det har lenge blitt arbeidet med å videreutvikle kollektivtilbudet i Trondheims byregion, men dette har utelukkende vært rettet mot bussnettet, blant annet i form av Metrobussen. Togtilbudet derimot har ikke i lik grad blitt prioritert da tidligere bybaneutredninger og utredning om bytog ikke har hatt gunstige resultater. I tråd med Miljøpakkens målsetninger, er et forbedret togtilbud med elektrisk framdrift i form av bytog et steg i riktig retning mot et bærekraftig samfunn, og arbeidet med elektrifisering av Nordlandsbanen kan sees på som «startskuddet» for en slik miljøvennlig utvikling. Byutredningene anbefaler dessuten en kollektivtransportrettet og samordnet areal- og transportplanlegging, noe som vil kunne bidra til økt tilgjengelighet og mobilitet for Trondheimområdet innbyggere.

En oppsummering av tidligere utredninger for ulike banetilbud i Trondheim indikerer at en bybaneløsning lik den som for eksempel finnes i Bergen, ikke er noe Trondheim burde satse på. En superbuss/Metrobuss vil da heller være en mer passende løsning. Dette begrunnes blant annet med at Trondheim har en utfordrende bystruktur for et banetilbud, hvor det vil være vanskelig å tilby god tilgjengelighet til banen for store deler av befolkningen. Trondheimsområdet har også en utfordrende geografi med store høydeforskjeller i terrenget, og problematikk rundt risiko for kvikkleireskred er forventet å medføre høyere byggekostnader. Et utbredt bussnett vil kunne dekke innbyggernes behov på en bedre måte, da det er lettere å tilpasse rutetilbudet til hvor folk bor og arbeider, ettersom det kan baseres på det eksisterende vegnettet. Investeringskostnadene for busstilbud er lavere enn ved en baneløsning, og vedlikeholdet likeså, ettersom det vil inngå i den ordinære biltrafikken. Per høsten 2019 er Metrobuss-løsningen nå implementert i Trondheim, og ettersom bybane ikke anbefales som løsning ser det ut til at eneste reelle muligheten for et nytt banetilbud i Trondheim må baseres på det eksisterende jernbanenettet. Derfor vil det være potensialet i dagens jernbanetrasé som setter rammer for mulighetene til å danne Trondheimsområdets nye kollektivtransporttilbud på skinner.

Dersom passasjergrunnlaget økes ved at befolkningsvekst og arealutbygging fordeles nært stasjonsområdene til jernbanen, er det grunn til å tro at en ny fullstendig bytogutredning kan ta stafettpinnen videre fra bytogutredningen i 2003 og gjennomføres på nytt i lys av de nye målsetningene til Miljøpakken og oppdaterte data.

Samlet sett er dagens fremtidsutsikter for Trondheim og omegn positivt vinklet mot knutepunktsutbygging langs jernbanen, hvorpå mulighetene for et bytogtilbud styrkes i form av bedre tilgjengelighet til stasjon og et økt passasjergrunnlag. En slik opprustning i form av et nytt bytogtilbud vurderes derfor på sikt å være mulig å gjennomføre, basert på allerede eksisterende utredninger og Trondheimsområdets gjeldende fremtidsutsikter for byutvikling.

Forskningsspørsmål 2: *Hvor mange har god tilgjengelighet til holdeplasser langs jernbanen i dag og i 2050, i og rundt Trondheim?*

Dagens holdeplasstruktur og tilgjengeligheten rundt denne har stort sett sammenheng med hvor innbyggerne i og rundt Trondheim bor og arbeider. Særlig i områdene nærsentrum av Trondheim, i tillegg til Stjørdal, er det relativt god tilgjengelighet for et høyt potensielt passasjergrunnlag. Det er likevel flere holdeplasser som ikke har en optimal plassering med tanke på befolkningsmønsteret. Ut ifra nettverksanalysene er det særlig holdeplassene Stjørdal, Lademoen, Skansen og Lerkendal som utmerker seg med over 6000 personer innen gangavstand til hjem eller arbeid. Her vil det være fordelaktig å tilrettelegge for økt antall passasjerer i fremtiden, blant annet gjennom oppgradering av stasjonsområdene slik at flere velger å ta toget.

Totalt sett vil det mot 2050 være en dobling av antall innbyggere i nærheten av jernbanens holdeplasser i og rundt Trondheim, fra omtrent 74000 til 151 000 personer. Hvis antallet sysselsatte er likt dagens nivå, tilsvarer dette en økning på 90 000 personer (gitt at folk ikke arbeider i samme område hvor de bor), og det forventes også at flere bosatte medfører en økning i arbeidsplasser. Et totalt maksimalt potensial til passasjergrunnlag på 241 000 gir et godt utgangspunkt for en fremtidig økning i kollektivandeler. Videre fremkommer det av analysene at dagens holdeplasstruktur stort sett samsvarer med befolkningsmønsteret i Trondheimsområdet, men det finnes også rom for optimalisering. Blant annet kunne holdeplassen på Lerkendal gis en viktigere rolle ettersom potensielt passasjergrunnlag her er særdeles høyt i forhold til andre holdeplasser. I tillegg er det et stort befolkningspotensial i 2050 mellom Flatåsen og Kolstad, estimert på over 24 000 personer, som kan være stort nok grunnlag for å vurdere å etablere en ny holdeplass i området.

Forskningsspørsmål 3: *Hvordan kan et nytt rutetilbud for bytog se ut og hvordan vil det påvirke togtrafikken dersom det legges opp til økt avgangsfrekvens?*

Minimumsalternativet til en ny ruteplan er mulig å oppnå uten å bygge dobbeltspor. Dette inkluderer mer faste avganger i timer, og forlengede pendelruter mellom Stjørdal og Melhus. Men en slik begrenset oppdatering av tilbudet vil ikke kunne øke frekvensen nok til å gjøre en stor forskjell i tilbudet. Dette er fordi at godstrafikken fortsatt må kunne avvikles på normal måte, og dermed begrenser antallet persontog (bytog) som kan kjøre innenfor det samme tidsrommet. Likevel kan dette alternativet være en god måte å starte overgangen til et mer gjennomført og oppgradert bytogtilbud senere. I praksis vil det ikke være behov for noen større oppgraderinger på jernbaneinfrastrukturen, sett bort ifra den allerede planlagte fornyelsen av signalsystemet i form av ERTMS.

Motparten til minimumsalternativet er maksalternativet; full utvidelse til dobbeltspor på Trønderbanen mellom Stjørdal og Melhus og 6 avganger i timen i hver retning. Denne ruteplanen er mulig å gjennomføre for dobbeltspor, men forutsetter at ERTMS er ferdig implementert på strekningen. Ruteplanen er sårbar for forsinkelser, da det er mange

togkryssinger som må tas hensyn til, både av bytog og godstog. Men så lenge punktligheten holder det høye nivået som er forventet av ERTMS, vurderes ruteplanen som gjennomførbar. Et slikt tilbud burde være det en streber etter å oppnå, da det setter bytoget på agendaen i Trondheim og promoterer økt bruk av toget.

Middelalternativet likner maksalternativet, men sør for Trondheim er det ikke lagt opp til dobbeltspor. Dette vil si at frekvensen halveres til tre tog i timen. Ruteplanen er mulig å gjennomføre, og i likhet med maksalternativet vurderes det til å være et godt alternativ for Trondheim. Det er dessuten sør for Trondheim at det er større forekomster av kvikkleire, slik at en i denne ruteplanen vil kunne unngå store investeringskostnader. Dessuten vil 10-minuttersavganger mellom Stjørdal og Trondheim kunne gli sømløst over i 20-minuttersavgangen mellom Trondheim og Melhus. Dersom det på et senere tidspunkt vurderes å forlenge dobbeltsporet enda lenger sør, kan 10-minutterspendelen forlenges parallelt.

Det er også utarbeidet et forslag til et middelalternativ D1 som bygger på utredningen «Dobbeltspor Trondheim-Stjørdal», hvor jernbanetraséen går i tunnel og dropper holdeplassene Vikhammer og Midtsandan. Denne ruteplanen er særlig utfordrende, da den nye traséen medfører svært begrensede kryssingsmuligheter for bytogene, og spesielt godstogene. Godstogene måtte legges inn i ruteplanen med omtrent doblet kjøretid mellom Stjørdal og Melhus for å unngå kollisjoner med bytogene. Derfor vurderes traséalternativet D1 fra utredningen til ikke å være å anbefale fra et ruteplanperspektiv. I så fall må det legges inn et kryssingsspor på strekningen Ranheim-Hommelvik, eller utarbeide et ruteplanforslag hvor det eksisterende sporet kan benyttes til godstrafikk. Dette er for å fasilitere et mer sømløst ruteopplegg.

Det er mange faktorer som er viktige å ta hensyn til når man utformer et nytt rutetilbud. Det som har vist seg å være mest kritisk i Trondheimsområdet for å kunne øke avgangsfrekvensen til opp mot 6 tog i timen, er muligheten for togkryssinger mellom eksisterende godstog og det økte antallet bytog. Særlig ved middelalternativ D1 ser man effekten av å effektivisere en delstrekning ved å fjerne holdeplasser; ruteopplegget lar seg ikke gjennomføre uten at det medfører vesentlig lenger kjøretid mellom Stjørdal og Trondheim for godstrafikken. Samtidig er det mulig å oppnå en velfungerende ruteplan for bytog, dersom det bygges dobbeltspor på deler av strekningen. For Trondheim kan det være mest aktuelt å velge middelalternativet med dobbeltspor mellom Stjørdal og Trondheim, hvor det er enkelt å utvide tilbudet lenger sørover langs jernbanen i fremtiden. Dette er fordi det krever og forutsetter en vesentlig oppgradering og forbedring av rutetilbudet, samtidig som det kan begrense totalkostnadene ved å ikke bytte ut hele strekningen på én gang.

Forskningsspørsmål 4: *Hvordan vil en endring i togtilbudet kunne påvirke etterspørselen?*

Det ble undersøkt hvordan tre eksempelreisende vil oppleve total reisetid før og etter utarbeidelsen av et bytogtilbud. De to kortere reisene fra Ranheim og Heimdal inn mot Trondheim sentrum viser kun små endringer i total reisetid med tog, og konkurransen med total reisetid i bil er stort sett lik. Men på den lange reisestrekningen Melhus-Værnes hvor det før tilbudsendring er over 40 minutter lenger reisetid med tog enn med bil, er det for bytogalternativene minsket til mellom 21 og 26 minutters reisetidsdifferanse. Det er fortsatt raskere å kjøre bil til Værnes, men en så markant forbedring i totale reisetider med

toget kan være et viktig steg mot å gjennomføre et modalt skifte i retning kollektivtransport med tog.

Med bytogonalterantivenes økte avgangsfrekvens minkes ventetiden mellom togene, og følgelig reduseres den totale reisetiden. I tillegg medfører økt frekvens såkalt «rullende fortau», hvor passasjerene i mindre grad blir avhengige av å sjekke timetabellen for å planlegge reisen. Samlet sett kan økt avgangsfrekvens føre til at toget kommer gunstigere ut i konkurranse med andre transportmidler, med en høyere etterspørsel etter togreiser som resultat. Denne økningen i etterspørsel kan vi for eksempel uttrykke og estimere ved hjelp av elastisitetsberegninger, her er det brukt ventetidselastisitet. Men flere avganger vil også føre til et mer komplisert ruteopplegg, og det vil sannsynligvis være behov for å forlenge kjøretiden for å tilpasse togkryssinger. Dette kan også gi etterspørselsvirkninger, her estimert i form av reisetidselastisitet. En negativ elastisitetsverdi, hentet fra empirisk litteratur, tilsier at passasjerantallet minker i takt med økte reisetider. Det vil altså si at selv om flere velger å ta toget når frekvensen går opp, så vil også færre ta toget hvis reisetiden går opp. En problemstilling er følgelig å lete etter en balanse hvor effekten av redusert ventetid veier opp for, og helst overgår, effekten av forlenget kjøretid slik at flere velger å ta toget.

Til sist er det viktig å ta hensyn til de konkurrerende markedene: bil og buss. Bilreiser konkurrerer sterkt mot togtilbudet, men det er især i rushtidene på døgnet at toget kan være et bedre og raskere alternativ til reisemiddel. Ved hjelp av moderne ERTMS-teknologi som gir mer robuste, sikre og nøyaktige signaler hindres i større grad forsinkelser av togene. Dette kan gi bytogene en reell sjanse til å utkonkurrere bilen i Trondheimsområdet. Dette gjelder særlig på strekningen Heimdal-Trondheim hvor det i dag er store forsinkelser i ordinærtrafikken, slik at reisetiden med tog er omtrent halvert i forhold til bil og buss.

Problemstilling: *Hvordan er mulighetene for å benytte eksisterende jernbanetrasé som utgangspunkt for et nytt rutetilbud for bytog i og rundt Trondheim?*

Mulighetene for bytog i Trondheim finnes. Men det er et mangfold av faktorer og begrensninger som spiller inn på gjennomførbarheten og realismen i et bytogtilbud. Den forventede etterspørselen etter et bytogtilbud vil variere med tilbudets utstrekning og kvalitet, hvor på økt avgangsfrekvens vil være en viktig faktor. Faste ruteplaner med 3-6 avganger i timen vil gi innbyggerne i Trondheim et forutsigbart og praktisk togtilbud som vil kunne gi gode insentiver til å skifte over fra bil og buss til toget. Det vil være viktig å fokusere på en minst mulig økning i reisetiden med toget, og en optimalisering av holdeplasstruktur og utbygging av dobbeltspor vil være svært viktig. Reisetiden på en strekning vil minke hvis det er færre stopp, men gjennomførbarheten av et høyfrekvenstilbud blir også mer utsatt. Da er det viktig å sørge for gode og hyppige krysningmuligheter på stasjonene og eventuelle separate krysningsspor, slik at togavviklingen blir sømløs. Robustheten i ruteplanene må ivaretas og forbedres ved oppgradering av frekvensen, slik at forsinkelser ikke skal spres ukontrollert og gi store ringvirkninger på resten av togtrafikken lokalt og interregionalt. Utbygging av dobbeltspor vil være en viktig forutsetning for frekvensøkning og generell forbedring av jernbanens pålitelighet ovenfor de reisende. Nytt signalsystem og elektrifisering av Trønderbanen vil bidra til mer punktlig og miljøvennlige tog, slik at flere velger å ta toget. Med den forventede befolkningsveksten mot 2050 vil alle disse tiltakene være viktige bidragsyttere for å nå Nullvekstmålet gjennom implementering av et bytogtilbud i Trondheim.

6 Veien videre

Denne masteroppgaven har undersøkt hvor mulighetene ligger for et bytogtilbud i Trondheimsområdet. Basert på litteraturgjennomgang, nettverksanalyser, utarbeidelse av grafiske ruteplaner og etterspørselsberegninger har et slikt bytogtilbud blitt evaluert og undersøkt. Dette har brakt med seg flere funn som ville vært interessante å ta med i videre undersøkelser og utredninger for jernbanerettede byutviklingsplaner i Trondheimsområdet.

Fremtidens holdeplasstruktur bør i større grad baseres på å gi tilgjengelighet der folk bor og arbeider. Holdeplassen på Lerkendal kunne i så måte undersøkes nærmere, da potensialet for økt passasjertall er svært høyt i nærområdet sammenliknet med de fleste andre holdeplasser langs jernbanen. I dag er det få avganger fra denne holdeplassen, og på grunn av en utfordrende lokasjon er det vurdert at det per i dag finnes et uutnyttet passasjerpotensial. Lerkendal ligger på østsiden av Nidelva, mens resten av Trønderbanen sør for Trondheim sentrum ligger på vestsiden. Den er også lokalisert på det som i dagens sammenheng er et sidespor; Stavne-Leangenbanen. Det bør også undersøkes om det er mulig utvide til dobbeltspor over Stavne bru, slik at Lerkendal kan inkluderes i ruteplanene for bytog. Arealutvikling og tilgjengelighet rundt Skansen holdeplass burde også utredes, da det også her er et høyt antall bosatte og sysselsatte i nærheten.

Trondheim Lufthavn, Værnes har ikke utmerket seg i denne oppgaven med tanke på passasjerpotensiale i nærheten av holdeplassen. Men tilbringertrafikk til lufthavn har ikke vært mulig å evaluere på en god måte, ettersom passasjertallet i mye mindre grad vil være basert på befolkningen i nærheten. En egen utredning rundt Værnes holdeplass vil kunne frembringe mer realistiske resultater og undersøke om et bytogtilbud kan bidra til en vesentlig økning av tilbringertrafikken. Dessuten kan det tenkes at flere vil velge å ta toget til flyplassen dersom tilbudet er gunstig nok sammenliknet med andre transportmidler.

Det er også verdt å merke seg at Lerkendal Stadion og Trondheim spektrum ligger innen 10 minutters gangavstand fra hhv. Lerkendal og Skansen stasjon. Da kan det være at et bytogtilbud for eksempel kan redusere trykket på bussene under større idretts- og kulturarrangementer i Trondheim. For øvrig burde også potensialet til Stavne-Leangenbanen utredes, da det kan være mulig å sende godstog gjennom tunnelen for å unngå mye togtrafikk på Trondheim S. I tillegg burde en se på jernbanestrekningen mellom Kolstad og Flatåsen, og undersøke mulighetene for å etablere en ny holdeplass, da passasjergrunnet langs jernbanen her er relativt høyt.

Arbeidet med alternativer til grafiske ruteplaner viser at det kan være mulig å gjennomføre et bytogtilbud med avganger 6 ganger i timen. Men dette forutsetter dobbeltspor på den bestemte strekningen, noe som burde utredes videre i detalj. Det kan også vurderes om et bytogtilbud ville være mer realistisk på strekningen Ranheim-Heimdal slik som i tidligere utredninger. Generelt sett er ikke kostnader blitt tatt hensyn til i denne oppgaven, og en separat utredning burde gjøres på dette. Kostnader knyttet til krevende grunnforhold, elektrifisering og innføring av ERTMS, samt opprustning av holdeplasser og jernbanerettet knutepunktsutvikling langs Trønderbanen ville alle være viktige å evaluere opp mot etterspørselen og samfunnsnyttene ved et bytogtilbud i Trondheim.

Referanser

- Andersen, G. (2019) *Valg av forskningsmetode*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subjects/subject:19/topic:1:195989/topic:1:195829/resource:1:56937> (Hentet: 01.mai 2020).
- Andresen, M. E. (2014) Elastisitet - økonomi *Store norske leksikon på snl.no*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/elastisitet_-_%C3%B8konomi (Hentet: 21. mai 2020).
- Andresen, M. E. og Nilsen, H. R. (2020) Betalingsvillighet *Store norske leksikon på snl.no*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/betalingsvillighet> (Hentet: 23. mai 2020).
- AtB (2019) *Bussene som settes i trafikk*. Tilgjengelig fra: <https://www.atb.no/nye-og-moderne-busser/bussene-som-settes-i-trafikk-article13026-1700.html> (Hentet: 09.juni 2020).
- Bane NOR (2016) *Elektrifisering Trønder- og Meråkerbanen: Mer informasjon om prosjektet*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/Elektrifisering-trondelag/les-om-prosjektet/> (Hentet: 15. juni 2020).
- Bane NOR (2019a) *Jernbanen i tall*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Jernbanen/Jernbanen-i-tall/> (Hentet: 9. desember 2019).
- Bane NOR (2019b) Grafiske togruter fastlagt rutetermin R20. Oslo: Bane NOR. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/kundeportal/ruter-og-sportilgang/grafiske-togruter1/>.
- Bane NOR (2020a) *ERTMS på Østfoldbanen (erfaringsstrekning)*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/ertms/ertms-ostfoldbanen-erfaringsstrekning/> (Hentet: 17. juni 2020).
- Bane NOR (2020b) *Plattformtiltak for nye tog på Trønderbanen*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/plattformtiltak--pa-tronderbanen/innhold/2020/plattformtiltak-for-nye-tog-pa-tronderbanen/> (Hentet: 16. juni 2020).
- Denstadli, J. M., Thune-Larsen, H. og Dybedal, P. (2014) *Reisevaner på fly 2013*. (TØI rapport 1335/2014). Oslo: Transportøkonomisk institutt. Tilgjengelig fra: <https://www.toi.no/publikasjoner/reisevaner-pa-fly-2013-article32578-8.html> (Hentet: 16. juni 2020).
- Engebretsen, Ø. og Christiansen, P. (2011) *Bystruktur og transport: En studie av personreiser i byer og tettsteder*. (3691 - NTP-28 Byreiser - en analyse av reisevanedata 2009 TØI rapport 1178/2011). Oslo: Transportøkonomisk Institutt. Tilgjengelig fra: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=22597> (Hentet: 21. mai 2020).
- Fard, R. N. og Tekna Jernbane (2020) *Bimodale tog*. Tilgjengelig fra: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/samferdsel-og-infrastruktur/infrastrukturbloggen/bimodale-tog/> (Hentet: 14. juni 2020).
- Halvorsen, B. (2012) *Ny stamrute øst i Trondheim*. (Oppdrag: 528516). Trondheim: Asplan Viak. Tilgjengelig fra: https://miljopakken.no/wp-content/uploads/2011/02/Ny_stamrute_ost_i_Trondheim.pdf (Hentet: 28. mars 2020).
- Hamre, T. N. (2002) *NTM 5: Den nasjonale persontransportmodellen Versjon 5*. (TØI rapport 555/2002). Oslo: Transportøkonomisk institutt. Tilgjengelig fra: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=7059> (Hentet: 24. mai 2020).
- Hitge, G. og Vanderschuren, M. (2015) Comparison of travel time between private car and public transport in Cape Town, *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 57(3), s. 35-43. doi: 10.17159/2309-8775/2015/V57N3A5.
- Hjorthol, R., Engebretsen, Ø. og Uteng, T. P. (2014) *Den nasjonale reisevaneundersøkelsen 2013/14 - nøkkelrapport*. (TØI report 1383/2014). Oslo:

- TØI. Tilgjengelig fra: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=39511> (Hentet: 09. desember 2019).
- Hodgson, P. og Potter, S. (2010) Refining light rapid transit typology: A UK perspective, *Transportation Planning and Technology*, 33(4), s. 367-384. doi: 10.1080/03081060.2010.494029.
- Jernbanedirektoratet (2018) *Flirt-tog nr 100 overtatt*. Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/aktualiteter/2018/flirt-tog-nr-100-overtatt/> (Hentet: 14. juni 2020).
- Landex, A. (2011) *Station capacity*. Upublisert paper presentert på 4th International Seminar on Railway Operations Research. Rome, Italy.
- Litman, T. og Victoria Transport Policy, I. (2012) Evaluating accessibility for transportation planning : measuring people's ability to reach desired goods and activities. Tilgjengelig fra: <https://www.deslibris.ca/ID/230305>.
- Lundring, E. M. E. (2017) *Varsel om planoppstart ved Ranheim stasjon*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/Elektrifisering-trondelag/innhold/2017/varsel-om-planoppstart-ved-ranheim-stasjon/> (Hentet: 16. juni 2020).
- Lunke, E. B. og Fearnley, N. (2019) *Generalisert reisetid*. (TØI rapport 1712/2019). Oslo: Transportøkonomist institutt. Tilgjengelig fra: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=50829> (Hentet: 29. januar 2020).
- Meld. St. 33 (2016–2017) (2017) *Nasjonal transportplan 2018–2029*. Oslo: Samferdselsdepartementet. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-33-20162017/id2546287/?ch=1> (Hentet: 12. desember 2019).
- Miljøloftet (2019) *Trolley2020: Birkelundstoppen-Lyngbø*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljoloftet.no/prosjektliste/kollektiv/trolleybusslinje-til-laksevag/> (Hentet: 09. juni 2020).
- Miljøpakken (2016) *Reisevaner 2013-14 Trondheim/Trondheimsregionen. Analyser av intervjuer i nasjonal reisevaneundersøkelse: RVU 2013-14 med tilleggsutvalg for Trondheimsregionen*. (Rapport 3/2016). Trondheim. Tilgjengelig fra: https://miljopakken.no/wp-content/uploads/2011/01/Reisevaner-2013-14_ferdig.pdf (Hentet: 16. juni 2020).
- Miljøpakken (2020) *Målsettinger*. Tilgjengelig fra: <https://miljopakken.no/om-miljopakken/organisasjonen/malsettinger> (Hentet: 15. juni 2020).
- NHO (2020) *Fakta om små og mellomstore bedrifter (SMB)*. Tilgjengelig fra: <https://www.nho.no/tema/sma-og-mellomstore-bedrifter/artikler/sma-og-mellomstore-bedrifter-smb/> (Hentet: 13. juni 2020).
- Nielsen, G. (2005) *Public transport : planning the networks*. Stavanger: HiTrans.
- Nielsen, K. (2017) *Jernbanedirektoratets standarder for kapasitetsplanlegging*. (Håndbok for kapasitetsplanlegging 201701227-1). Oslo: Jernbanedirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanedirektoratet.no/globalassets/documenter/handboker/kapasitet-og-begrepskatalog/jernbanedirektoratets-standarder-for-kapasitetsplanlegging.pdf> (Hentet: 14. februar 2020).
- Norconsult (2018a) *Dobbeltspor Trondheim - Stjørdal Konsekvensutredning Nidelv bru - Stjørdal stasjon Sammenstilling av trasealternativer*. Trondheim: Bane NOR. Tilgjengelig fra: https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/byplankontoret/1b_off-ettersyn/2018/kommunedelplan-for-dobbeltsporet-jernbane-leangen---hommelvik-r20180015/4.-konsekvensutredning.pdf (Hentet: 15. november 2019).
- Norconsult (2018b) *Kommunedelplan for dobbeltspor Leangen - Hommelvik, offentlig ettersyn*. Trondheim: Trondheim kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.trondheim.kommune.no/kommunedelplan-dobbeltsporet-jernbane-leangen-hommelvik-r20180015/> (Hentet: 15. juni 2020).
- Norheim, B. og Kjørstad, K. N. (2009) *Incentivbaserte kontrakter og konkurranseutsetting: Strategiske valg for Ruter AS*. (UA-rapport 15/2009). Oslo: Urbanet Analyse. Tilgjengelig fra: <https://s3.eu-west-1.amazonaws.com/rr->

- urbanet/Filer-Dokumenter/UArappport_15_2009_Vedleggsrapport.pdf (Hentet: 23. mai 2020).
- Norske tog (2019a) *Type 93*. Tilgjengelig fra: <https://www.norsketog.no/tog/type93> (Hentet: 14. juni 2020).
- Norske tog (2019b) *Type 92*. Tilgjengelig fra: <https://www.norsketog.no/tog/type92> (Hentet: 14. juni 2020).
- Odeck, J. (2014) The principals of benefit-cost analysis. *TBA4315 Kostnader og nytte ved samferdselsanlegg*. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 23. mai 2020).
- Oslo Economics (2016) *Beregning av elastisiteter for togreiser*. (2016-35). Oslo: Jernbanedirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanedirektoratet.no/contentassets/03a365b2dcf04eb6a1779a34752a0fb6/beregning-av-elastisiteter-for-togreiser.pdf> (Hentet: 20. mai 2020).
- Otterholt, L. T. (2019) *ERTMS: Fakta*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/ertms/fakta/> (Hentet: 17. juni 2020).
- Regjeringen (2018) *GIS i areal- og transportplanlegging*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/sub/stedsutvikling/ny-prosess-og-verktoy/ny-veileder-geografisk-analyse-og-visualisering/gis-i-areal--og-transportplanlegging-/id711975/> (Hentet: 02. mars 2020).
- Rejlers (2016) *Kvarterfrekvens for bytog i Trondheim*. Oslo: Sør-Trøndelag fylkeskommune. Tilgjengelig fra: <http://93.89.112.77/eInnsyn/RegistryEntry/ShowDocument?registryEntryId=142697&documentId=208221> (Hentet: 03. mars 2020).
- Spilsberg, E. (2010) *Bybane i Trondheim mulighetsstudie*. Trondheim: Rambøll. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/163406/binary/310430 (Hentet: 09. desember 2019).
- Sporveien AS (u.å.) *Sporveiens historie*. Tilgjengelig fra: <https://sporveien.com/inter/om/sporveienshistorie> (Hentet: 25. mai 2020).
- Stangeby, I. og Norheim, B. (1995) *Fakta om kollektivtransport: Erfaringer og løsninger for byområder*. (TØI rapport 307/95). Oslo: Transportøkonomisk institutt. Tilgjengelig fra: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=15023> (Hentet: 22. mai 2020).
- Statens Vegvesen (2012) *Miljøpakke Trondheim: Tilleggsutredning trinn 2*. Molde/Trondheim: Statens Vegvesen Region midt Strategi-, veg- og transportavdelingen og Ressursavdelingen. Tilgjengelig fra: <https://miljopakken.no/wp-content/uploads/2012/02/Les-hele-tilleggsutredningen-for-Miljopakken.pdf> (Hentet: 16. juni 2020).
- Statens vegvesen et al. (2016) *Bymiljøavtale mellom Trondheim kommune, Sør-Trøndelag fylkeskommune og Staten 2016 - 2023*. Trondheim. Tilgjengelig fra: <https://miljopakken.no/wp-content/uploads/2011/02/Bymilj%C3%B8avtale-signert.pdf> (Hentet: 15. desember 2019).
- Statens Vegvesen (2017) *Byutredning Trondheimsområdet*. Trondheim: Statens Vegvesen Region midt Styrings- og strategiseksjonen. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/2660051/binary/1321899?fast_title=Byutredning+trinn+1+Trondheimsomr%C3%A5det.pdf (Hentet: 15. november 2020).
- Statens Vegvesen (2018) *Byutredning Trondheimsområdet - Trinn 2: Økt sykkelandel i Trondheim og knutepunktutvikling i Trondheimsområdet*. Trondheim: Statens Vegvesen Region midt Styrings- og strategiseksjonen. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/2661194/binary/1322129?fast_title=Byutredning+trinn+2+Trondheim.pdf (Hentet: 10. desember 2020).
- Statistisk sentralbyrå (2020) *Kommune Trondheim: Forventet utvikling*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/kommunefakta/trondheim> (Hentet: 04. mai 2020).
- Stoltz, G. og Andresen, M. E. (2014) Etterspørsel *Store norske leksikon på snl.no*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/ettersp%C3%B8rsel> (Hentet: 21. mai 2020).

- Sun, C. *et al.* (2018) An Evaluation Method of Urban Public Transport Facilities Resource Supply Based on Accessibility, *Journal of Advanced Transportation*, 2018, s. 3754205. doi: 10.1155/2018/3754205.
- Sved, B. (2016) - Seks togavganger i timen umulig uten dobbeltspor, *Adressavisen*, 01.03.2016, s. 1. Tilgjengelig fra: <https://www.adressa.no/nyheter/okonomi/2016/03/01/Seks-togavganger-i-timen-umulig-uten-dobbeltspor-12221052.ece> (Hentet: 15. juni 2020).
- Svinsås, D. (2019) *Ny stasjon på Leangen åpnet*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2019/ny-stasjon-pa-leangen-apnet/> (Hentet: 16. juni 2020).
- Thune-Larsen, H. og Farstad, E. (2016) *Reisevaner på fly 2015*. (TØI rapport 1516/2016). Oslo: Transportøkonomisk institutt. Tilgjengelig fra: <https://www.toi.no/publikasjoner/reisevaner-pa-fly-2015-article33979-8.html> (Hentet: 16. juni 2020).
- Thune-Larsen, H. og Farstad, E. (2018) *Reisevaner på fly 2017*. (TØI rapport 1646/2018). Oslo: Transportøkonomisk institutt. Tilgjengelig fra: <https://www.toi.no/publikasjoner/reisevaner-pa-fly-2015-article33979-8.html> (Hentet: 16. juni 2020).
- Tobler, W. (1993) Three Presentations on Geographical Analysis and Modeling: Non-Isotropic Geographic Modeling Speculations on the Geometry of Geography and Global Spatial Analysis (93-1).
- Trondheim kommune *et al.* (2019) *Byvekstavtalen Trondheimsområdet*. Trondheim. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/66644bf4b3e642acaf10bea324af42b8/byvekstavtale-trondheimsområdet.pdf> (Hentet: 15. desember 2019).
- Tørset, T. og Meland, S. (2002) *Skinnebonus - litteraturstudium*. (Prosjektnr.: 223147). Trondheim: SINTEF Bygg og miljø. Tilgjengelig fra: <http://www.transportiby.net/litteraturstudie-om-aquotskinnefaktorenaquot.51944-17712.html> (Hentet: 22. mai 2020).
- Tørset, T. (2005) *Bytog i Trondheim. Vurderinger av tidligere utredninger*. Trondheim.
- UIC (2013) *UIC code 406: Capacity*. 2. utg. France: International Union of Railways.
- VIA Consulting & Development (2019) *LUKS – Analysis of lines and junctions*. Tilgjengelig fra: <https://www.via-con.de/development/luks/> (Hentet: 07. desember 2019).
- Vuchic, V. R. (1981) *Urban public transportation: Systems and Technology*. New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc.
- VY (2018) *Muligheter for Trønderbanen*. Trondheim.
- VY (2020) *Slutt for flybussen i Trondheim*. Tilgjengelig fra: <https://www.vy.no/aktuelt/fb71-fb65> (Hentet: 16. juni 2020).
- Østli, V., Halse, A. H. og Killi, M. (2015) *Verdsetting av tid, pålitelighet og komfort tilpasset NTM6*. (TØI rapport 1389/2015): Transportøkonomisk institutt. Tilgjengelig fra: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=39754> (Hentet: 23. mai 2020).

Vedlegg

Vedlegg 1: Nodalt beslutningstre for typer transportsystemer (Hodgson og Potter, 2010, s. 377)

Vedlegg 2a: Befolkning i dag (per 2017), mellom Stjørdal og Melhus

Vedlegg 2b: Befolkning i dag (per 2017), mellom Ranheim og Selsbakk

Vedlegg 3a: Befolkning 2050 (basert på RTM-modellen), mellom Stjørdal og Melhus

Vedlegg 3b: Befolkning 2050 (basert på RTM-modellen), mellom Ranheim og Selsbakk

Vedlegg 4a: Sysselsatte i dag (per 2018), mellom Stjørdal og Melhus

Vedlegg 4b: Sysselsatte i dag (per 2018), mellom Ranheim og Selsbakk

Vedlegg 5a: Bedriftstetthet i dag (per 2018), mellom Stjørdal og Melhus

Vedlegg 5b: Bedriftstetthet i dag (per 2018), mellom Ranheim og Selsbakk

Vedlegg 6a: Service area-resultater. Med befolkning og sysselsatte i dag innenfor 5, 10, 15 og 20 minutters gangavstand fra holdeplasser langs jernbanen, mellom Stjørdal og Lademoen

Vedlegg 6b: Service area-resultater. Med befolkning og sysselsatte i dag innenfor 5, 10, 15 og 20 minutters gangavstand fra holdeplasser langs jernbanen, mellom Trondheim S og Melhus skysstasjon

Vedlegg 7a: Befolkning i dag (per 2017) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Stjørdal og Melhus

Vedlegg 7b: Befolkning i dag (per 2017) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Ranheim og Selsbakk

Vedlegg 8a: Befolkning 2050 (basert på RTM-modellen) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Stjørdal og Melhus

Vedlegg 8b: Befolkning 2050 (basert på RTM-modellen) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Ranheim og Selsbakk

Vedlegg 9a: Sysselsatte i dag (per 2018) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Stjørdal og Melhus

Vedlegg 9b: Sysselsatte i dag (per 2018) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Ranheim og Selsbakk

Vedlegg 10a: Minimumsalternativet, mellom Stjørdal og Trondheim S

Vedlegg 11a: Maksalternativet Spor 1, mellom Stjørdal og Trondheim S

Vedlegg 11b: Maksalternativet Spor 1, mellom Trondheim S og Melhus

Vedlegg 11c: Maksalternativet Spor 2, mellom Stjørdal og Trondheim S

Vedlegg 11d: Maksalternativet Spor 2, mellom Trondheim S og Melhus

Vedlegg 12a: Middelalternativet Spor 1, mellom Stjørdal og Trondheim S

Vedlegg 12b: Middelalternativet Spor 1, mellom Trondheim S og Melhus

Vedlegg 12c: Middelalternativet Spor 2, mellom Stjørdal og Trondheim S

Vedlegg 12d: Middelalternativet Spor 2, mellom Trondheim S og Melhus

Vedlegg 13a: Middelalternativet D1 Spor 1, mellom Stjørdal og Trondheim S

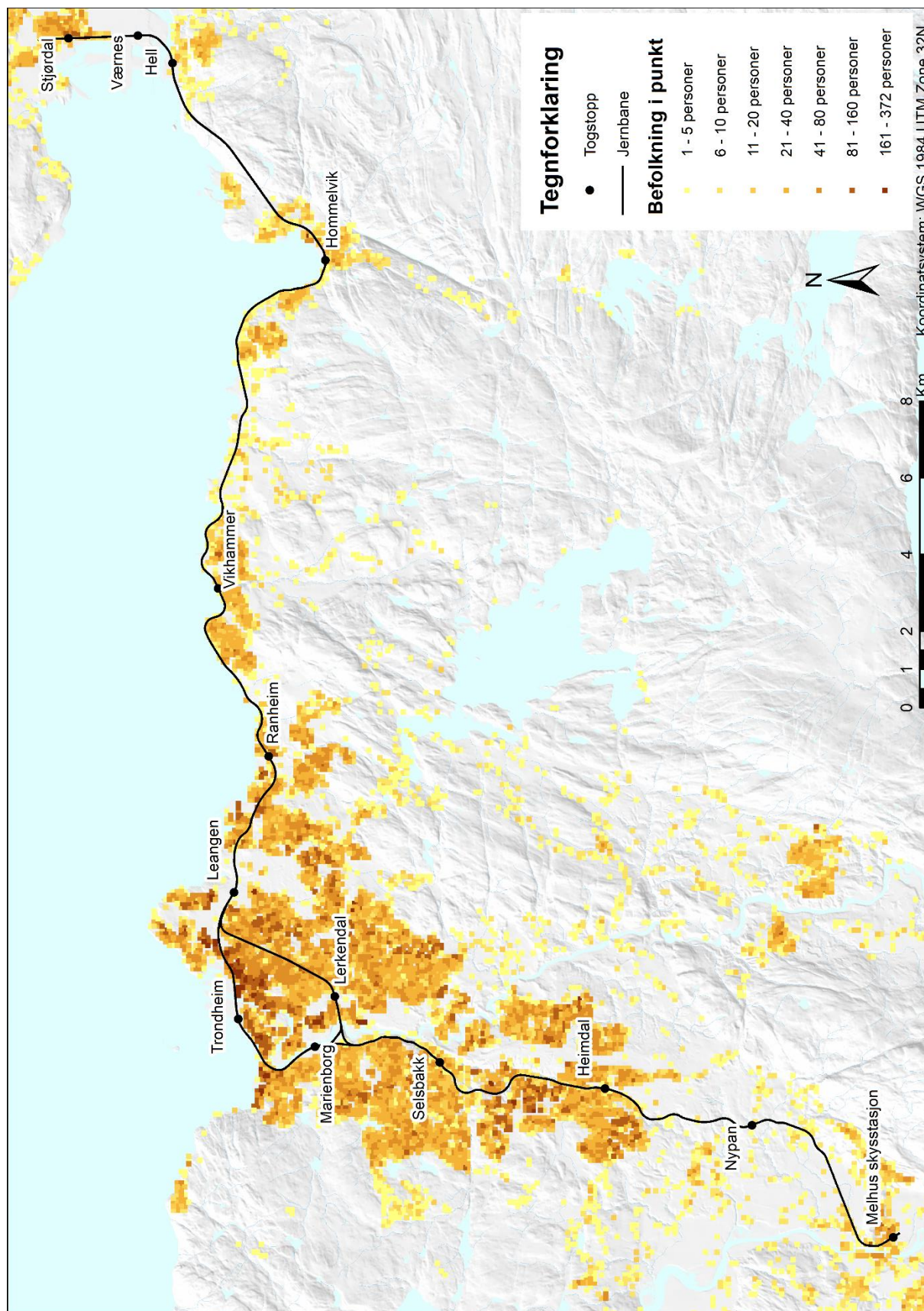
Vedlegg 13b: Middelalternativet D1 Spor 1, mellom Trondheim S og Melhus

Vedlegg 13c: Middelalternativet D1 Spor 2, mellom Stjørdal og Trondheim S

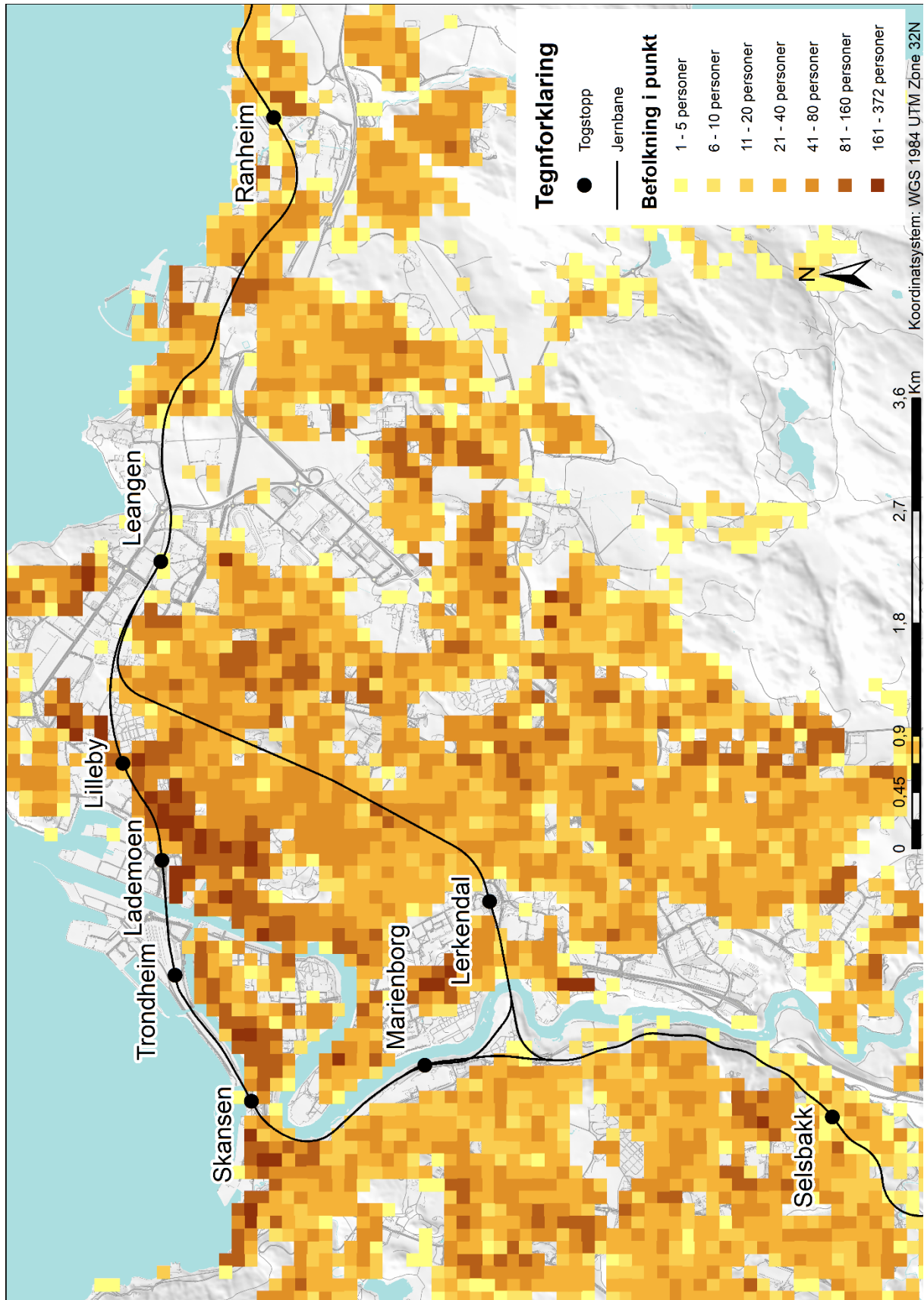
Vedlegg 13d: Middelalternativet D1 Spor 2, mellom Trondheim S og Melhus

Siste side: Følgerev om COVID-19

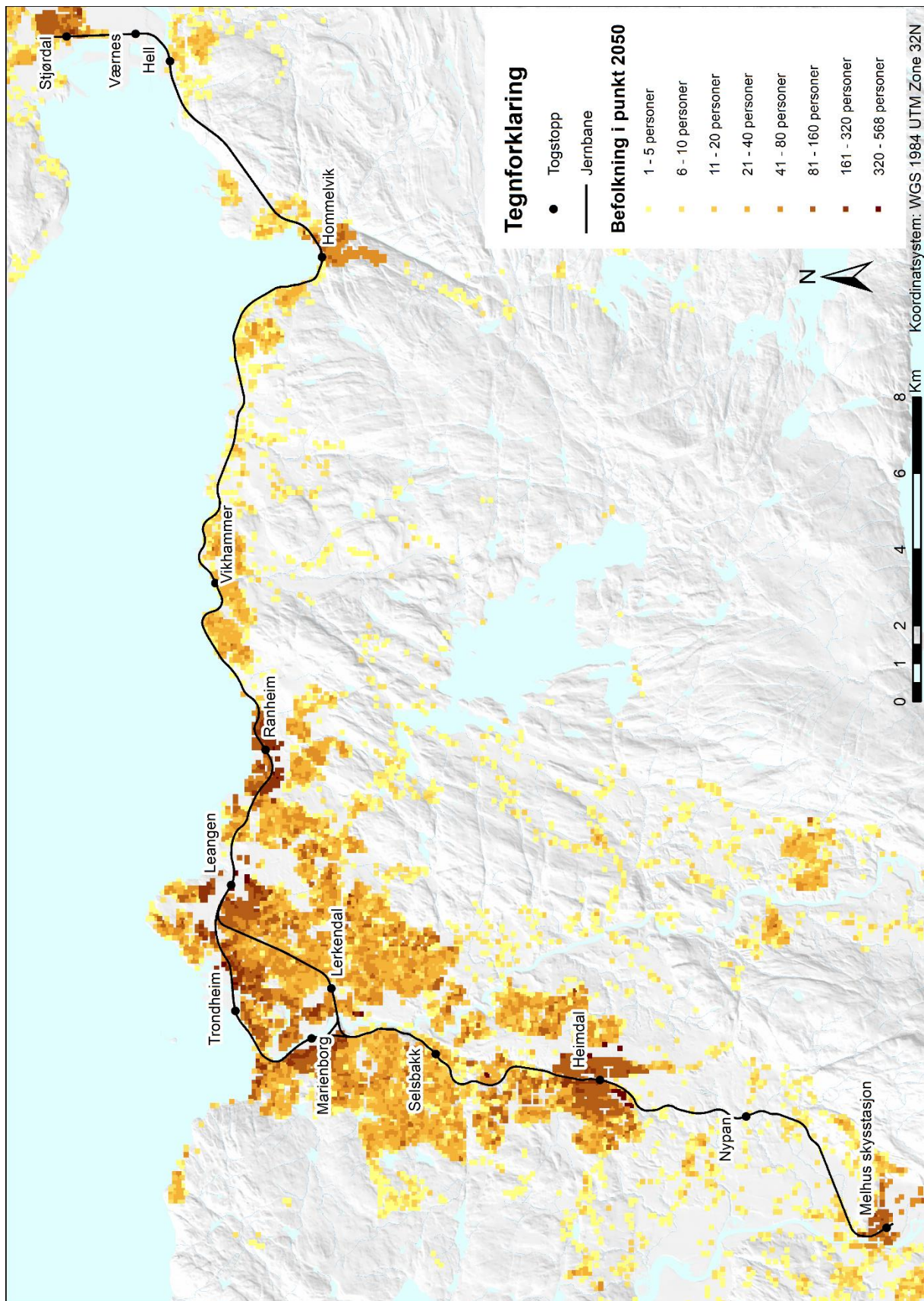
Vedlegg 2a: Befolkning i dag (per 2017), mellom Stjørdal og Melhus



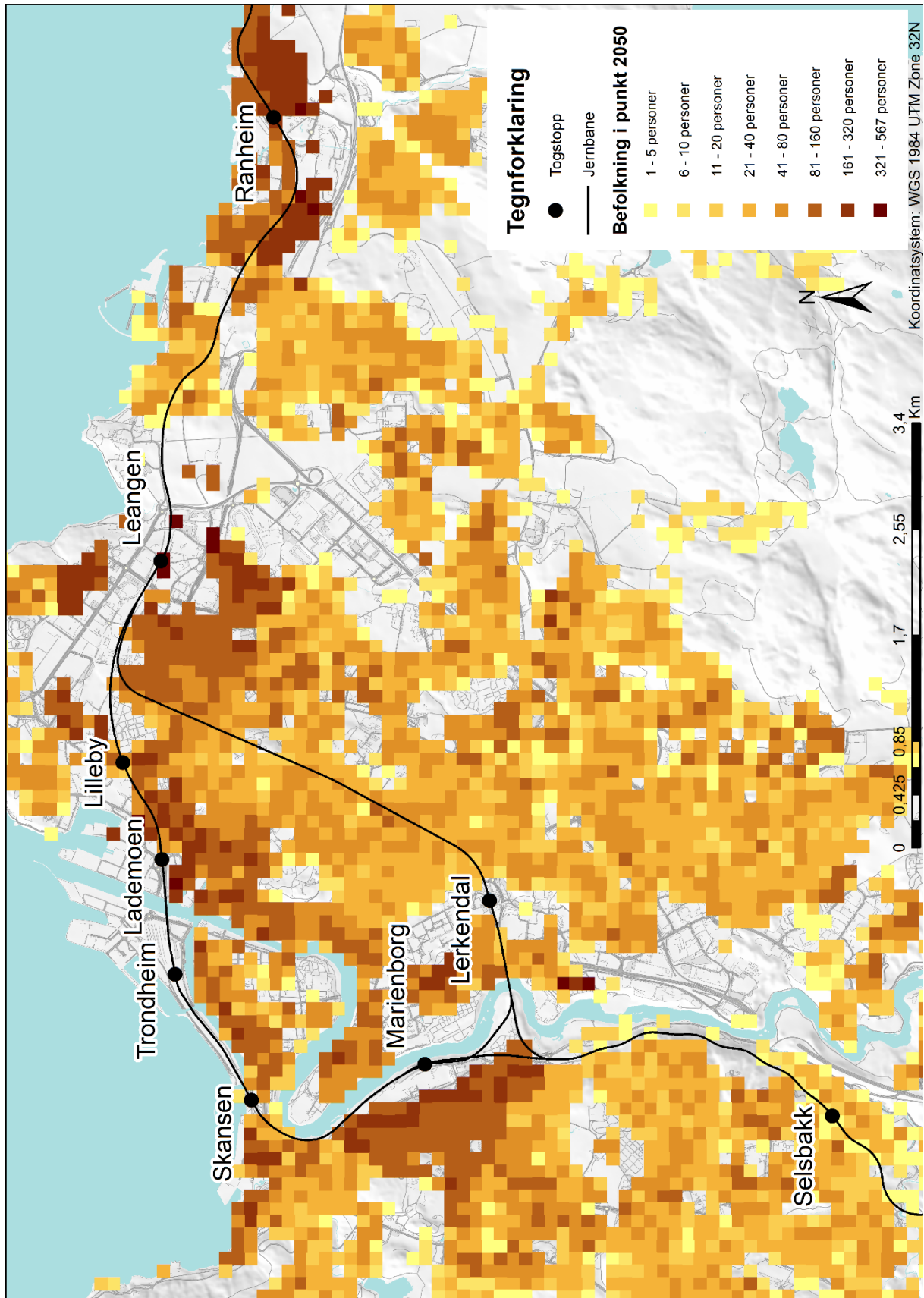
Vedlegg 2b: Befolkning i dag (per 2017), mellom Ranheim og Selsbakk



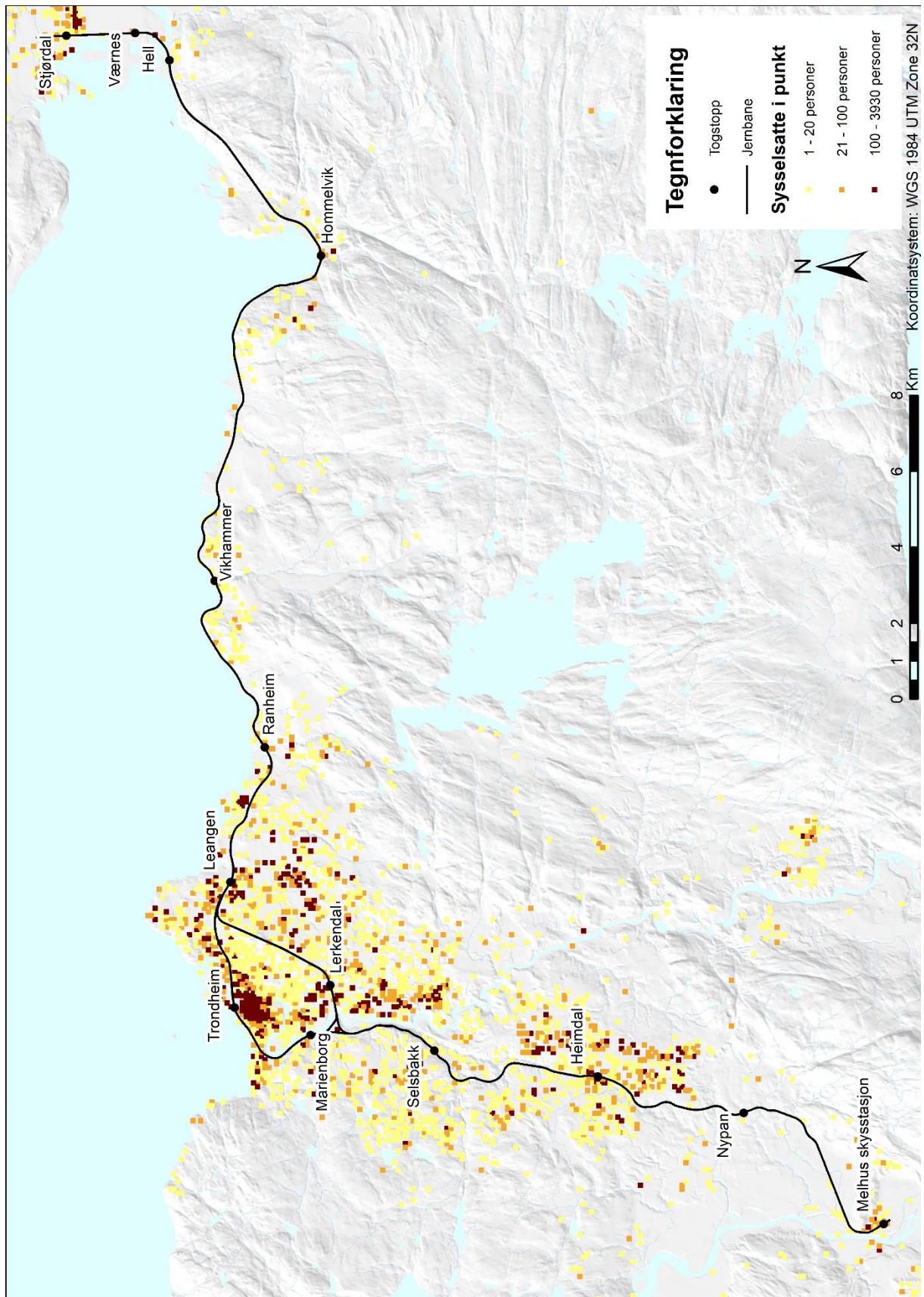
Vedlegg 3a: Befolkning 2050 (basert på RTM-modellen), mellom Stjørdal og Melhus



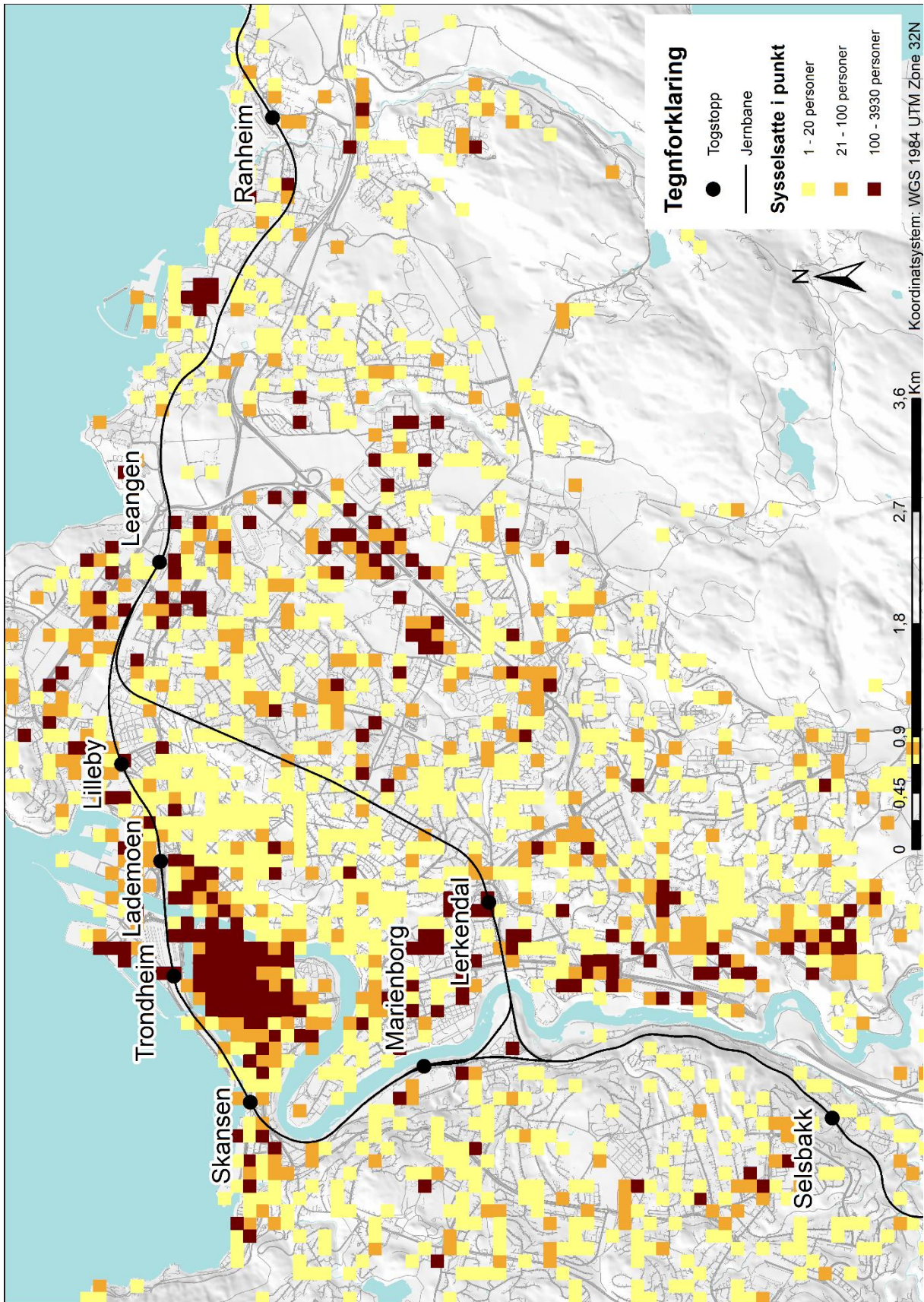
Vedlegg 3b: Befolkning 2050 (basert på RTM-modellen), mellom Ranheim og Selsbakk



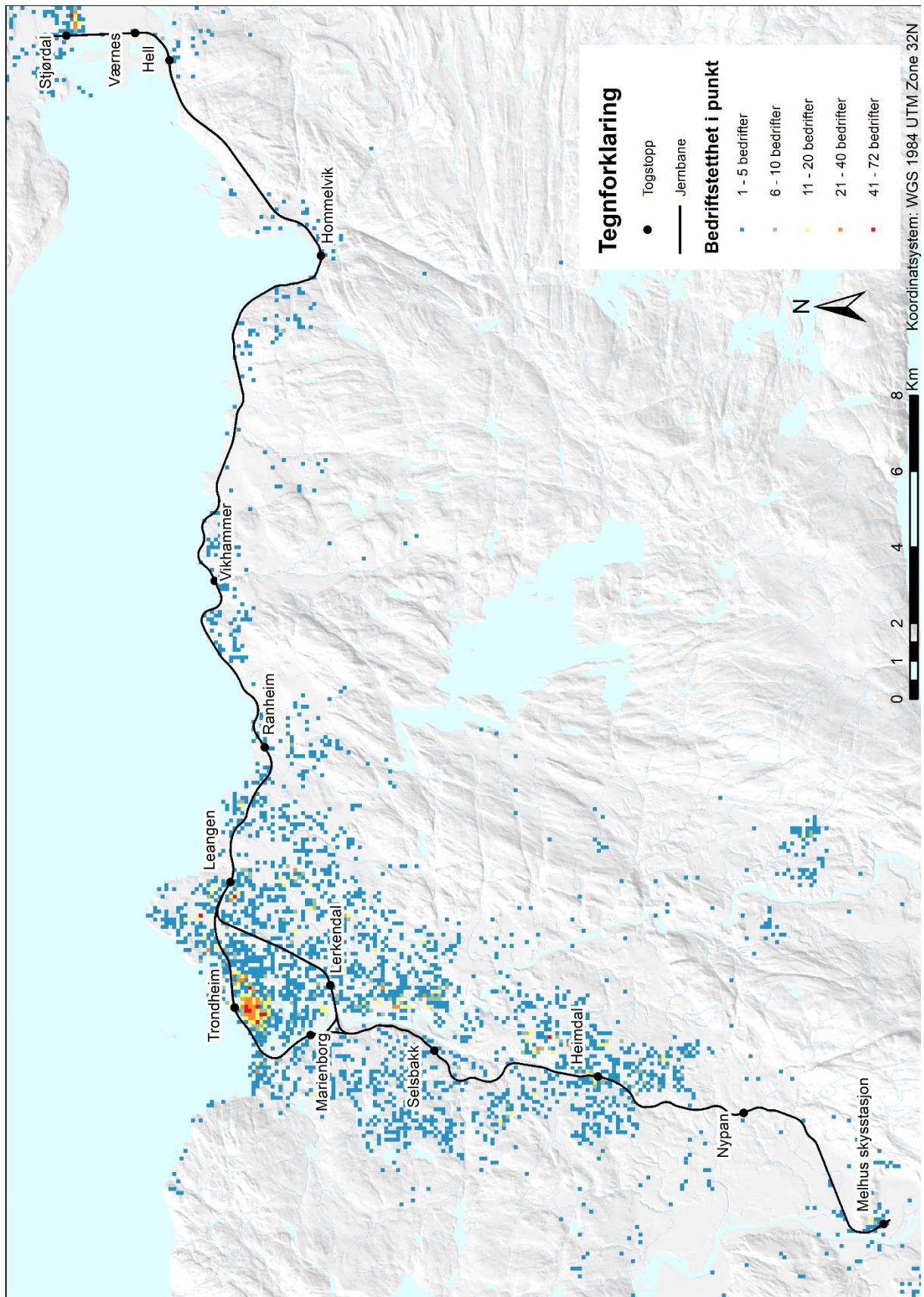
Vedlegg 4a: Sysselsatte i dag (per 2018), mellom Stjørdal og Melhus



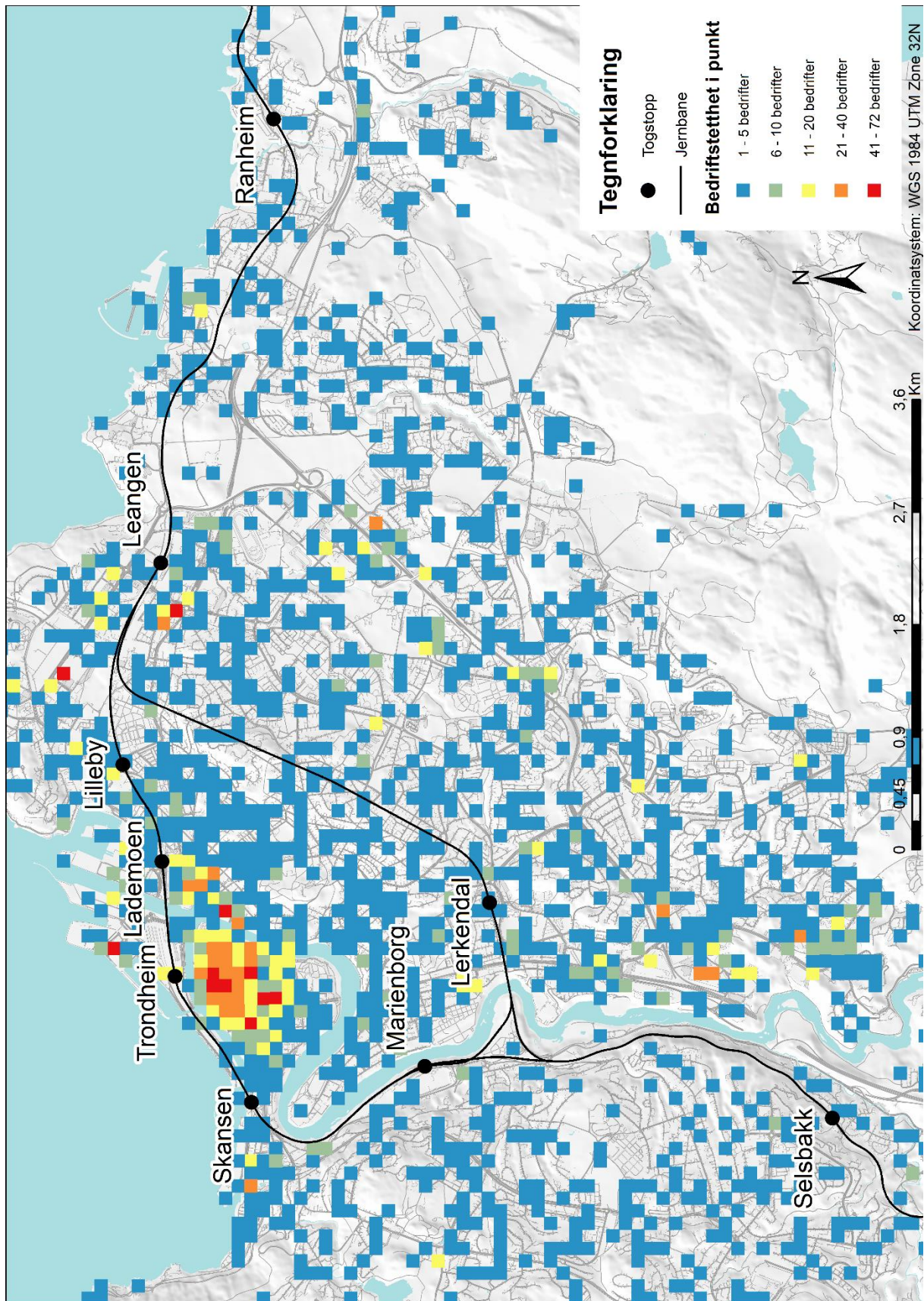
Vedlegg 4b: Sysselsatte i dag (per 2018), mellom Ranheim og Selsbakk



Vedlegg 5a: Bedriftstetthet i dag (per 2018), mellom Stjørdal og Melhus



Vedlegg 5b: Bedriftstetthet i dag (per 2018), mellom Ranheim og Selsbakk



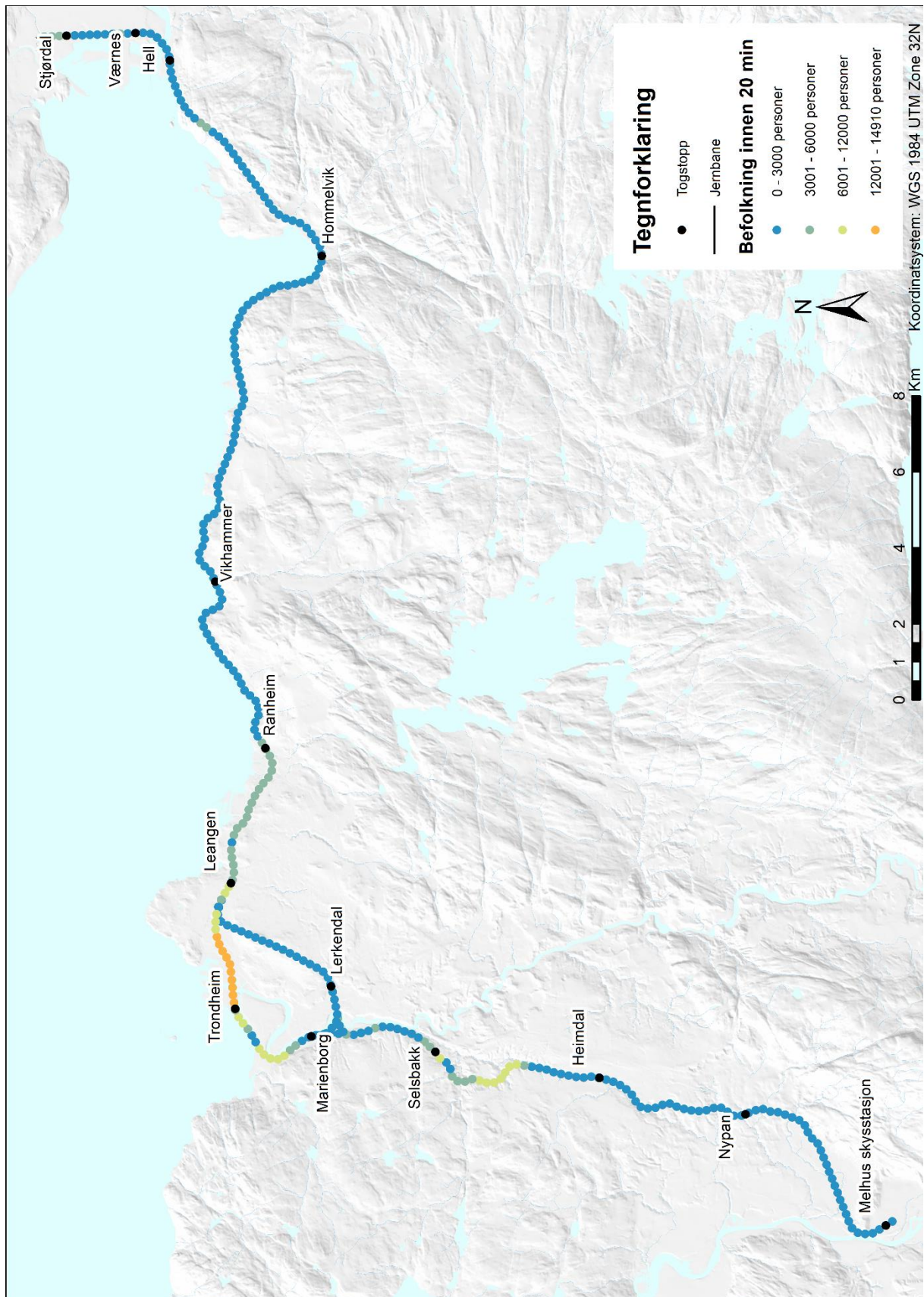
Vedlegg 6a: Service area-resultater. Med befolkning og sysselsatte i dag innenfor 5, 10, 15 og 20 minutters gangavstand fra holdeplasser langs jernbanen, mellom Stjørdal og Lademoen

Holdeplass	Intervall for gangavstand	Befolkning 2017	Sysselsatte 2018
Stjørdal	0 – 5 minutter	677	301
	5 – 10 minutter	1747	5965
	10 – 15 minutter	1845	2086
	15 – 20 minutter	2116	1363
Værnes	0 – 5 minutter	0	49
	5 – 10 minutter	0	0
	10 – 15 minutter	0	185
	15 – 20 minutter	0	100
Hell	0 – 5 minutter	5	0
	5 – 10 minutter	92	25
	10 – 15 minutter	98	0
	15 – 20 minutter	150	118
Hommelvik	0 – 5 minutter	117	162
	5 – 10 minutter	464	287
	10 – 15 minutter	617	58
	15 – 20 minutter	427	41
Midtsandan	0 – 5 minutter	5	17
	5 – 10 minutter	15	0
	10 – 15 minutter	173	50
	15 – 20 minutter	193	12
Vikhammer	0 – 5 minutter	183	184
	5 – 10 minutter	160	59
	10 – 15 minutter	176	14
	15 – 20 minutter	635	163
Ranheim	0 – 5 minutter	61	0
	5 – 10 minutter	1396	291
	10 – 15 minutter	952	362
	15 – 20 minutter	1275	302
Rotvoll	0 – 5 minutter	4	32
	5 – 10 minutter	367	766
	10 – 15 minutter	784	633
	15 – 20 minutter	1219	1176
Leangen	0 – 5 minutter	4	0
	5 – 10 minutter	530	1617
	10 – 15 minutter	1435	1401
	15 – 20 minutter	2670	726
Lilleby	0 – 5 minutter	1498	492
	5 – 10 minutter	2771	2053
	10 – 15 minutter	1595	789
	15 – 20 minutter	1886	335
Lademoen	0 – 5 minutter	630	1806
	5 – 10 minutter	2846	3288
	10 – 15 minutter	1626	1369
	15 – 20 minutter	1754	118

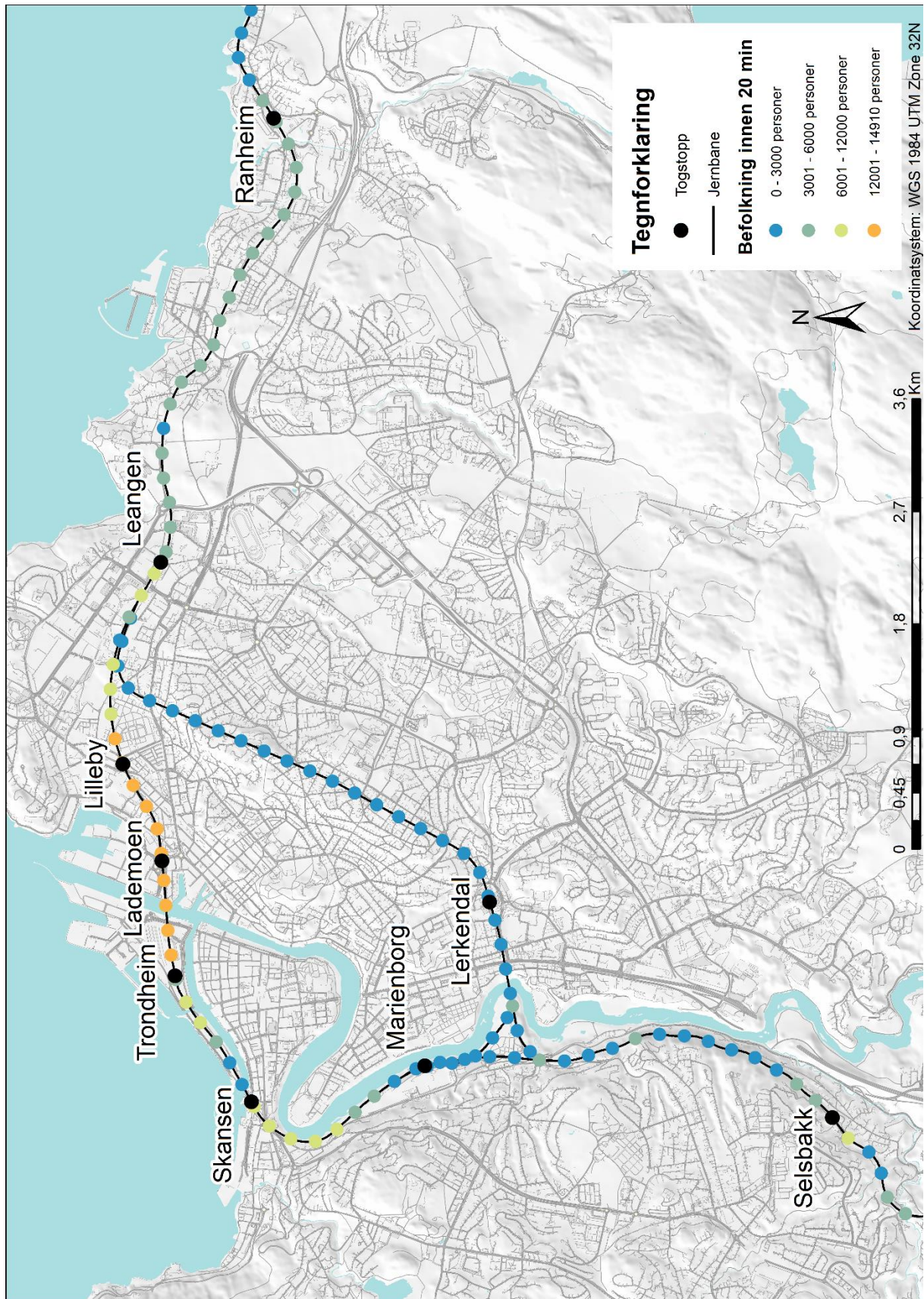
Vedlegg 6b: Service area-resultater. Med befolkning og sysselsatte i dag innenfor 5, 10, 15 og 20 minutters gangavstand fra holdeplasser langs jernbanen, mellom Trondheim S og Melhus skysstasjon

Holdeplass	Intervall for gangavstand	Befolkning 2017	Sysselsatte 2018
Trondheim S	0 – 5 minutter	396	2973
	5 – 10 minutter	888	13400
	10 – 15 minutter	1073	4610
	15 – 20 minutter	848	1316
Skansen	0 – 5 minutter	423	153
	5 – 10 minutter	3082	2071
	10 – 15 minutter	2243	5631
	15 – 20 minutter	1264	2390
Marienborg	0 – 5 minutter	0	377
	5 – 10 minutter	511	3292
	10 – 15 minutter	1467	1095
	15 – 20 minutter	808	83
Lerkendal	0 – 5 minutter	134	556
	5 – 10 minutter	1313	5885
	10 – 15 minutter	2523	4962
	15 – 20 minutter	3720	2469
Selsbakk	0 – 5 minutter	242	6
	5 – 10 minutter	428	25
	10 – 15 minutter	719	145
	15 – 20 minutter	2106	402
Heimdal	0 – 5 minutter	298	1062
	5 – 10 minutter	1356	929
	10 – 15 minutter	3009	380
	15 – 20 minutter	4797	2378
Nypan	0 – 5 minutter	2	0
	5 – 10 minutter	12	2
	10 – 15 minutter	32	0
	15 – 20 minutter	59	0
Melhus	0 – 5 minutter	185	36
	5 – 10 minutter	218	91
	10 – 15 minutter	637	598
	15 – 20 minutter	514	205
Melhus skysstasjon	0 – 5 minutter	371	236
	5 – 10 minutter	162	120
	10 – 15 minutter	116	43
	15 – 20 minutter	199	6

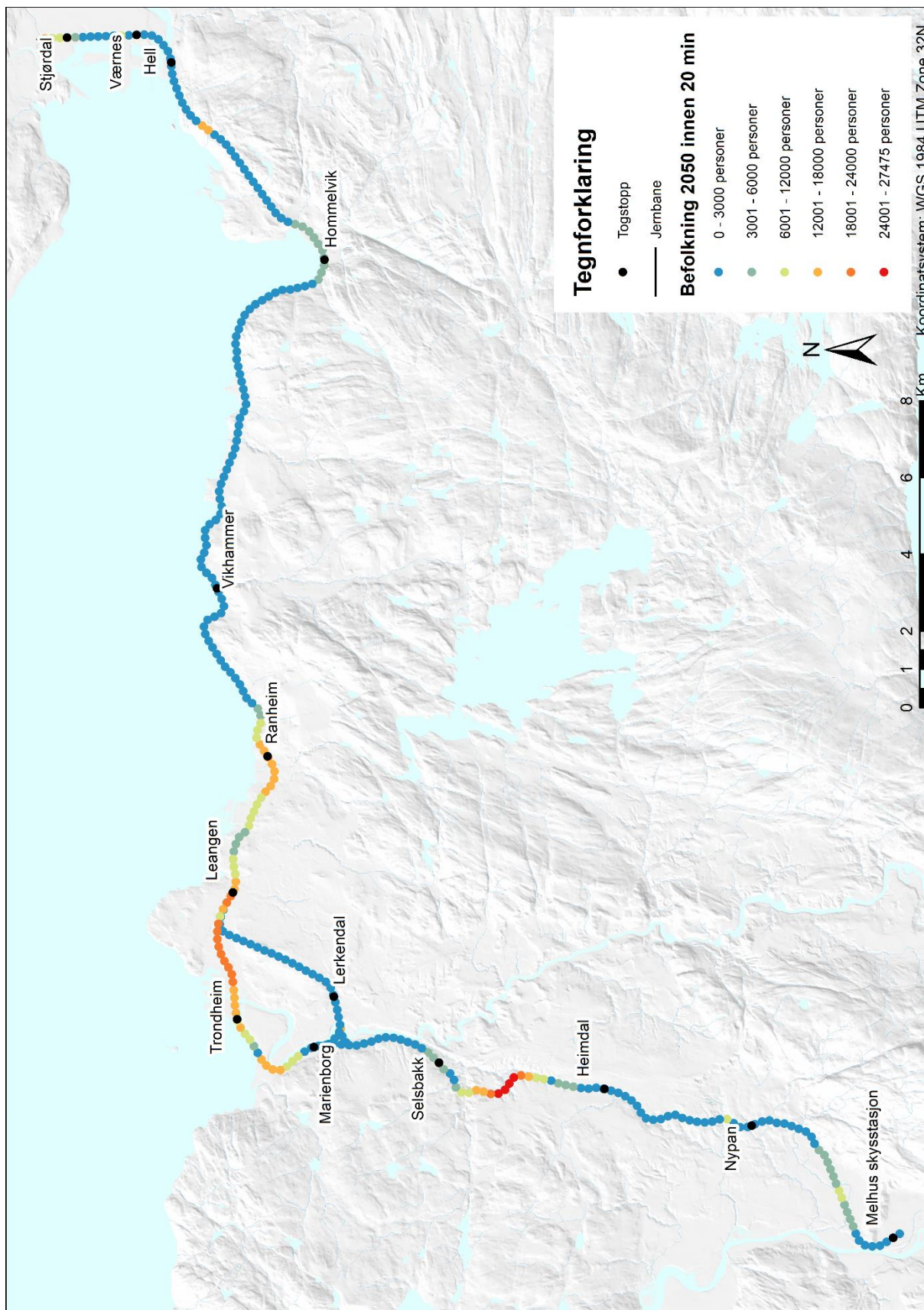
Vedlegg 7a: Befolkning i dag (per 2017) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Stjørdal og Melhus



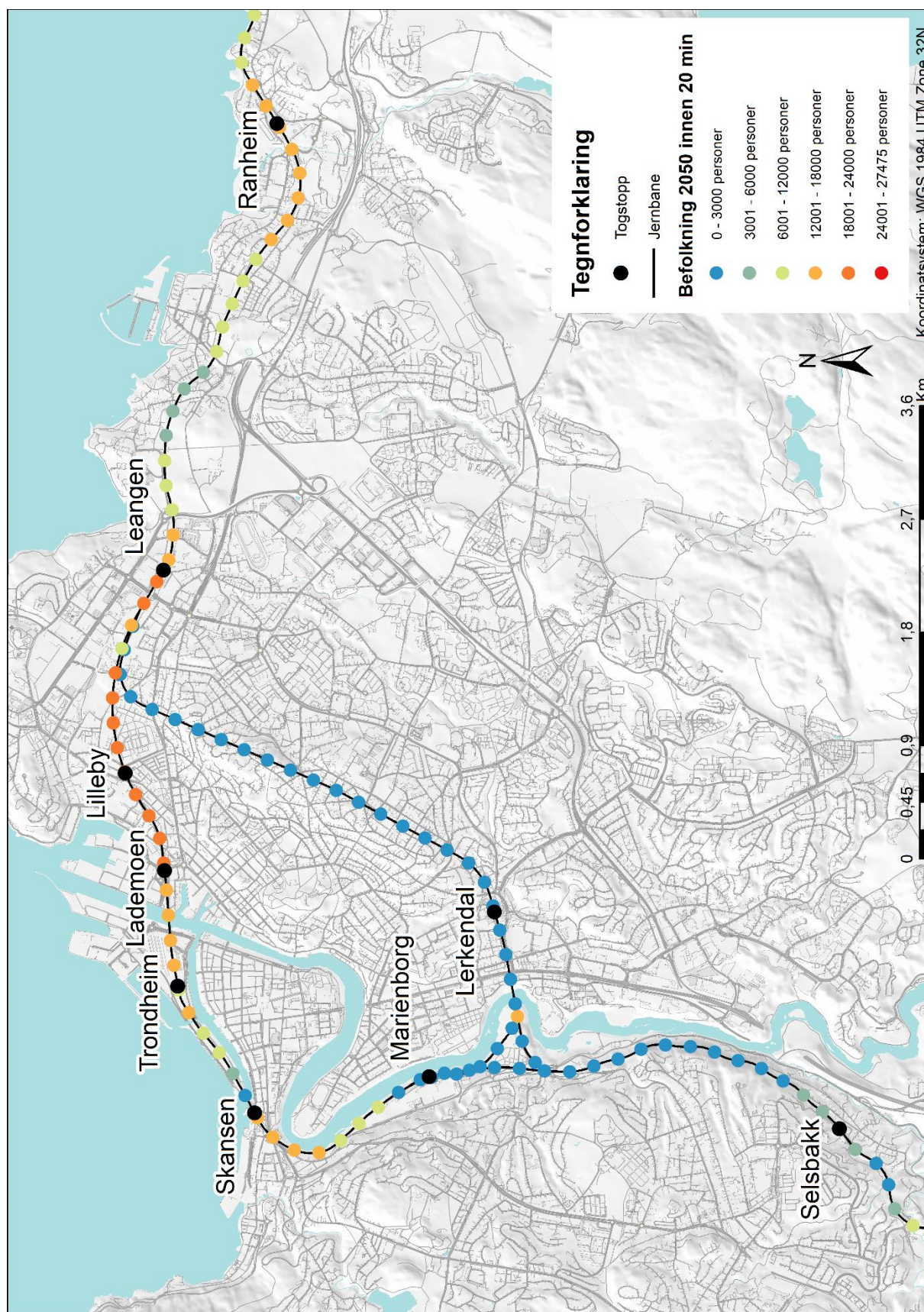
Vedlegg 7b: Befolkning i dag (per 2017) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Ranheim og Selsbakk



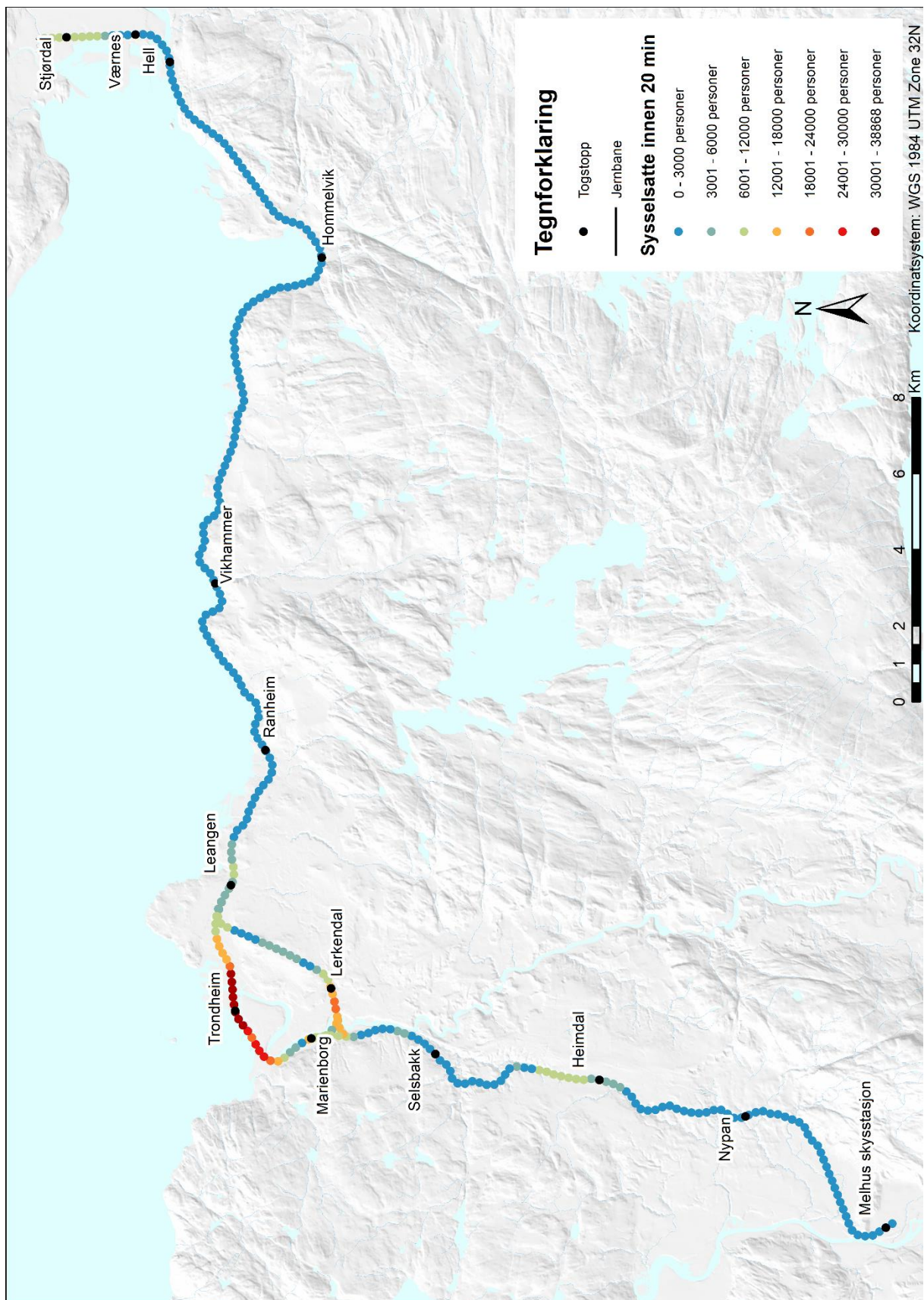
Vedlegg 8a: Befolkning 2050 (basert på RTM-modellen) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Stjørdal og Melhus



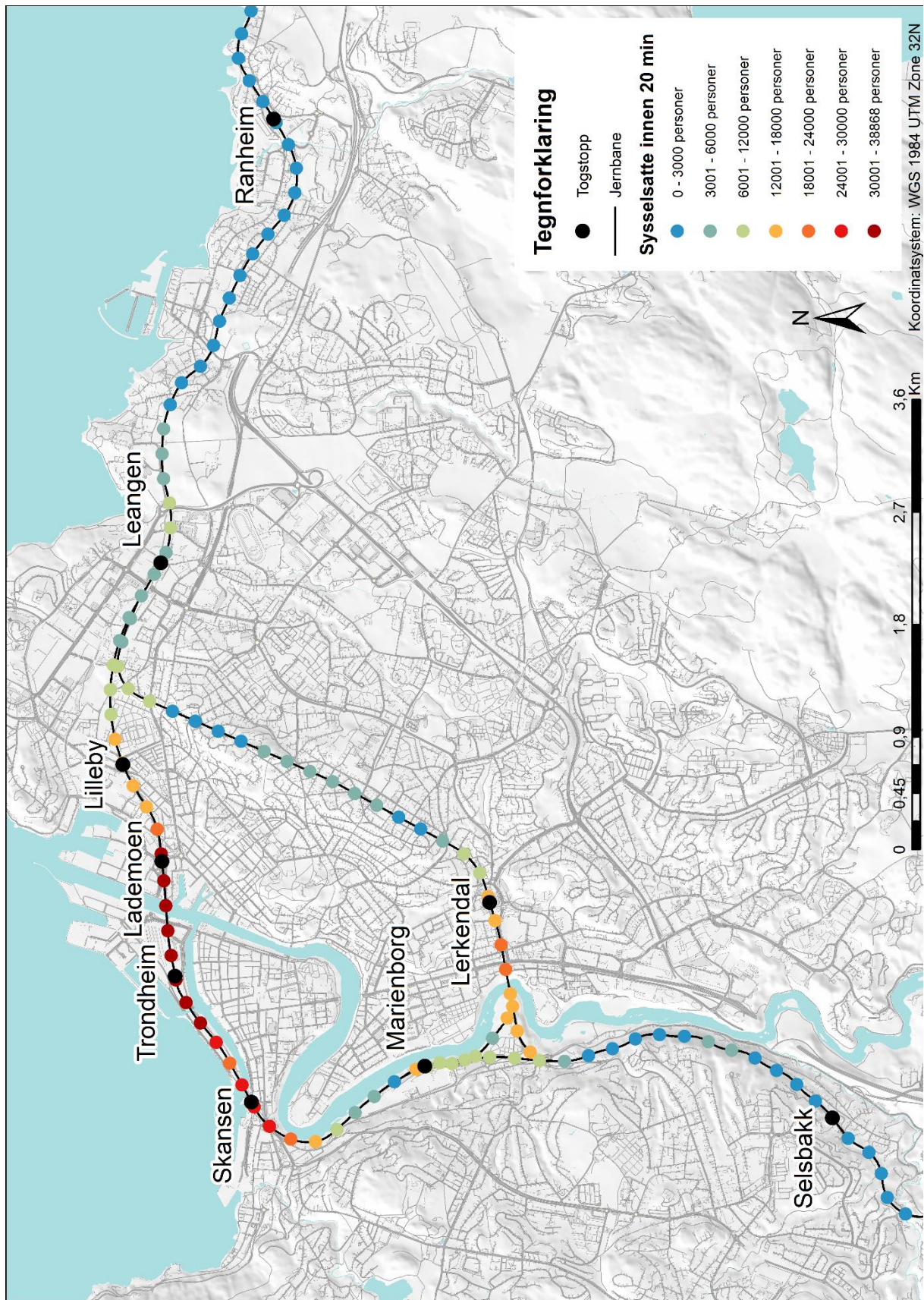
Vedlegg 8b: Befolkning 2050 (basert på RTM-modellen) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Ranheim og Selsbakk



Vedlegg 9a: Sysselsatte i dag (per 2018) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Stjørdal og Melhus



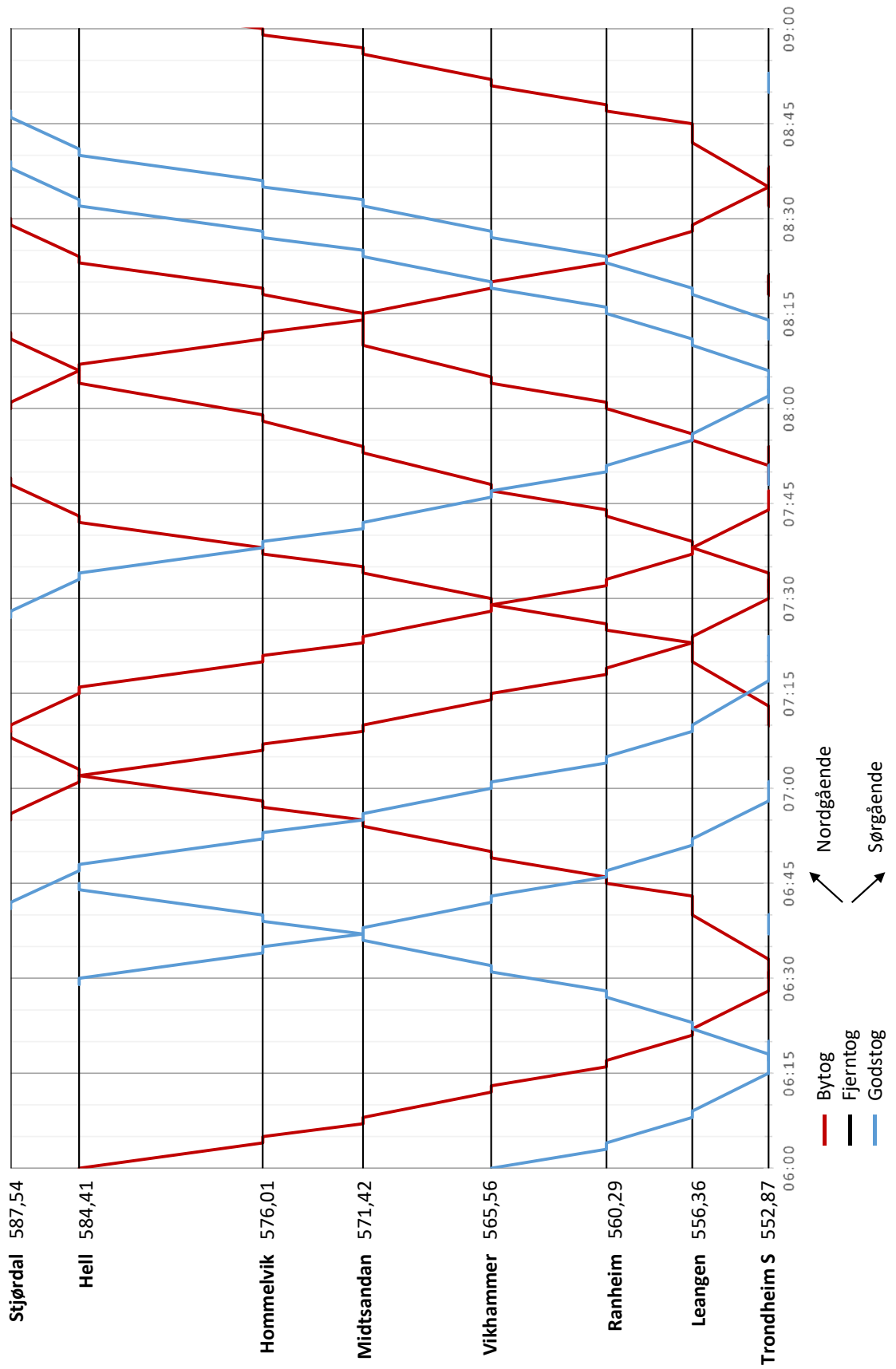
Vedlegg 9b: Sysselsatte i dag (per 2018) innen 20 minutters gangavstand til jernbanen, mellom Ranheim og Selsbakk



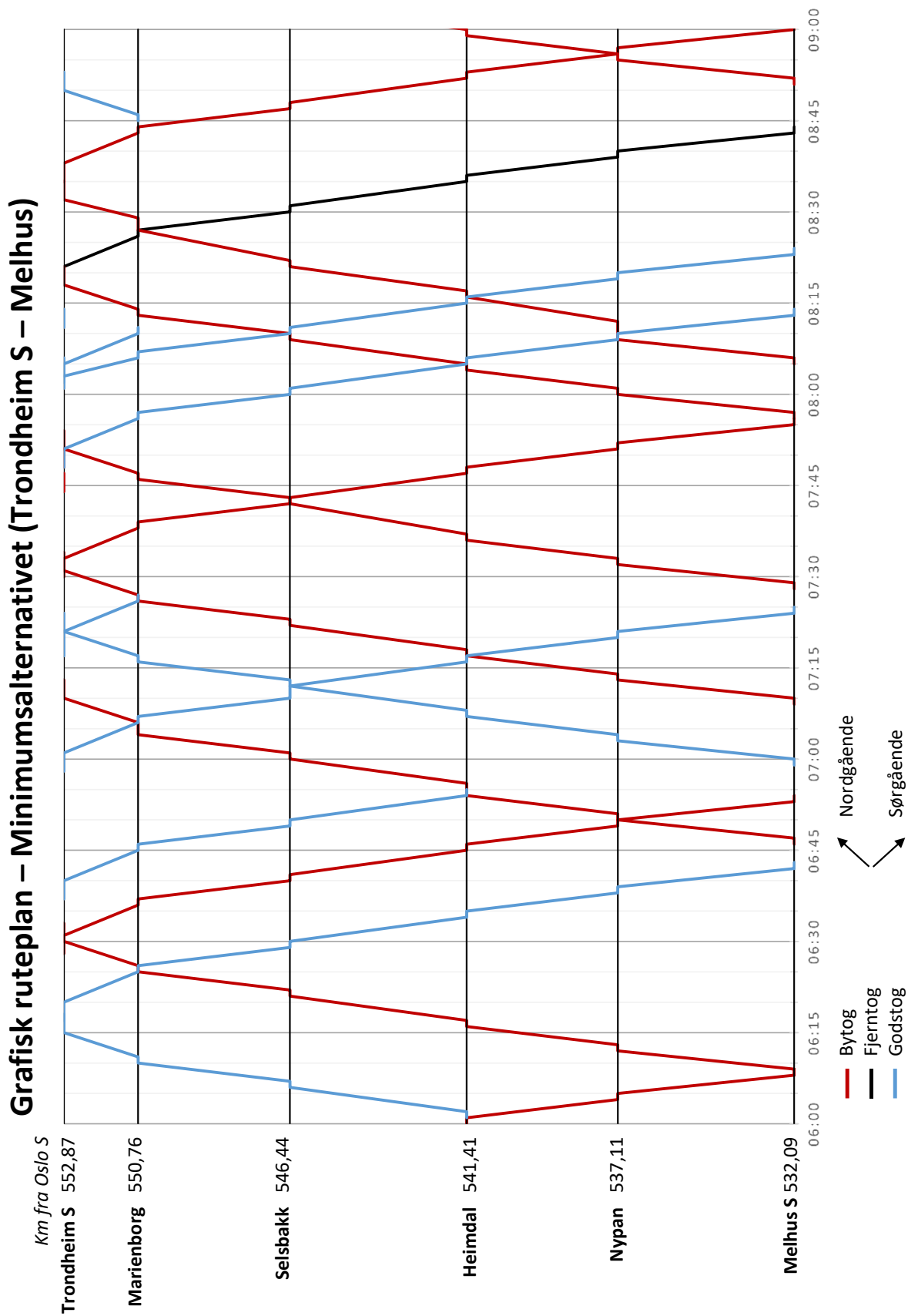
Vedlegg 10a: Minimumsalternativet, mellom Stjørdal og Trondheim S

Grafisk ruteplan – Minimumsalternativet (Stjørdal – Trondheim S)

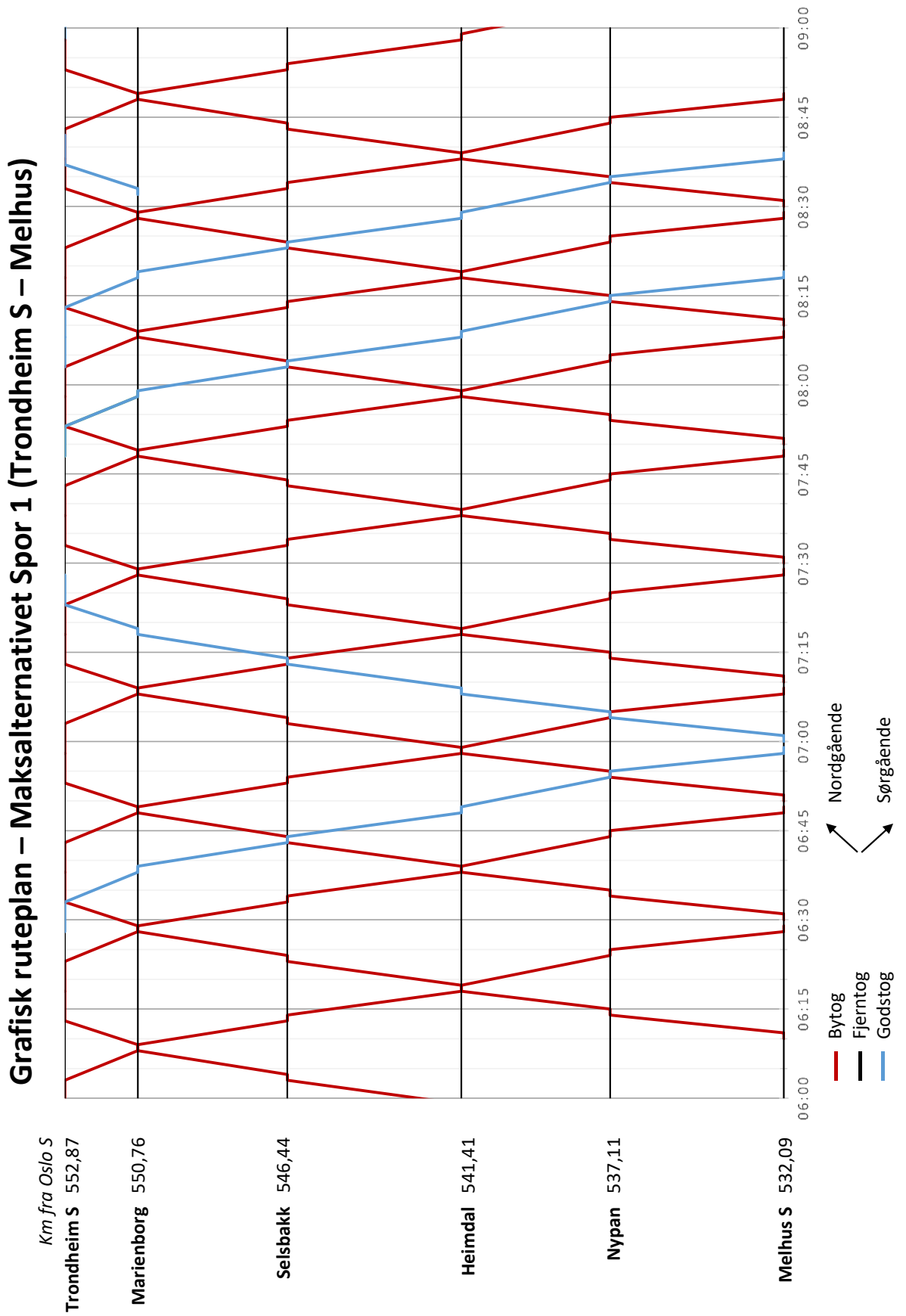
Km fra Oslo S



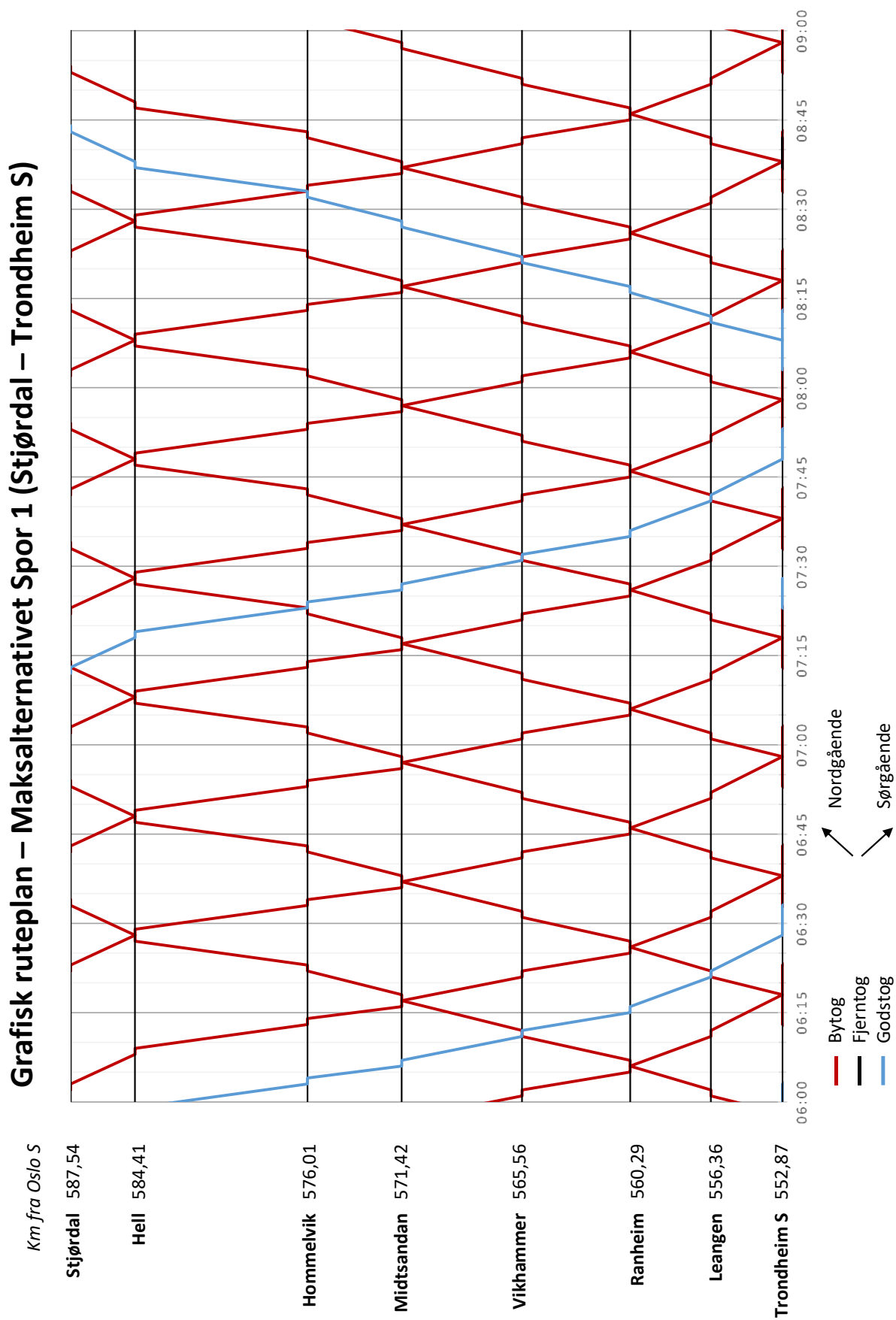
Vedlegg 10b: Minimumsalternativet, mellom Trondheim S og Melhus



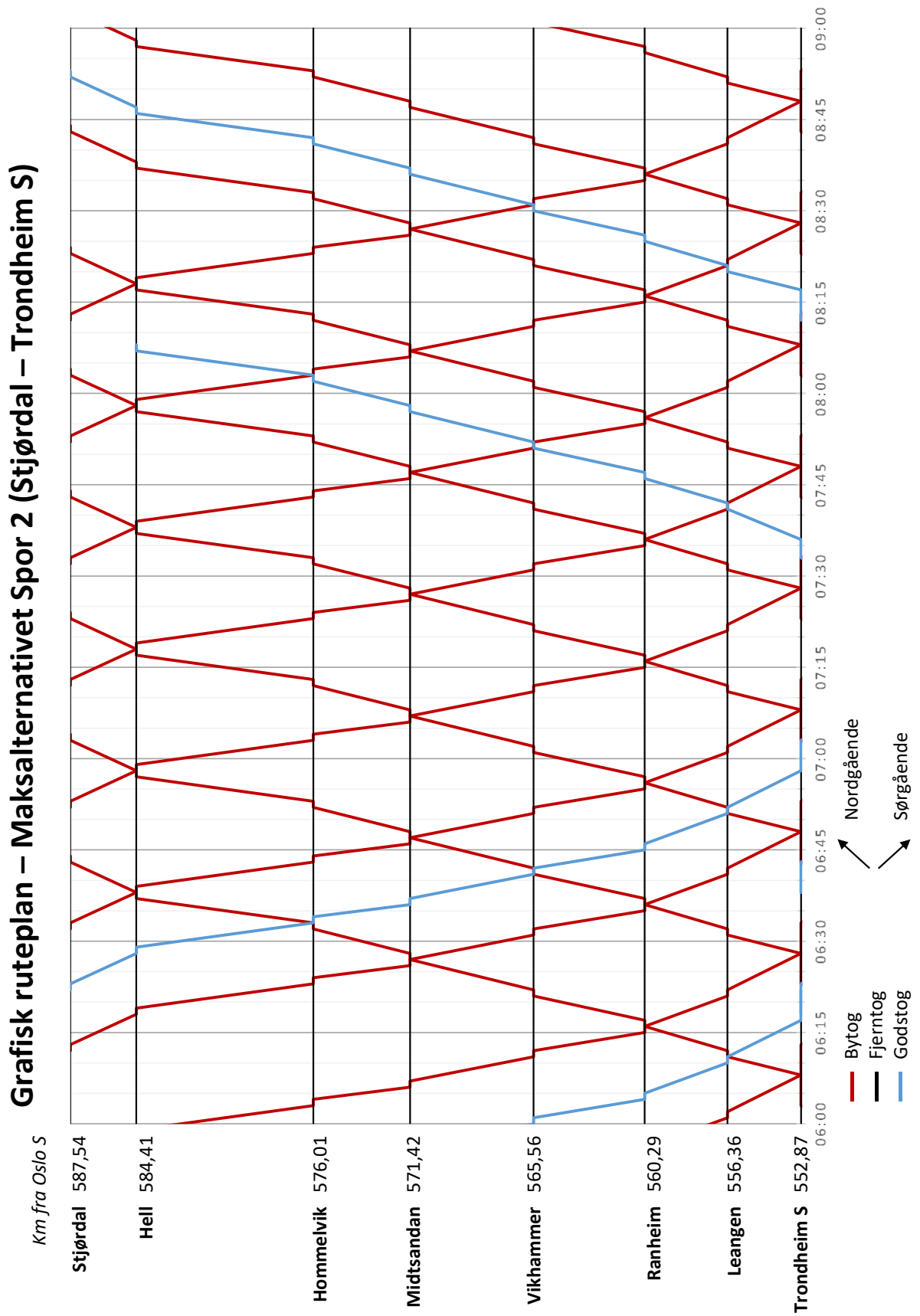
Vedlegg 11a: Maksalternativet Spor 1, mellom Stjørdal og Trondheim S



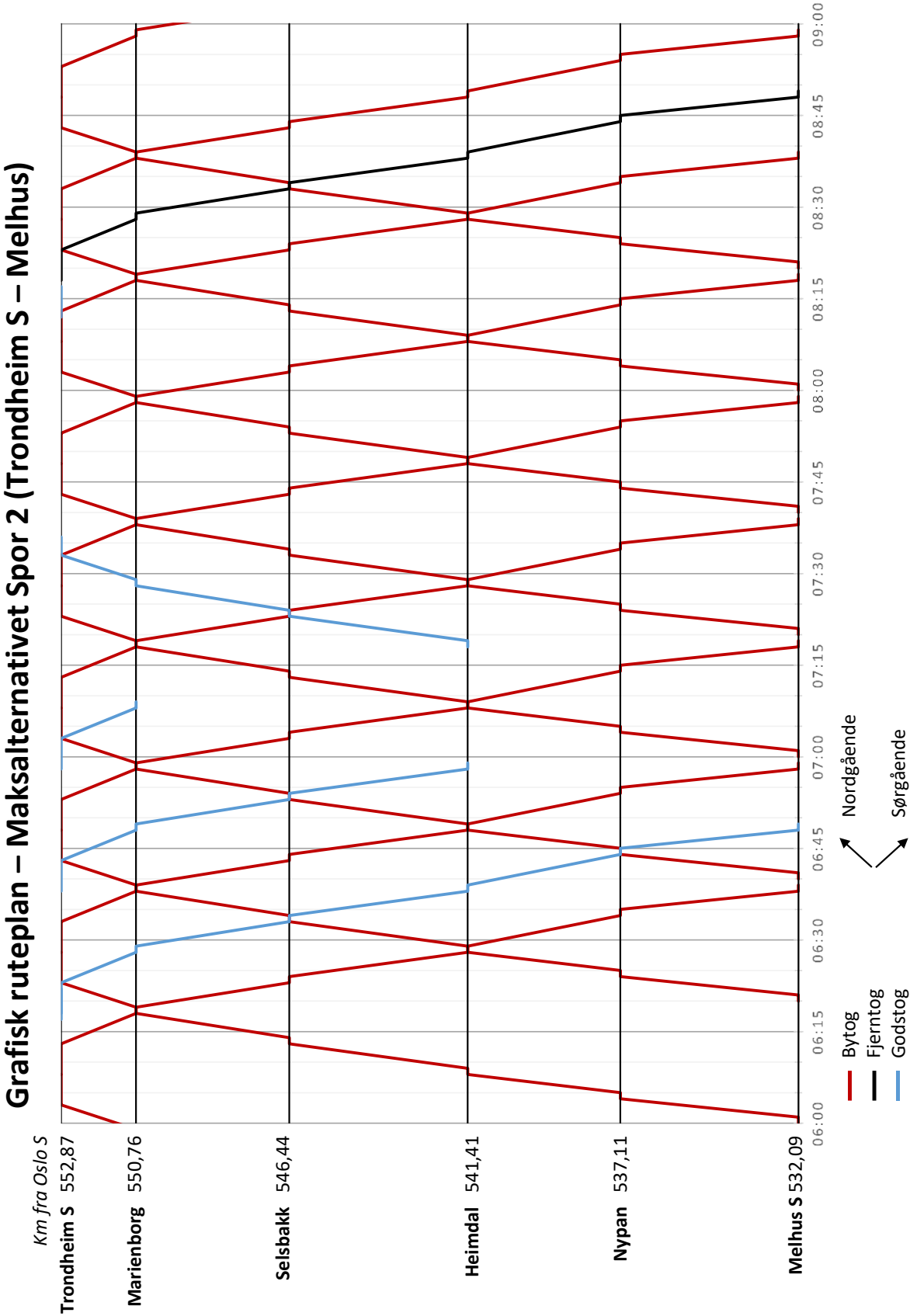
Vedlegg 11b: Maksimalt alternativet Spor 1, mellom Trondheim S og Melhus



Vedlegg 11c: Maksimalt alternativet Spor 2, mellom Stjørdal og Trondheim S



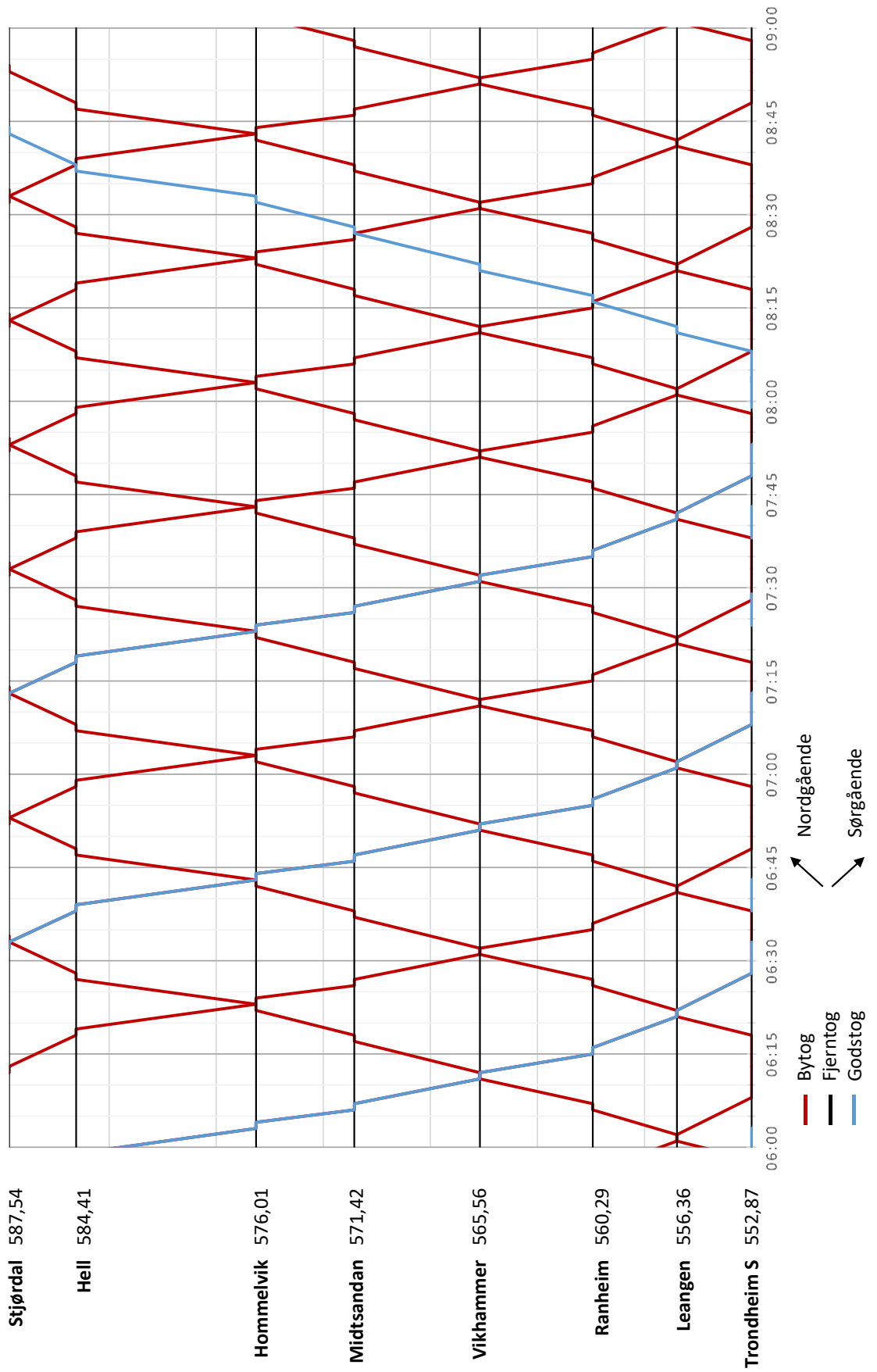
Vedlegg 11d: Maksimalt alternativet Spor 2, mellom Trondheim S og Melhus



Vedlegg 12a: Middelalternativet Spor 1, mellom Stjørdal og Trondheim S

Grafisk ruteplan – Middelalternativet Spor 1 (Stjørdal – Trondheim S)

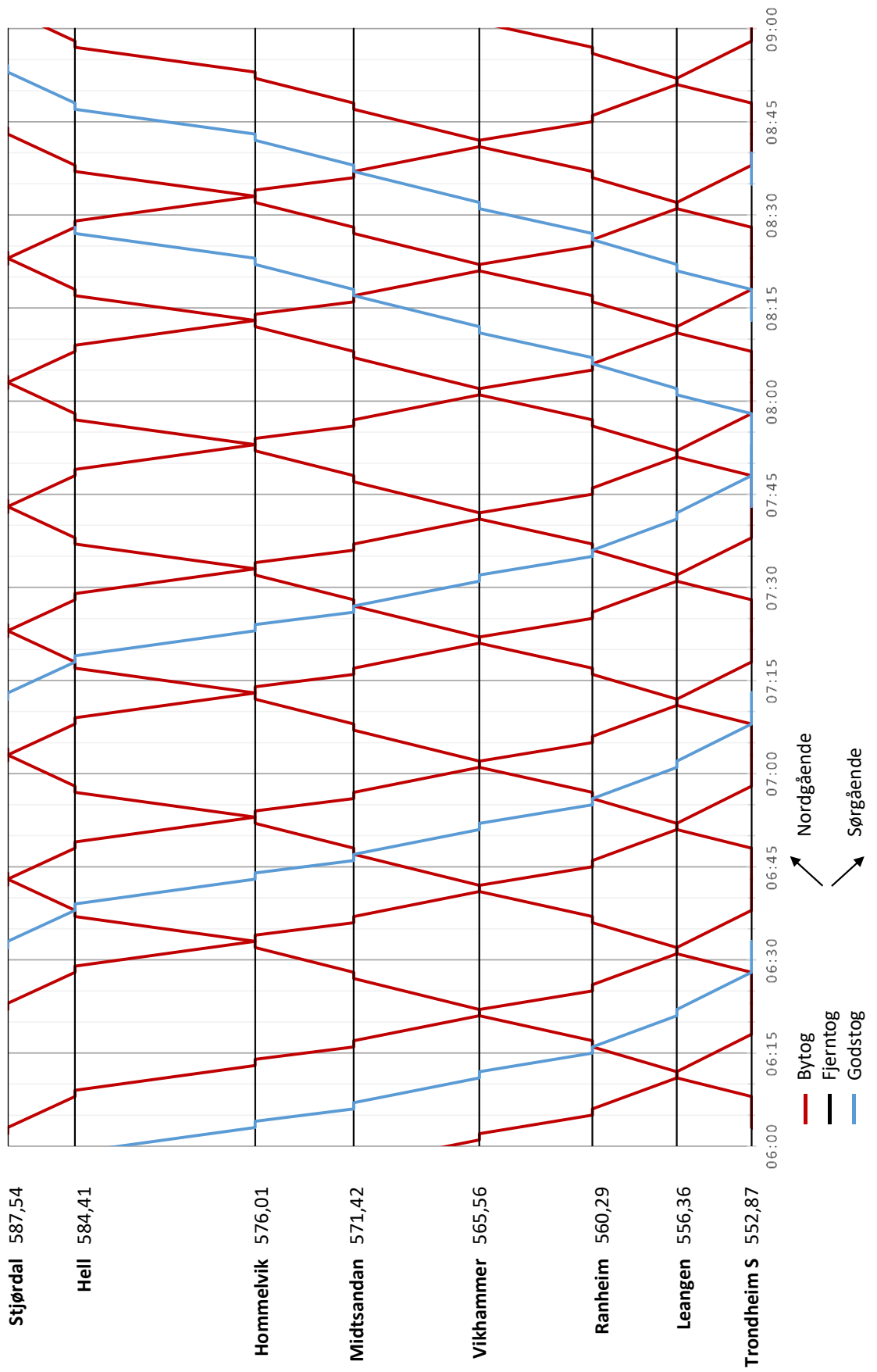
Km fra Oslo S



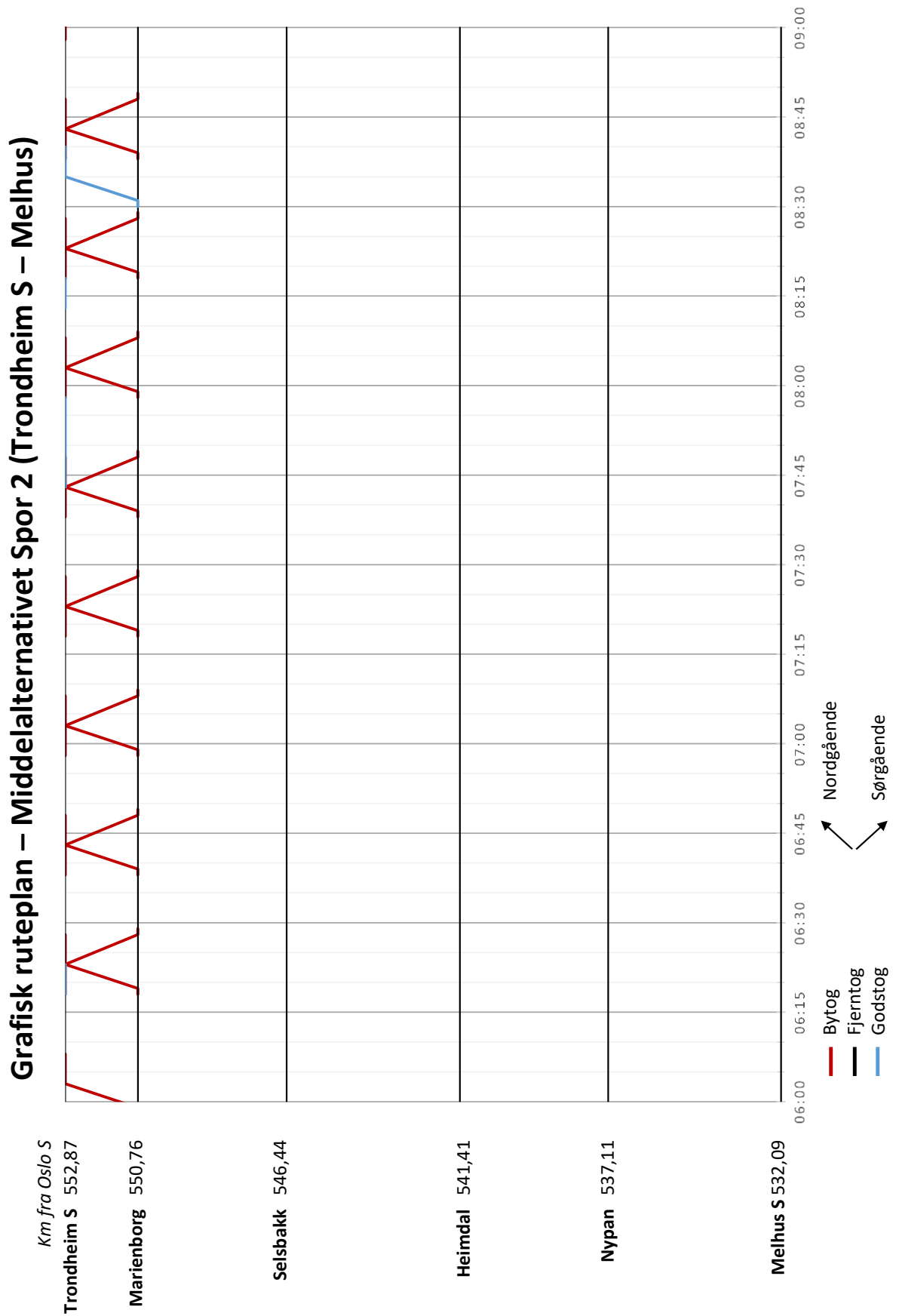
Vedlegg 12c: Middelalternativet Spor 2, mellom Stjørdal og Trondheim S

Grafisk ruteplan – Middelalternativet Spor 2 (Stjørdal – Trondheim S)

Km fra Oslo S



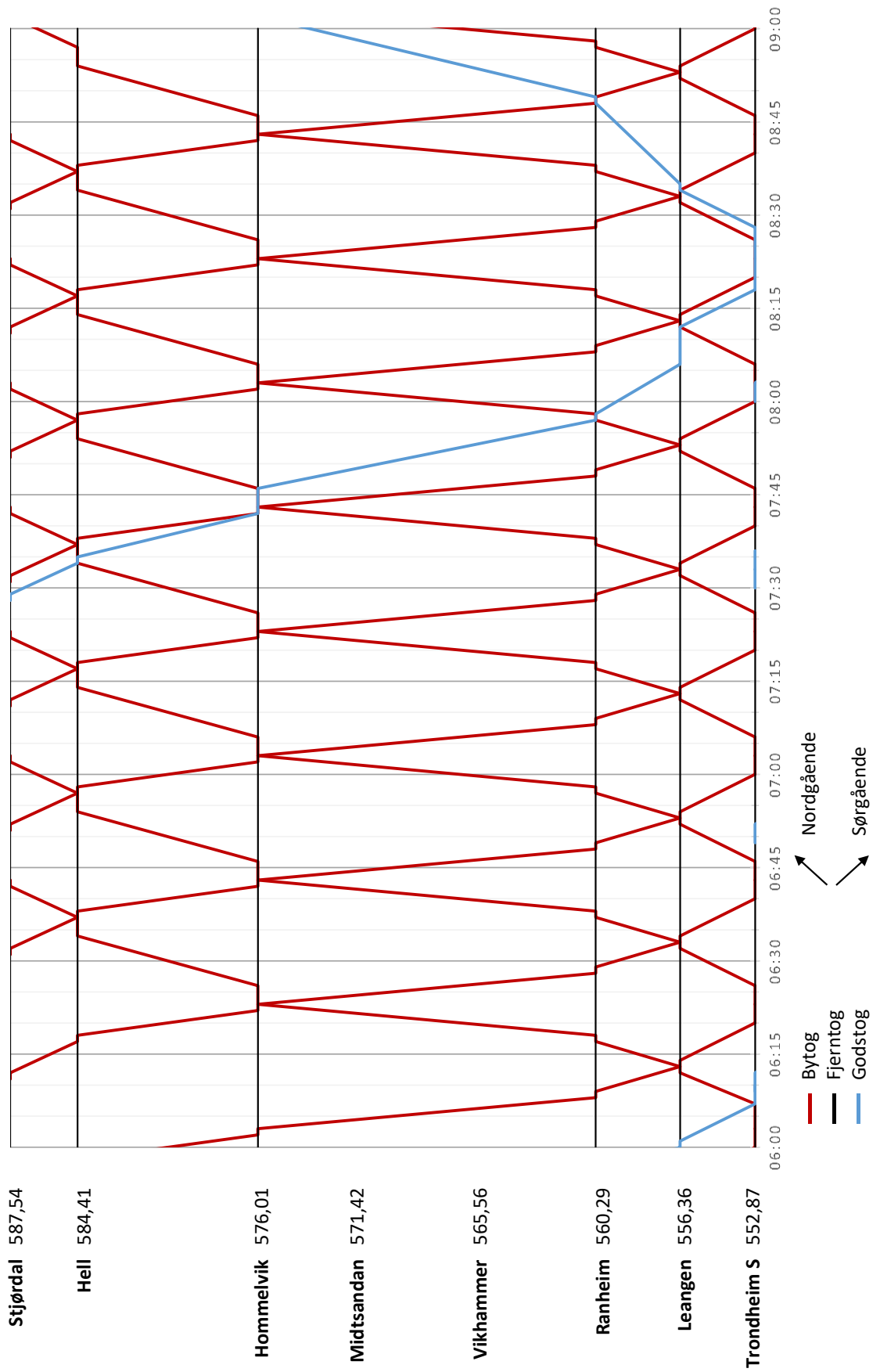
Vedlegg 12d: Middelalternativet Spor 2, mellom Trondheim S og Melhus



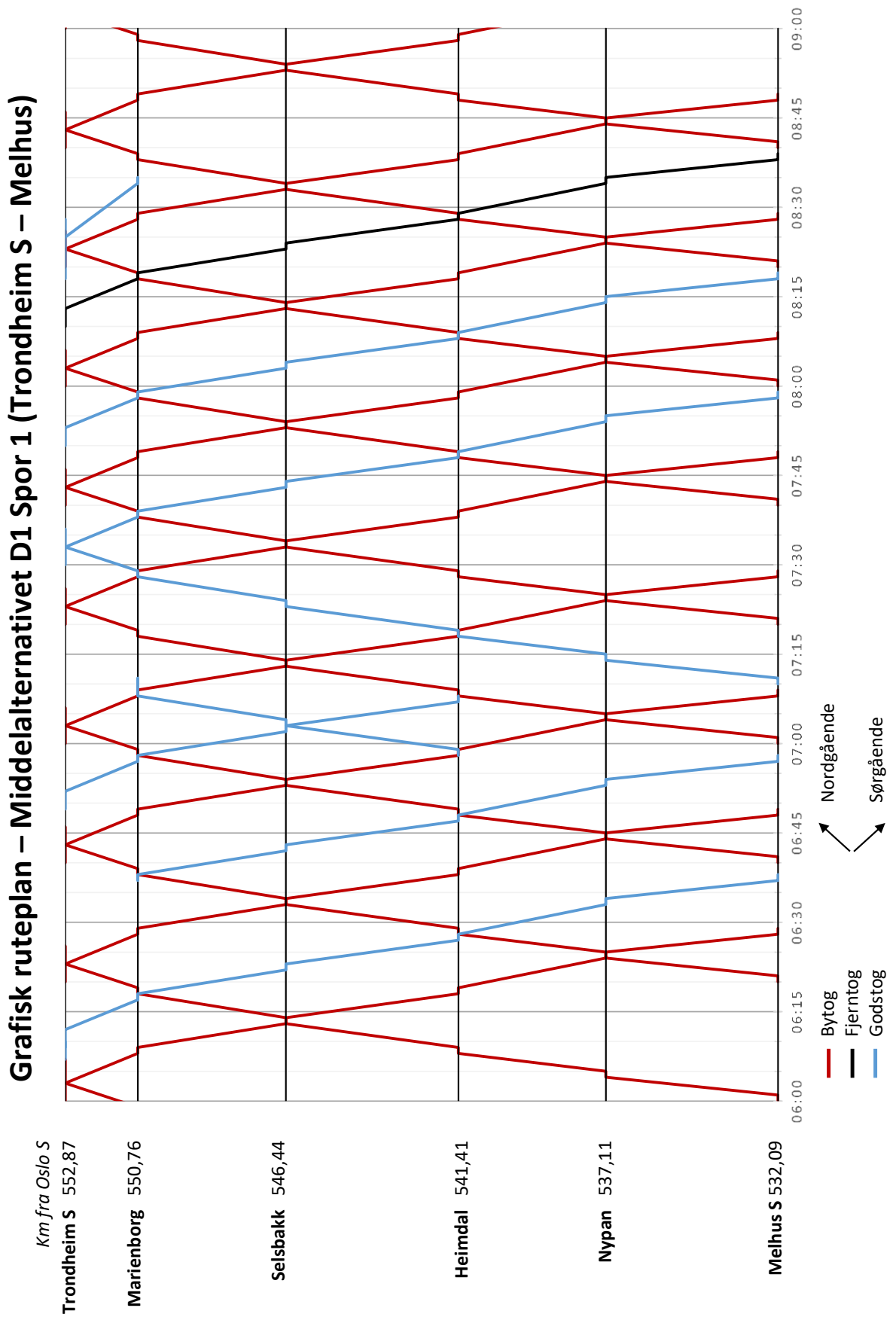
Vedlegg 13a: Middelalternativet D1 Spor 1, mellom Stjørdal og Trondheim S

Grafisk ruteplan – Middelalternativet D1 Spor 1 (Stjørdal – Trondheim S)

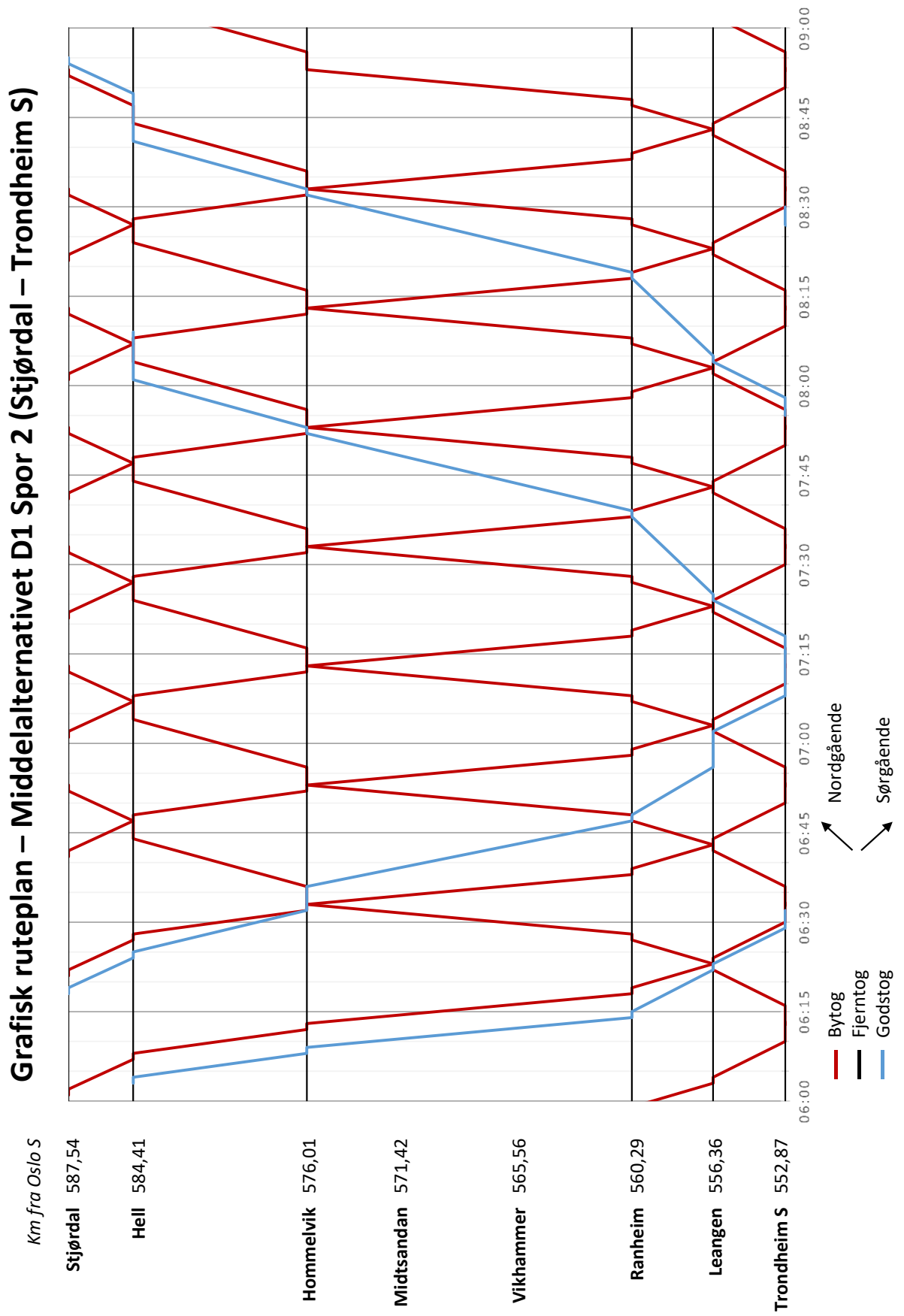
Km fra Oslo S



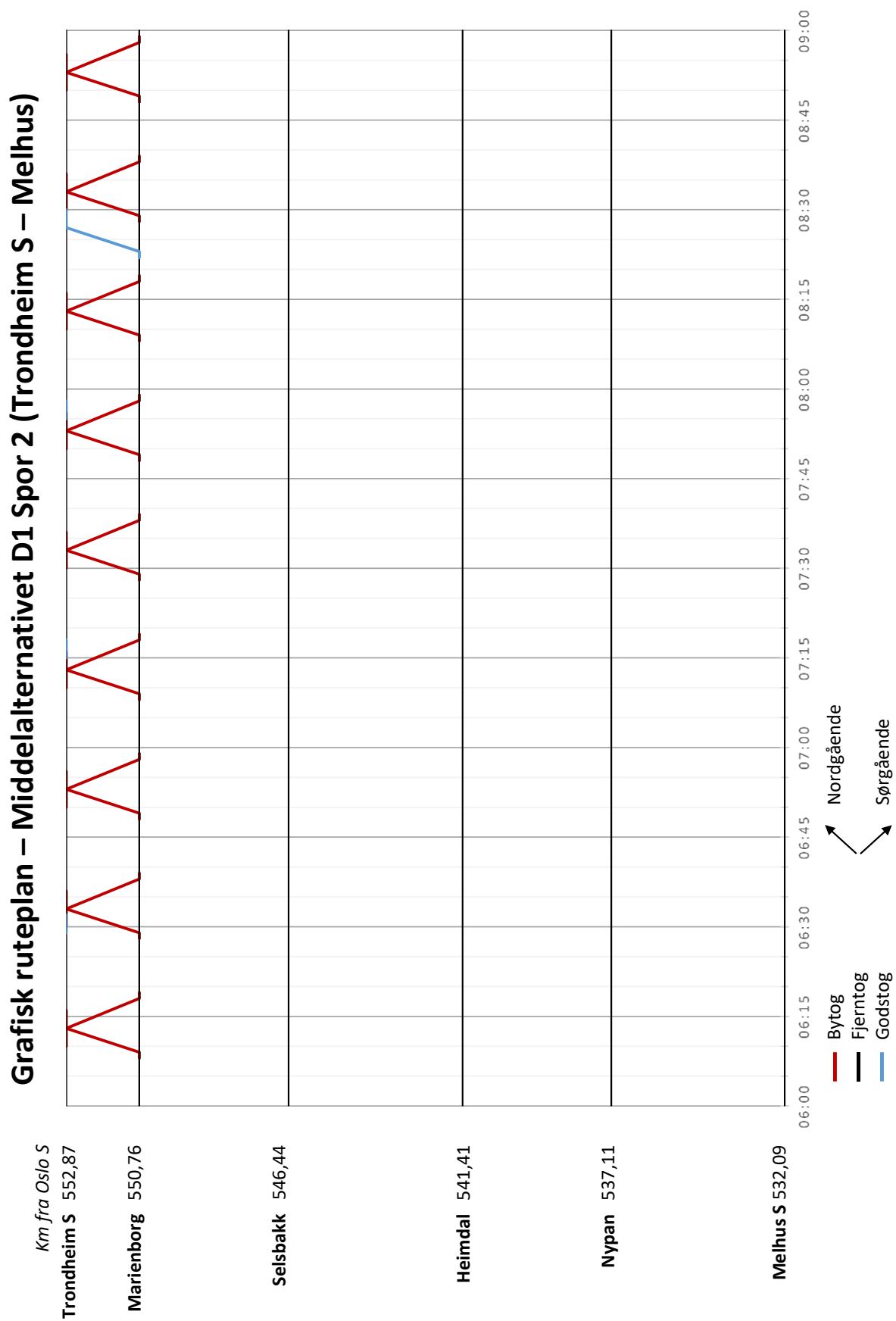
Vedlegg 13b: Middelalternativet D1 Spor 1, mellom Trondheim S og Melhus



Vedlegg 13c: Middelalternativet D1 Spor 2, mellom Stjørdal og Trondheim S



Vedlegg 13d: Middelalternativet D1 Spor 2, mellom Trondheim S og Melhus



To Whom it Might Concern

Master thesis spring 2020 - consequences of the Covid 19 pandemic

The pandemic situation in spring 2020 made it necessary to change or adjust the topic for master theses at NTNU. The university closed including laboratories and did not allow any type of field work, thus made it impossible to continue planned work for many students.

Sincerely yours



Inge Hoff
Professor



This letter was sent to all students with specialisation in Transport, Road or Railways in the Civil and Environmental study program to be included as an attachment in their thesis.

Address	Org. no. 974 767 880	Location	Phone	Executive officer
7491 Trondheim Norway	postmottak@iv.ntnu.no www.ntnu.no/ibm	Høgskoleringen 7 A	+47 73594640	Inge Hoff inge.hoff@ntnu Phone: 934 26 463

Please address all correspondence to the organizational unit and include your reference.

