

Hvor skal godstrafikken gå i framtiden;

Østfoldbanen Vestre eller Østre linje,
separasjon eller blanding av gods- og
persontrafikk?

Ove Tovås

Master i veg og jernbane

Innlevert: mai 2015

Hovedveileder: Kjell Arne Skoglund, BAT

Medveileder: Finn Holom, Jernbaneverket

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport

Forord

Denne masteroppgaven er det avsluttende arbeidet for det erfaringsbaserte masterstudiet som jeg begynte på ved NTNU høsten 2012. Jeg begynte i Jernbaneverket i 2007, og jobbet først med saksbehandling og godkjenning av Jernbaneverkets rullende materiell. I 2009 - 2010 deltok jeg på kurset Nordisk Baneingeniør Utdannelse, og etter hvert var det naturlig å gå videre i jakten på kunnskap og faglig påfyll. Siden 2012 har jeg jobbet med kapasitet og ved spesialiseringen i masterstudiet var bane/trafikk et naturlig valg.

Oppgaven ble valgt fordi den gir en fordypning i det tekniske ved utformingen av forbikjøringsspor og infrastruktur, men også tar for seg totalbildet ved kapasitet i en jernbanekorridor.

Jeg vil takke mine veiledere, Kjell Arne Skoglund (NTNU) og Finn Holom (Jernbaneverket), samt gode kollegaer i Jernbaneverket som har besvart mulige og umulige spørsmål.

Fredrikstad, 13.05.2015

Ove Tovås

Forsidebilde: Østre og Vestre linje møtes ved km 111,5 ved Hafslund

Sammendrag

Østfoldbanen Vestre linje Ski - Moss Sarpsborg - Halden skal som en del av IC-utbyggingen på Østlandet bygges ut med dobbeltspor på hele strekningen, og for en maksimalhastighet opp til 250 km/h. Det er forutsatt at det skal gå blandet trafikk på banen, både godstog med en maksimalhastighet på 100 km/h og hurtiggående persontog. Blandet trafikk med store hastighetsforskjeller fører til begrenset kapasitet. Det kan bygges forbikjøringsspor for godstogene, men dette fører til forlenget framføringstid. Godstrafikken kan også overføres helt eller delvis til den enkeltsporede Østre linje, Ski - Mysen - Sarpsborg. Tidlig i IC-prosjektet var det planer om at Østre linje på sikt skulle overta noe av godstrafikken, men man satser nå bare på Vestre linje.

Hensikten med oppgaven er å se på blanding av gods- og persontrafikk, både ved generelle prinsipper for blandet trafikk og konkret hvor lenge Vestre linje har kapasitet til godstrafikken.

I oppgaven sees det på tidstap ved forbikjøring, og det er utført simuleringer for konsepter hvor godstrafikken bruker bare Vestre linje, bare Østre linje eller en blanding av disse to. Basert på simuleringene og generell informasjon om godstrafikken på Østfoldbanen gis anbefalinger om videre arbeid.

Oppgaven begrenses geografisk til hovedsaklig å se på de to strekningene fra Ski til Sarpsborg, og med ruteplanmessige forutsetninger som er benyttet av IC-prosjektet.

Konklusjonen er at Vestre linje vil ha kapasitet for blandet trafikk til etter 2030, basert på de tilbudskonseptene som er brukt ved IC-utbyggingen og Jernbaneverkets nåværende godsstrategi. Senere vil det bli behov for forbikjøringsspor.

Østre linje vil løpet av 2015 få det nye pan-europeiske signalsystemet ERTMS, og blir på det området den mest moderne i landet. For å kunne ta i mot daglige godstog kreves det en oppgradering av øvrige deler av infrastrukturen, og flere lange kryssingsspor.

Det anbefales at kapasiteten på Østre og vestre linje sees på i sammenheng, og om eventuelle kostnader for forbikjøringsspor på Vestre linje kan brukes på Østre linje for å gi en mer fleksibel løsning.

Abstract

The Intercity project responsible for the building and upgrading of the double track line Ski - Moss - Sarpsborg - Halden (Vestre linje), has chosen a mixed traffic concept with freight trains running at 100 km/h and faster passenger trains on the same line. Mixed traffic gives a reduction in line capacity, but passing loops could be a solution, even if they will add several minutes to the timetable for the freight trains.

An alternative could be to transfer the freight trains to the single track Østre linje, Ski - Sarpsborg, partly or completely. At an early stage in the planning it was discussed to run some freight trains on the Østre linje, but these plans have been cancelled.

The purpose of this thesis is to have a look at mixed traffic, both the general principles and more specifically how long the Vestre linje will be able to cope with a future growth in traffic.

The time loss for the freight trains created by the use of passing loops is investigated, and simulations have been run for three different concepts, mixed traffic on the Vestre linje, freight trains on the Østre linje and a combination of the two concepts.

Based on the simulations and other information of present and future traffic on the lines, further analysis are recommended.

The discussion in the thesis is mostly limited to the two lines between Ski and Sarpsborg, and based on the traffic concepts used by the Intercity project.

The conclusion is that the Vestre linje will have enough capacity for mixed traffic until around 2030, but later on there could be the need for passing loops to be built.

The Østre linje will during 2015 be upgraded with the pan-European signaling system ERTMS, but there is a need for more passing loops suitable for freight trains, and a general upgrade of the infrastructure.

It is recommended to review the capacity for the two lines as an integrated system, and the need for investments caused by freight traffic.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Innholdsfortegnelse	vi
Tabeller.....	ix
Figurliste.....	x
Forkortelser og forklaringer	xi
1 Innledning og metode.....	1
1.1 Problemstilling.....	1
1.2 Avgrensning.....	2
1.3 Formål med oppgaven	2
1.4 Målgruppe.....	2
1.5 Metoder.....	2
1.5.1 Konstruksjon av forbikjøringsspor	2
1.5.2 Kjøretidsberegninger og simulering av ruteplan	3
1.5.3 Evaluering og anbefaling	3
1.6 Oppgavens disposisjon	3
2 Bakgrunn	4
2.1 Situasjonsbeskrivelse.....	4
2.2 IC-utbyggingen.....	4
2.2.1 Tilbudskonsept	6
2.2.2 Tilbudskonsepter Østfoldbanen.....	6
2.2.3 Infrastruktur.....	9
2.2.4 Togfølgetider	11
2.2.5 Blandet trafikk.....	11
2.2.6 Signalsystem.....	12
2.2.7 Vedlikehold	12
2.2.8 Rutemodellprosjekt 2027	13
2.3 Litteraturstudie.....	13
2.3.1 Erfaringer i andre land.....	14

2.3.2	Forholdene i Norge.....	15
3	Teori - kapasitet.....	16
3.1	Generell del.....	16
3.1.1	Definisjon av kapasitet	16
3.1.2	UICs veiledninger 405-1 R og 406 R.....	17
3.1.3	Teoretisk og praktisk kapasitet.....	18
3.1.4	Strekningskapasitet.....	19
3.1.5	Togfølgetid	20
3.1.6	Kapasitet på dobbeltspor - ensartet trafikk.....	21
3.1.7	Kapasitet på dobbeltspor - blandet trafikk	23
3.1.8	Buffertid og kjøretidstillegg	25
3.1.9	Andre forhold angående kapasitet.....	26
3.2	Kapasitet og beregning av tidstap ved forbikjøring.....	27
3.2.1	Teori - tidstap ved forbikjøring	27
3.2.2	Verdier for retardasjon og akselerasjon.....	28
3.2.3	Utforming av forbikjøringsspor	30
3.2.4	Valg av sporveksel for forbikjøringsspor.....	32
3.2.5	Togfølgetid ved forbikjøring.....	36
3.2.6	Tidstap ved forbikjøring.....	37
3.2.7	Forbikjøring uten stopp – flyvende forbikjøring.....	39
4	Simulering og inngangsdata	42
4.1	Simuleringer	42
4.2	Trenoplus	42
4.3	Inngangsdata til simuleringene	43
4.3.1	Intercity- og regiontog.....	43
4.3.2	Godstog	43
5	Simulering av konsepter	47
5.1	Forutsetninger.....	47
5.1.1	Ny avgrensning til Østre linje.....	47
5.1.2	Tilsving ved Hafslund	47
5.1.3	Prognoser for godstrafikk.....	47
5.2	Konsept 1 - blandet trafikk på Vestre linje.....	47
5.2.1	Simulering av trafikk i 2027.....	47
5.2.2	Vurdering av resultat - Vestre linje	51

5.3	Konsept 2 - blandet trafikk på Østre linje.....	52
5.3.1	Simulering av trafikk i 2027.....	52
5.3.2	Vurdering av resultat - Østre linje.....	53
5.4	Konsept 3 - Godstrafikk både på Østre og Vestre linje.....	53
5.4.1	Retningsdrift og godstrafikk på begge baner	53
5.4.2	Vurdering av resultat - bruk av både Østre og Vestre linje.....	53
5.5	Nye traseer for godstrafikk	54
6	Evaluering	56
6.1	Kriterier	56
6.2	Evaluering.....	56
6.3	Usikkerhet.....	57
7	Oppgradering av Østre linje	58
8	Konklusjon og anbefaling	61
8.1	Konklusjon.....	61
8.2	Anbefaling	61
9	Kilder – litteratur.....	62
	Liste over vedlegg	64

Tabeller

Tabell 1 Reisetider Østfoldbanen.	5
Tabell 2 Verdier for retardasjon	29
Tabell 3 Verdier benyttet for kjøretidsberegninger for IC-prosjektet.	29
Tabell 4 Verdier for akselerasjon og retardasjon	29
Tabell 5 850 meter forbikjøringsspor - godstog stopper ved utkjøringsignal	32
Tabell 6 850 meter forbikjøringsspor - persontog stopper ved plattform	33
Tabell 7 Lengde av forbikjøringsspor ved forbikjøring uten stopp	40
Tabell 8 Tillatt hastighet og maksimal aksellast for overbygningsklasser.....	44
Tabell 9 Network statement 2016, tabell 3.3.2.5.1 Godstog	44
Tabell 10 Evaluering av konsepter	56
Tabell 11 De viktigste tiltakene i utredningen fra 2003	59
Tabell 12 Gjenstående tiltak for Østre linje	60
Tabell 13 Kostnader for bygging av Jensrud og Vålåsjø kryssingsspor	60

Figurliste

Figur 1 Valgt utbyggingskonsept for Østfoldbanen.....	5
Figur 2 - T2031 for Østfoldbanen	7
Figur 3 Infrastrukturkonsept for IC-utbyggingen på Østfoldbanen.	10
Figur 4 Anbefaling for utbygging av ERTMS.	12
Figur 5 Konsepter for blanding av konvensjonell tog og høyhastighetstog.....	14
Figur 6 Trafikkblanding og kapasitet	16
Figur 7 Compression of timetable graphs according to the UIC406 capacity method.	18
Figur 8 Typiske kapasitetsnivåer.....	19
Figur 9 Minste togfølgetid ved 3-begrep signalering.....	20
Figur 10 Kapasitet ved ensartet trafikk	21
Figur 11 Skjematisk fremstilling av kapasitet pr tidsenhet.....	23
Figur 12 Gruppering av blandet trafikk.....	24
Figur 13 Kapasitet ved blandet trafikk	24
Figur 14 Utdrag av grafisk ruteplan Oslo - Ski, rutetermin R15.....	25
Figur 15 Grafisk framstilling av buffertid.....	26
Figur 16 Forenklet tid/vei diagram for forbikjøring.....	28
Figur 17 Utforming av forbikjøringsspor.....	31
Figur 18 Prinsippskisse for forbikjøringsspor.....	32
Figur 19 Akselerasjonskurve 750 meter toglengde, $a=0,2$ m/s ² , sporveksel 80 km/h.....	34
Figur 20 Akselerasjonskurve 210 meter toglengde, $a=0,4$ m/s ² , sporveksel 80 km/h	35
Figur 21 Akselerasjonskurve 210 meter toglengde, $a=0,7$ m/s ² , sporveksel 80 km/h	35
Figur 22 Tid/vei diagram ved flyvende forbikjøring	39
Figur 23 Utbygging til fire spor mellom Providence og Westwood, USA.....	41
Figur 24 Internasjonale godsforbindelser.....	45
Figur 25 Grafisk rute for Ski - Halden i rushretning, kl 16 - 18	48
Figur 26 Grafisk rute for Halden - Ski i rushretning, kl 07 - 09	49
Figur 27 Grafisk rute for Ski - Halden i grunnrute, kl 11 - 13	50
Figur 28 Grafisk rute for Ski - Halden med ett fjerntog, kl 08 - 10	51
Figur 29 Grafisk rute for Ski - Mysen - Halden med ett godstog pr time, kl 09 - 12	52
Figur 30 Grafisk rute for Ski - Mysen - Halden med godstog i rushretning, kl 06 - 08.....	54
Figur 31 Nye traséer for godstrafikk mot Sverige.....	55
Figur 32 Hastighetsprofil for Østre linje	58

Forkortelser og forklaringer

ATC:	Automatisk togkontroll, system for hastighetsovervåking
Buffertid:	Tillegg til kjøretid i ruteplanen for å fange opp mindre forsinkelser
Gjennomsignalering:	Gjennomsignalering innebærer at målpunktet for en hastighetsreduksjon ligger en blokkstrekning lenger borte enn første hovedsignal man treffer på etter at man har fått informasjon om hastighetsreduksjonen. Føreren får denne informasjonen i ATC-systemets ombordenhet, den vises ikke i de utvendige signalene
Minste togfølgetid:	Den minste tidsavstanden mellom to tog hvor det andre toget kan følge uhindret etter det første
Punktlighet:	Punktlighet vil si at et tog ankommer en stasjon i henhold til gjeldende rutetabell, innenfor definerte marginer
Rutemodell:	En rutemodell er en operasjonalisering av et gitt tilbudskonsept på en gitt infrastruktur gjennom forslag til rutetider for tog.
Tilbudskonsept:	Et tilbudskonsept beskriver det ønskede inntektsgivende togtilbudet i et definert område. Beskrives gjennom: stoppmønster, fremføringstid, frekvens, døgnfordeling
UIC:	Union internationale des chemins de fer, den internasjonale jernbaneunion
Vestre linje:	Del av Østfoldbanen, banestrekningen Oslo - Moss - Sarpsborg - Kornsjø, 85 km
Østre linje:	Del av Østfoldbanen, banestrekningen Ski - Mysen - Sarpsborg, 80,5 km

1 Innledning og metode

1.1 Problemstilling

Oppgaven går ut på å se hvordan blanding av gods- og persontrafikk på Østfoldbanen Vestre linje (Oslo - Ski - Moss - Sarpsborg - Halden) vil fungere etter at IC-utbyggingen fra Oslo til østfoldbyene er ferdig, og eventuell bruk av den enkeltsporede Østre linje (Ski - Mysen - Sarpsborg) til godstrafikk. Den nye IC-traséen vil stort sett følge dagens trasé på Vestre linje. Strekningen til Seut ved Fredrikstad skal være ferdig utbygd innen 2024. Utbyggingen skal videreføres til Halden i 2030. I konseptene som er valgt for IC-utbyggingen mot Halden skal den dobbeltsporede banen som bygges til Sarpsborg benyttes av både gods- og hurtiggående persontog. Der det bygges helt ny trasé vil den gamle bli nedlagt, unntatt mellom Sarpsborg og Halden. Der er det ikke avklart om den gamle banen fortsatt skal brukes. Alternativet til at godstrafikken kjøres på Vestre linje er å bruke Østfoldbanen Østre linje (Ski – Mysen - Sarpsborg), hvor togenes kjøretidsforskjell blir mye mindre siden banens maksimalhastighet for persontog er 110 km/h.

Ved IC-utbyggingen legges det opp til korte reisetider, hyppige avganger og god regularitet. I tillegg er det et mål at strekningene skal ha nok kapasitet til flere godstog. Beregnet reisetid for strekningen Oslo – Fredrikstad er 48 minutter for IC-tog med stopp i Moss, og for Oslo – Halden 1 time og 9 minutter for tog med stopp i Moss, Fredrikstad og Sarpsborg. Siden dagens godstog i Norge har en maksimalhastighet på 100 km/h mot IC-togenes 200 km/h, vil det bli en stor hastighetsforskjell mellom disse to togslagene. På strekningen Ski – Halden vil disse ha en kjøretidsforskjell på 22 minutter. En grunnleggende realitet i kapasitetsplanlegging er at økende kjøretidsforskjell mellom tog gir avtagende kapasitet. Ved hyppige avganger for persontogene vil det bli liten plass til framføring av godstog, og ved økende frekvens for persontogene må det vurderes om disse to togslagene fortsatt kan framføres på samme bane på en tilfredsstillende måte. Et alternativ er å kjøre godstog bare i perioder med mindre trafikk, det vil si utenom rushtid eller om natten. Godstogene kan forbikjøres på stasjoner hvor det er lagt opp til dette, eller egne forbikjøringsspor mellom stasjonene. Dette vil imidlertid gi godstogene lenger framføringstid, og tillegget vil avhenge av øvrig trafikk.

Blant annet i den norske høyhastighetsutredningen og i Norsk Banes¹ konsepter er det sett på baner for både gods- og persontrafikk. Ingen av disse er hittil bygget, og det er derfor ingen erfaring med hvordan dette vil fungere i praksis. Gardermobanen er den eneste banen i Norge der det nå kjøres persontog med hastighet over 200 km/h. Der kjøres det ikke godstog, bortsett fra noen få godstog over en kort strekning (7,5 km). I utgangspunktet skal Intercity-strekningene i størst mulig grad bygges for en hastighet opp mot 250 km/h der det er mulig.

1.2 Avgrensning

Oppgaven er geografisk avgrenset til jernbanekorridoren Oslo - Ski - Sarpsborg - Halden - Sverige, med de to eksisterende linjene og mulige alternativer på strekningen Ski - Sarpsborg, samt alternativer for strekningen fra Sarpsborg og videre inn i Sverige.

Det er hovedsaklig sett på kapasitet på strekningen Ski - Sarpsborg. I en totalvurdering av et transportsystem må også tilgrensende strekninger tas med, disse omtales og vurderes til en viss grad.

1.3 Formål med oppgaven

Formålet med oppgaven er å se på prinsippene for blandet trafikk, tidstapet ved forbikjøring av godstog og hvilken løsning som bør velges for godstrafikken mellom Sverige, Sarpsborg/Halden og Oslo via Østfoldbanen.

1.4 Målgruppe

Målgruppen er hovedsaklig ansatte i Jernbaneverket, utredere og beslutningstakere som jobber med helhetlige konsepter for jernbaneutbygging.

1.5 Metoder

1.5.1 Konstruksjon av forbikjøringsspor

Utgangspunktet for å vurdere en blanding av gods- og persontrafikk hvor kjøretidsforskjellen er stor, er å se på tidsforbruket ved en forbikjøring, og hvordan det påvirker kapasiteten på en

¹ Norsk Bane AS arbeider med utredning og prosjektering av høyhastighetstog i Norge

strekning. Her er det sett på konstruksjonen av et forbikjøringsspor, og hvordan det bør konstrueres for minst mulig tidstap.

1.5.2 Kjøretidsberegninger og simulering av ruteplan

Basert på tilgjengelig informasjon om framtidig trafikk og ruteplan er det utført simuleringer i ruteplanverktøyet Trenoplus. Trenoplus brukes også til kjøretidsberegninger. Resultatene benyttes ved evaluering av de forskjellige konseptene.

1.5.3 Evaluering og anbefaling

Her vurderes de forskjellige konseptene mot et sett kriterier, og i hvilken grad de oppfyller disse.

1.6 Oppgavens disposisjon

Oppgaven har følgende hoveddeler:

- Kapittel 1 - Innledning og metode
- Kapittel 2 - Bakgrunn, om IC-prosjektet og en situasjonsbeskrivelse
- Kapittel 3 - Teori og beskrivelse av forbikjøringsspor, en grunnleggende teoretisk del hvor prinsippene for kapasitetsberegning med spesielt fokus på forbikjøring og utforming av forbikjøringsspor gjennomgås
- Kapittel 4 - Beskrivelse av simulering og inngangsdata
- Kapittel 5 - Beskrivelse av konseptene og simuleringsresultater
- Kapittel 6 - Evaluering av simuleringsresultatene
- Kapittel 7 - Nødvendig oppgradering av infrastrukturen på Østre linje i forhold til konsept
- Kapittel 8 - Konklusjon og anbefaling

2 Bakgrunn

2.1 Situasjonsbeskrivelse

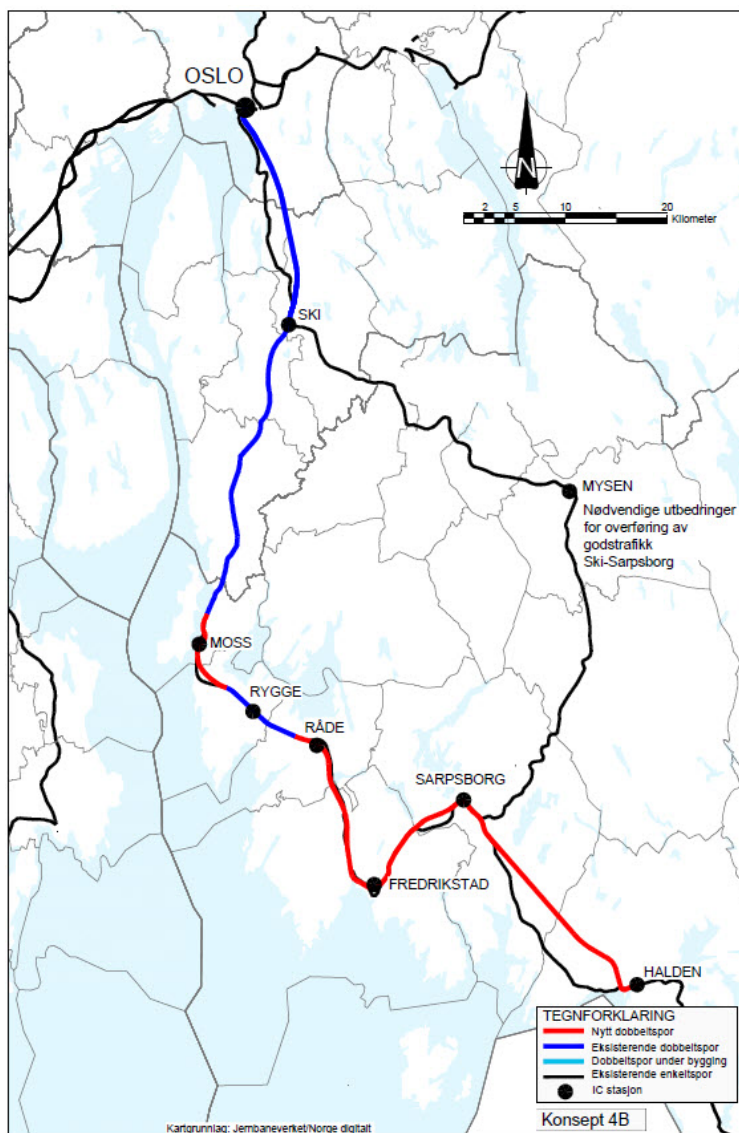
Dagens infrastruktur på strekningen Oslo - Ski - Sarpsborg - Halden - Kornsjø ble bygget på 1870- og 1880-tallet, og store deler av den har fortsatt samme linjeføring. På strekningen Oslo S - Ski bygges Follobanen som vil gå direkte fra Oslo til Ski, på strekningen Ski - Sandbukta og forbi Rygge er det allerede bygget nye strekninger med dobbeltspor og med høyere tillatt hastighet, se figur 1. Det er planlagt at hele strekningen Ski - Moss - Halden skal ha dobbeltspor med høyeste hastighet på 160 - 250 km/h i 2030. Strekningen vil bli bygget for blandet trafikk med overbygningsklasse d som tillater godstog med aksellast på 22,5 tonn i en hastighet på 100 km/h. Dagens linje er 85 km lang, den nye banen vil bli et par km kortere. Østre linje fra Ski til Sarpsborg via Mysen blir i 2015 ferdig oppgradert med nytt signalsystem ERTMS, og med omfattende tiltak på stasjonene fra Kråkstad til Mysen. Strekningen har samme linjeføring som ved åpningen i 1882, og overbygningsklasse b. Tillatt hastighet for godstog med aksellast på 22,5 tonn er satt til 70 km/h ved sporadisk kjøring av godstog. For regulær godstrafikk er tillatt hastighet 70 km/h for aksellast 20,5 tonn og 30 km/h for aksellast 22,5 tonn (Jernbaneverket, 2014c). Strekningen er enkeltsporet og 80,5 km lang.

2.2 IC-utbyggingen

Jernbaneverkets IC-utbygging bygger på en strategi utviklet på 1990-tallet, basert på et tilbud med høy frekvens og kortere reisetid Oslo - Lillehammer, Oslo - Skien og Oslo - Halden. For å oppnå målene må det bygges ny dobbeltsporet bane på det meste av disse tre strekningene. Det ble gjennomført mulighetsstudier i 2009-11, og i 2011 fikk Jernbaneverket i oppdrag av Samferdselsdepartementet å gjennomføre en konseptvalgutredning (KVU) for Intercity-området (Jernbaneverket, 2012). I den ble det blant annet avklart hvilke mål og behov prosjektet skal oppfylle, effekt for brukerne, beskrivelse av aktuelle konsepter og anbefalt konsept for videre planlegging. Samfunnsnytte og effekt for brukerne ble også beskrevet. Nasjonal Transportplan 2014-23 (Det kongelige Samferdselsdepartement, 2013) gir føringer for utbyggingen av de tre strekningene, og de følgende for strekningen Oslo - Halden:

- To avganger per time i begge retninger innen 2023 til Fredrikstad
- Dobbeltspor innen 2024 til Seut (4 km nord for Fredrikstad)
- Dobbeltspor og to avganger per time i begge retninger til Sarpsborg i 2026
- God tilrettelegging for gods på Østfoldbanen
- Planlegging med sikte på ferdig utbygging innen 2030 til Halden

- Gradvis økning av transportkapasitet for å møte veksten på lang sikt



Det meste av dagens strekning mellom Moss og Halden har enkeltspor og dårlig kurvatur, og her skal det bygges nytt dobbeltspor². Ved utbyggingen har man i utgangspunktet valget mellom å beholde den eksisterende banen til godstrafikk, og å benytte den nye banen til bare hurtige persontog. På store deler av strekningen vil dette være vanskelig med det valgte alternativet, siden den gamle og nye trasen delvis ligger på samme sted i terrenget. Bare mellom Sarpsborg og Halden kan dette være en mulighet, og det er ikke tatt endelig stilling til dette. IC-utbyggingen fører til kortere reisetider til Østfoldbyene, vist i tabell 1.

Figur 1 Valgt utbyggingskonsept for Østfoldbanen.
(Jernbaneverket, 2015a)

	Dagens reisetid	Mål i KVVU	Oppnådd i KVVU	Beregnet av IC-prosjektet
Fredrikstad	1 t 8 min	45 min	47 min	48 min
Halden	1 t 45 min	60 min	68 min	69 min

Tabell 1 Reisetider Østfoldbanen. (Jernbaneverket, 2015a)

² Unntatt strekningen Rygge - Haug, 6 km dobbeltspor åpnet i 2000.

2.2.1 Tilbudskonsept

Et tilbudskonsept er en beskrivelse av et ønsket inntektsgivende togtilbud i et definert område. Det beskrives med stoppmønster, frekvens, framføringstid, frekvens, døgnfordeling og standardtog som skal benyttes.

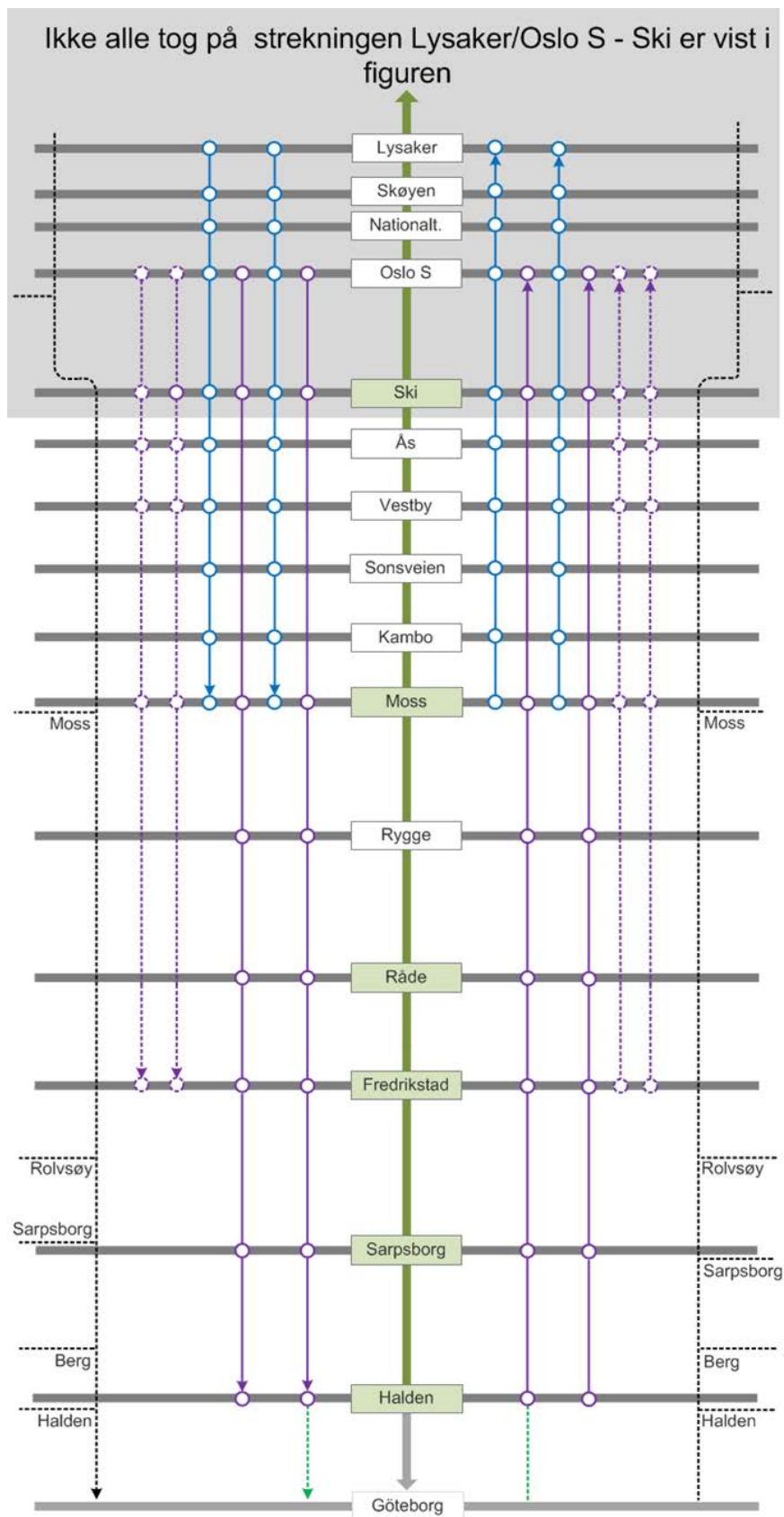
Tilbudskonseptene brukes som utgangspunkt for dimensjonering av infrastrukturen, og er en beskrivelse av *ett* rutetilbud. Det er dermed et ruteplanavhengig konsept, og en infrastruktur som bygges bare etter dette konseptet vil kunne ha store begrensninger i forhold til et annet tilbudskonsept. Ved utforming av infrastrukturen må det derfor tas hensyn til dette, slik at muligheten for andre rutemodeller ikke blokkeres. I tillegg må det tas hensyn til annen trafikk, som tomtogkjøring og kjøring i forbindelse med vedlikehold. Det må også tas hensyn til at driftsavvik, for eksempel enkeltsporet drift, kan ivaretas på en god måte. IC-utbyggingen på Østfoldbanen skal foregå trinnvis, og tilbudsutviklingen vil også følge denne utbyggingen. Det er ved IC-prosjektet utviklet tilbudskonsept for 2024 (T2024IC), 2027 (T2027IC) og 2031 (T2031IC), samt et for 2050 (T2050IC) for å se på de langsiktige mulighetene ved utbyggingen. Hvert tilbudskonsept har tilhørende infrastrukturkonsept. Tilbudskonseptene for 2024, 2027 og 2031 er begrenset av eksisterende kapasitet i Oslo-navet³. For å kunne kjøre det økte antall tog på Østfoldbanen som ligger i T2050IC er det forutsatt utvidet kapasitet i Oslo-navet, for eksempel ny Oslo-tunnel og utvidet stasjonskapasitet på Oslo S. T2024IC og T2027IC er basert på den trinnvise utbyggingen til Seut og Sarpsborg, og T2031IC (figur 2) den ferdige utbyggingen til Halden.

2.2.2 Tilbudskonsepter Østfoldbanen

Persontrafikk

Tilbudskonseptene (Jernbaneverket, 2015a, side 47) beskriver tilbudet på Østfoldbanen Vestre linje og strekningen Oslo - Moss - Halden (- Göteborg). På strekningen Oslo - Ski skal IC-tog og regiontog til Moss bruke Follobanen, mens godstogene skal benytte den eksisterende Østfoldbanen. Det legges opp til to IC-tog til Halden og Fredrikstad og to regiontog til Moss i grunnrute per time og retning. Disse vil få ruteleier i systemet med timinutters intervall på Follobanen, og ruteleiene bestemmes av fordelingen av ruteleier på strekningen Oslo S - Lysaker. Rutetidene på Ski er altså låst på grunn av ruteleiene gjennom Oslo.

³ Oslo-navet: Betegnelse på transportkorridorene gjennom og inn mot Oslo



Figur 2 - T2031 for Østfoldbanen, godstog: svart, regiontog: blå, IC-tog: lilla, stippet: innsatstog. (Jernbaneverket, 2015a)

Tilbudskonseptene for persontrafikk bygger på rutemodellene R2023 og R2027 utviklet av Jernbaneverkets avdeling Strategi og samfunn, og markedsanalyser for KVU IC og R2027-prosjektet.

IC-tog

Fra og med 2027 er det planlagt med fire IC-tog per time til Fredrikstad i høytrafikk i rushretning. To av disse kjøres som innsatstog, og med stopp i Ås og Vestby, men ikke i Rygge og Råde. Fjerntogene til Gøteborg kjøres som forlengelse av IC-togene til Halden. Først etter 2050 er det lagt opp til egne fjerntog Oslo - Gøteborg. Da legges det også opp til fire IC-tog i grunnrute.

Regiontog

To regiontog Lysaker - Oslo S - Moss per time og retning, stopper på Ås, Vestby, Sonsveien og Kambo.

Godstrafikk

Tilbudskonseptene for godstogtrafikk utarbeidet i Konseptdokument IC er basert på Jernbaneverkets gjeldene godsstrategi (Jernbaneverket, 2007). For Østfoldbanen er det i godstrategien oppgitt som mål en økning til 12 tog med 600 meters lengde pr retning pr døgn i 2019, og 18 tog i 2040.

Østfoldbanen er hovedforbindelse for godstog mellom Oslo og Sør-Sverige og kontinentet, og fra høsten 2015 en del av Scandinavian - Mediterranean Rail Freight Corridor (Scanned RFC). For den grenseoverskridende godstrafikken blir det hver rutetermin i det internasjonale ruteplansamarbeidet planlagt ruteleier mellom Oslo og kontinentet. Godstrafikken bruker nå Vestre linje og er en blanding av forskjellige togtyper, intermodal (container og semitrailere), tømmertog og vognlast. Mange tog har hittil gått mellom terminaler nord og vest for Oslo og utlandet. Det er også noe trafikk som ender i Sarpsborg eller Halden, både nordfra og sydfra. Etter Follobanens åpning skal godstogene fortsatt kjøres over Vestre linje, og like nord for Ski bygges det forbindelses-/ventespor fra for å lette innfasingen av godstog mellom IC- og regiontog videre mot Moss. Blant annet kan sydgående godstog stå her hvis det må vente på ruteleiet videre.

For Østfoldbanen var det tidlig i arbeidet med IC-utbyggingen en vurdering at Østre linje skulle overta godstrafikken fra Vestre linje når den totale trafikkmengden der kom over en viss grense, antakeligvis fra ca 2030. Dette vil kreve en oppgradering av Østre linje. Senere er det bestemt at en at oppgradering av Østre linje ikke skal inngå i IC-utbyggingen (Jernbane-

verket, 2015a, side 48). Strekningen Ski - Moss - Sarpsborg skal altså dimensjoneres for å håndtere framtidig godstrafikk inntil videre.

Det er størst etterspørsel etter ruteleier for gods med avgangstider på ettermiddagen mellom 17 og 23, litt avhenging av når toget kommer fram til endestasjonen. Ankomst bør være mellom kl 03 og 06, og markedet ønsker er at godset leveres inn på terminalen etter arbeidstidens slutt, lastes på toget, og kan hentes eller kjøres ut på destinasjonen før neste arbeidsdag begynner. Enkelte typer gods (tømmer, flis, malm) er ikke så avhengig av dette mønsteret, og kan benytte andre tider på døgnet hvor det er tilgjengelige ruteleier.

I et system med blandet trafikk vil godstog kunne bli forbikjørt av hurtigere tog. Dette gir et tidstap for godstoget på 10-15 minutter hvis det hurtige toget også stopper for passasjerutveksling. Hvis det blir mange forbikjøringer påføres godstoget ytterligere tap, og en separasjon av trafikken i et system for hurtige og et for mer saktegående tog kan bli mer aktuelt. Kort framføringstid blir mer og mer viktig for godstransport på bane i konkurransen med godstransport på vei.

2.2.3 Infrastruktur

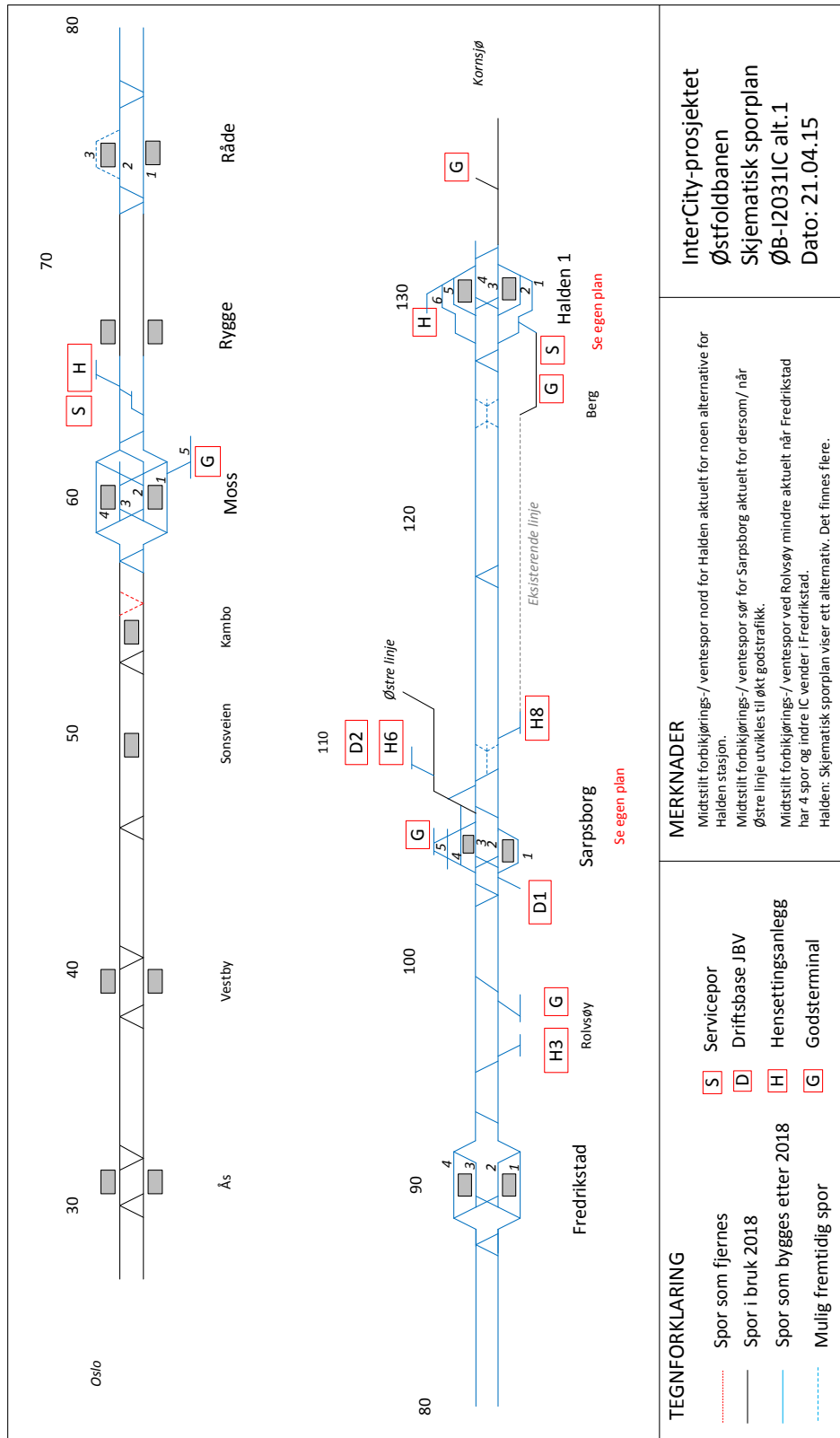
IC-strekningene skal utbygges med moderne dobbeltsporet jernbane for høy hastighet med tilhørende stasjoner og anlegg for vending, hensetting og vedlikehold i samsvar med ønsket forbedring av togtilbudet på Østlandet. Eksisterende bane skal nedlegges etter at ny trase er tatt i bruk. Unntaket er strekning Sarpsborg-Halden hvor det skal vurderes å opprettholde eksisterende enkeltspor for godstrafikk.

Infrastrukturen skal bygges med minst mulig forstyrrelse av trafikken på den eksisterende banen.

Hastighet, linjeføring og signalsystem er forutsatt å ha samme standard på alle de tre IC-strekningene. Strekningene skal utbygges som konvensjonelle baner med blandet trafikk basert på overbygningsklasse d og kvalitetsklasse K0.

Der det ikke innebærer store merkostnader i forhold til 200 km/h skal det bygges for 250 km/h. Materiellet i IC-togene vil ha en maksimal hastighet på 200 km/h. Godstogenes planlagte maksimalhastighet er 100 km/h.

IC-prosjektet har utarbeidet overordnede sporplaner, infrastrukturkonsepter, for Østfoldbanen. Alternativ 1 for 2031 er vist i figur 3.



Figur 3 Infrastrukturkonsept for IC-utbyggingen på Østfoldbanen. (Jernbaneverket, 2015a)

2.2.4 Togfølgetider

Som prinsipp bør infrastrukturen utformes med kortest mulig togfølgetid der hvor tog starter og ender sin rute og der hvor tog rutemessig kan ta igjen hverandre. Korte togfølgetider er viktig for å få størst mulig kapasitet og utnyttelse av infrastrukturen.

IC-prosjektets konseptdokument (Jernbaneverket, 2015a) omtaler togfølgetid og forbikjøring på følgende måte:

På indre IC (Oslo – Tønsberg/ Sandefjord, Fredrikstad/ Sarpsborg og Hamar) legges 2 min ruteplanmessig togfølgetid til grunn. På ytre IC legges 2 min togfølgetid til grunn på endestasjoner og på stasjoner hvor behov for operativ forbikjøring kan oppstå. For øvrig 4 minutter.

IC-strekningene skal trafikkeres med tog med ulike hastighetsegenskaper og stoppmønster. Dette kan gi behov for forbikjøring mellom to tog i samme retning, både planmessig og operativt. For å sikre minst mulig tidstap for alle tog ved forbikjøring må det benyttes sporveksler med tilstrekkelig hastighet i avviksspor og det må signaleres for så lav togfølgetid som mulig på de steder hvor det legges til rette for slik forbikjøring.

2.2.5 Blandet trafikk

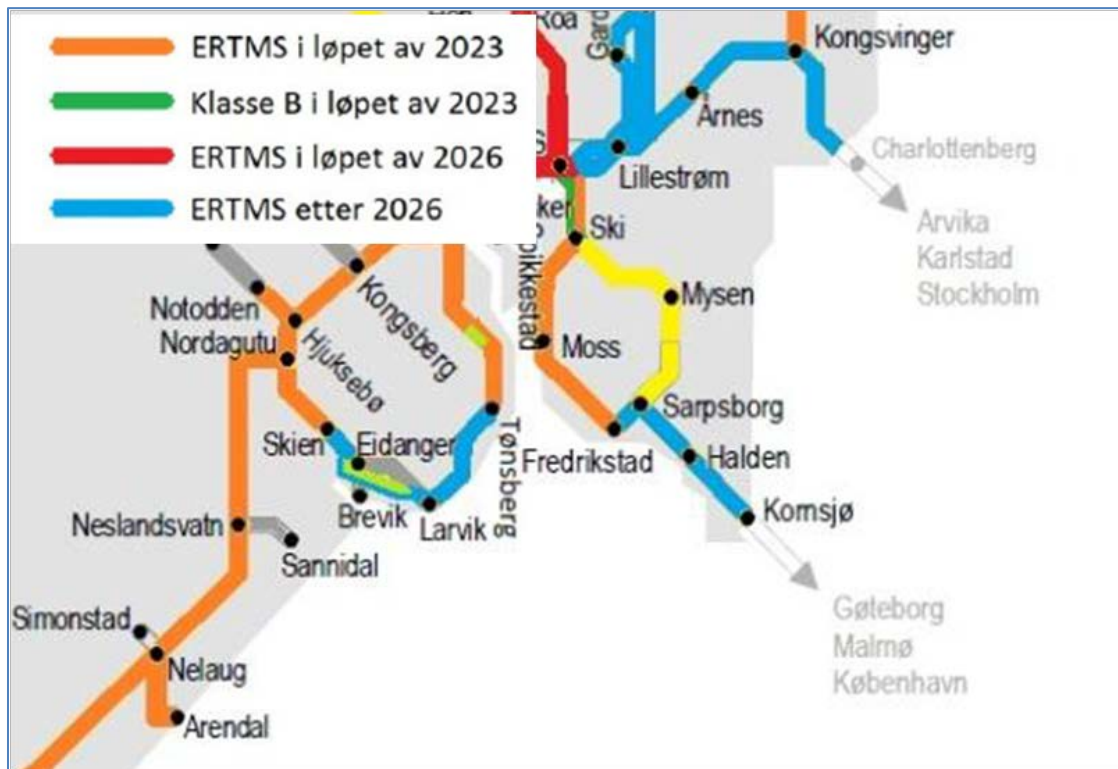
IC-prosjektet har lagt en del føringer for blandet trafikk (Jernbaneverket, 2015a) med tanke på en konkurransedyktig godstransport:

- Gjennomgående godstog skal ha gode ruteleier
- Innsatstog kan ved prioritering av godstog få 2-3 minutter forlenget kjøretid
- Forbikjøring av tog gir et tidstap, fast forbikjøring må unngås
- Gjennomkjøringshastighet på stasjonene bør være 100 km/h

For å unngå forbikjøring må godstogene få ruteleier like etter IC-togene der godstogene kommer inn på IC-strekningene, for eksempel på Ski. Det kreves ventespor på disse stedene hvor godstoget kan stå og vente for å treffe ruteleiet. Noen godstog har lavere hastighet enn 100 km/h og vil antakelig bli forbikjørt underveis.

2.2.6 Signalsystem

Dagens nåværende signalsystemer skal erstattes av det felleseuropeiske signalsystemet ERTMS. Jernbaneverket har utarbeidet en strategi for innføringen av ERTMS, Nasjonal signalplan, (Jernbaneverket, 2013). IC-utbyggingen på Østfoldbanen vil stort sett komme samtidig med innføringen av ERTMS. Det er altså behov for god koordinering mellom prosjektet som har ansvaret for implementeringen av ERTMS og IC-prosjektet.



Figur 4 Anbefaling for utbygging av ERTMS. (Jernbaneverket, 2013)

Strekningen Oslo til Fredrikstad (Seut) skal få ERTMS i løpet av 2023. IC-strekningen Fredrikstad (Seut) - Sarpsborg skal være ferdig i 2026, og bør bygges direkte med ERTMS. Det samme gjelder Sarpsborg - Halden (2030). På svensk side har Trafikverket planlagt ERTMS i perioden 2026 - 2035.

2.2.7 Vedlikehold

Gardermobanen ble åpnet i 1998/99, og erfaringene derfra brukes for å anslå behovet for tid til vedlikehold. IC-prosjektet konkluderer med at det trengs i gjennomsnitt minst fire timer pr døgn (Jernbaneverket, 2014b). På dobbeltsporet nær Oslo er det som på Gardermobanen lagt

opp til at begge spor er stengt, og at det ikke vil være mulig å kjøre godstog. På Gardermobanen er denne perioden fra klokken 01 - 05 om natten. Det må også tas med at er behov for kjøring av arbeidstog på dagtid, disse har en dimensjonerende hastighet på 80 km/h. Vedlikehold av infrastrukturen må i størst mulig grad utføres uten å påvirke planlagt trafikk.

2.2.8 Rutemodellprosjekt 2027

Prosjektet R2027 gjennomføres av avdelingen Strategi og samfunn i Jernbaneverket, og skal utarbeide forslag til en rutemodell som kan innføres i desember 2026. Prosjektet foreslår og vurderer forskjellige infrastrukturtiltak som er nødvendige for å kunne kjøre denne ruteplanen. Endelige anbefalinger bygger på samfunnsøkonomiske analyser og vil foreslå et helhetlig tilbudskonsept som kan innføres i 2027. R2027 er benyttet ved utarbeidelse av tilbudskonseptet for IC-prosjektet.

2.3 Litteraturstudie

Som en del av masterstudiet hadde jeg våren 2014 en prosjektoppgave (Tovås, 2014) hvor temaet var å samle inn data om praksis i andre land for blanding av gods- og persontrafikk på baner bygget for hastighet ≥ 200 km/h.

Opgaven omfattet:

- Litteratursøk
- Kontakt med infrastruktureiere og jernbaneadministrasjoner for å få informasjon om problemstillingen
- Vurdere hvilket materiale som skal benyttes i masteroppgaven

Hovedmål:

- Innsamling av kildemateriale og dokumentasjon på strategi for eventuell blanding av godstog og persontog (≥ 200 km/h) på samme banestrekning

Delmål:

- Velge hvilket kildemateriale som er relevant for arbeid med masteroppgaven
- Finne strategier som er benyttet i andre land, og sammenliknbare forhold
- Finne hvilke forhold som er relevante for trafikkdeling eller trafikkseparasjon i Norge

2.3.1 Erfaringer i andre land

Det er få kilder som direkte ser på hvordan en blanding av gods- og persontrafikk løses der hvor det er stor forskjell i framføringshastighet.

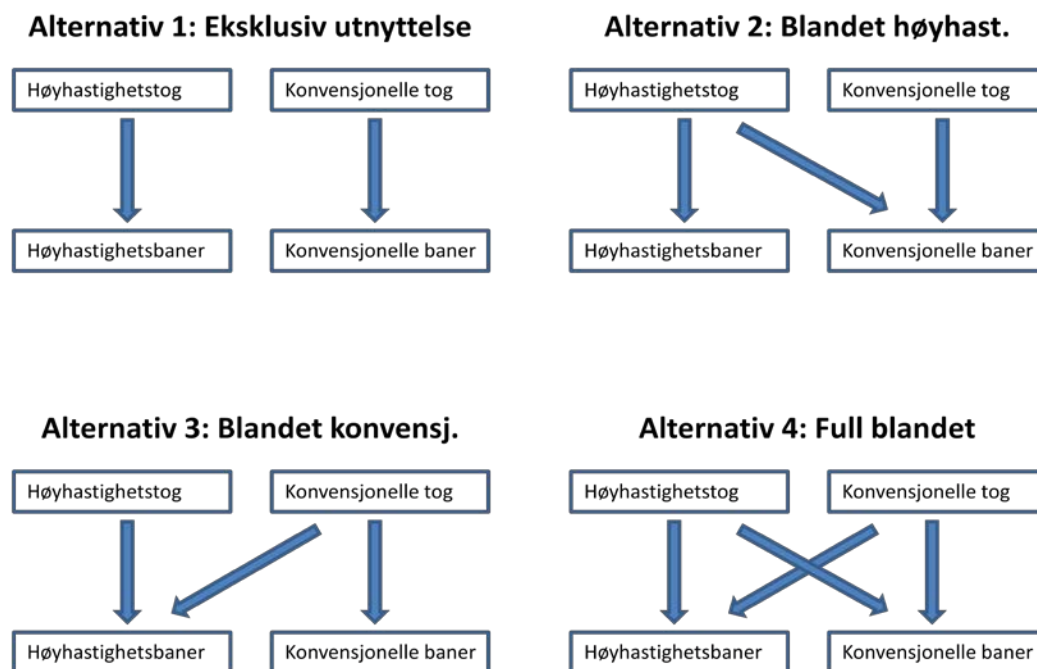
I arbeidet med prosjektoppgaven ble det funnet tre kilder som ser konkret på dette, to av disse er laget i forhold til eksisterende infrastruktur hvor maksimalhastigheten for persontog er opp til 200 km/h, og den siste behandler persontog i hastigheter på 200-210 og 300 km/h.

Høyhastighetsbaner har blitt bygget etter forskjellige konsepter og med forskjellig bakgrunn. Det japanske Shinkansen-systemet ble åpnet i 1964, med en maksimalhastighet på 210 km/h.

Her var det planlagt å kjøre godstog om natten, men man måtte gi opp det ganske tidlig.

Banen måtte være tilgjengelig for vedlikehold om natten, og persontrafikken hadde behov for den resterende delen av døgnet.

En grunnleggende forskjell i spesifikasjonene for høyhastighetsbaner er hvor store stigninger og fall de er bygget med. Nye baner som bygges for blandet trafikk har vanligvis en maksimal stigning på 12,5 ‰. For rene persontrafikkbaner er en stigning på 35 - 40 ‰ vanlig. En bane bygget med 35 ‰ stigning/fall kan bli billigere å bygge på grunn av færre tunneler og rimeligere grunnverv, men på grunn av stigningen må godstogene må kjøre på en annen bane. Alternativer for bruk av togmateriell og infrastruktur er vist i figur 5.



Figur 5 Konsepter for blanding av konvensjonell tog og høyhastighetstog (Campos, Javier, et al 2006)

2.3.2 Forholdene i Norge

I Norge var det inntil Gardermobanen ble åpnet i 1998/99 få eller ingen steder hvor det var tillatt å framføre tog med høyere hastighet enn 130 km/h. Senere er det åpnet parseller med dobbeltspor hvor hastigheten er 160 - 210 km/h, men ingen lengre strekninger.

Årsaken til bygging av dobbeltspor i Norge har tidligere først og fremst vært behovet for økt kapasitet på en strekning. Dobbeltsporet har da blitt bygget ved å legge et nytt spor ved siden av det eksisterende, som gjerne har hatt en trase som tillater en maksimalhastighet på omkring 100 km/h. Framføringstiden på dobbeltsporet sank ikke nevneverdig, bortsett fra at det ikke lenger ble tidstap ved kryssinger.

Strekningen Ski - Sandbukta ble åpnet med dobbeltspor i 1996, og her la man om traséen, maksimalhastigheten er 160 km/h på store deler av strekningen. Her er kjøretidsforskjellen mellom et IC-tog og et godstog (90 km/h) ca 10 minutter for en strekning på ca 35 km. Et regiontog med mange stopp får en framføringstid som nærmer seg godstogets. Ved større hastighetsforskjeller over lengre strekninger enn dette blir det strekt redusert kapasitet hvis det ikke bygges forbikjøringsspor underveis. Men dette øker igjen framføringstiden for godstogene.

3 Teori - kapasitet

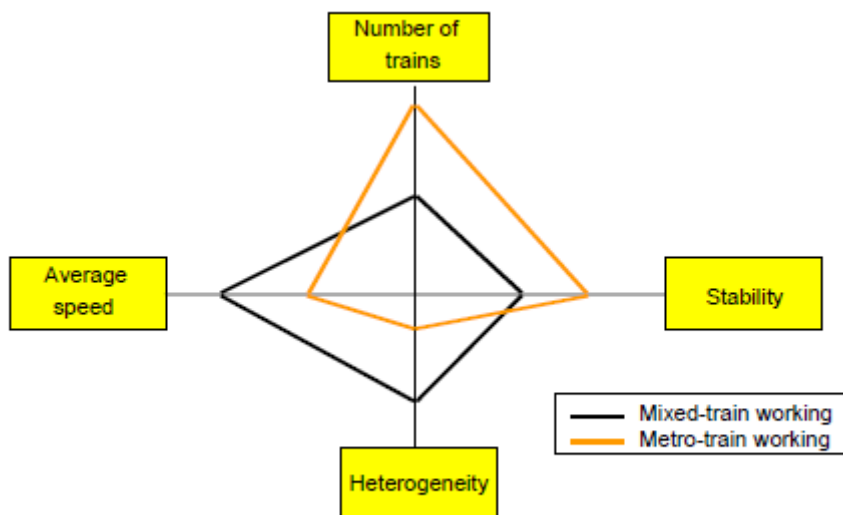
3.1 Generell del

3.1.1 Definisjon av kapasitet

I et jernbanesystem kan begrepet kapasitet brukes i mange sammenhenger. Det kan være kapasiteten til den enkelte enhet, fra hvor mange passasjerer det er plass til i en vogn, hvor mange tonn eller m³ last en godsvogn er dimensjonert for, eller til den totale transportkapasiteten til et helt system. Det vanligste mål for kapasitet i jernbanesammenheng er antall tog per tidsenhet.

Kapasitet er ikke en endelig verdi som kan oppgis en gang for alle for en jernbanestrekning, men infrastrukturens kapasitet avhenger av hvordan den brukes. UICs veiledning for beregning av kapasitet, UIC⁴ Code 406 R Capacity (UIC, 2004) oppgir noen grunnleggende egenskaper og avhengigheter som det må tas hensyn til.

Dette er blant annet illustrert i figur 6, Trafikkblanding og kapasitet som er hentet fra UIC Code 406 R. Hensikten med veilederen er å skape en felles forståelse av beregning av kapasitet for jernbaneinfrastruktur på internasjonalt nivå.



Figur 6 Trafikkblanding og kapasitet (UIC, 2004)

⁴ Union internationale des chemins de fer, den internasjonale jernbaneunion

I denne oppgaven vil det hovedsakelig dreie seg om kapasiteten for en dobbeltsporet jernbanestrekning, og den innflytelsen blandingsforholdet mellom tog med forskjellig egenskaper har på kapasiteten. Egenskaper som maksimalhastighet og akselerasjonsevne, samt togenes stoppmønster og oppholdstider spiller også inn på kapasiteten.

3.1.2 UICs veiledninger 405-1 R og 406 R

I kapasitetsberegninger henvises det ofte til formler og prinsipper fra UICs veiledninger, UIC 405-1 R (UIC, 1979) og UIC 406 R (UIC, 2004). Begge standardene krever en ruteplan, men er for øvrig ganske forskjellige. UIC 406 R er nå den gjeldende veiledningen, men deler av 405-1 R benyttes fortsatt i kapasitetsarbeidet.

UIC 405-1 R beskriver en analytisk metode med hovedformelen for praktisk kapasitet K_p :

$$K_p = T / (t_m + t_b + t_t)$$

T = referanseperiode, 60 min gir kapasitet pr time

t_m = midlere minste togfølgetid [min]

t_b = buffertid [min]

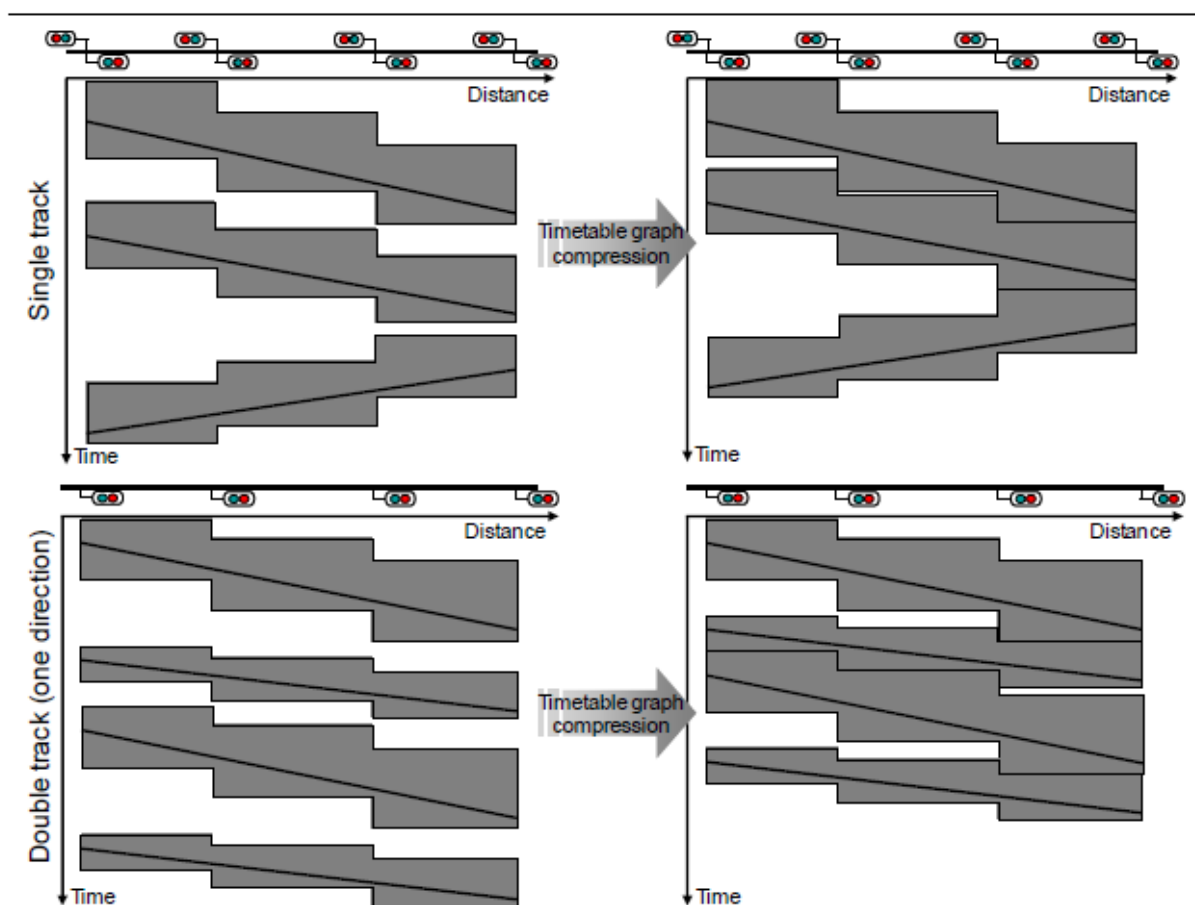
t_t = tilleggstid [min]

UIC 406 R benytter en metode med optimalisering av en konkret rutetabell i en gitt tidsperiode for et avsnitt av infrastrukturen. I veiledningen kalles metoden for «the compression method», hvor ruteleiene presses nærmere hverandre slik at det ikke er noen buffertid mellom dem. Prinsippet er vist i figur 7.

Kapasitetsutnyttelsen finnes ved formelen: $K = \frac{k}{U} * 100\%$

- K = kapasitetsutnyttelse [%]
- U = tidsvindu [min]
- $k = A + B + C + D$

hvor A = tid til ruteleier, B = buffertid, C = tillegg ved enkeltspor, D = tillegg for vedlikehold.



Figur 7 Compression of timetable graphs according to the UIC406 capacity method. (Landex, 2008)

For nærmere beskrivelse henvises UIC 405-1 R og UIC 406 R.

3.1.3 Teoretisk og praktisk kapasitet

Teoretisk kapasitet og praktisk kapasitet er to forskjellige måter å oppgi kapasitet på.

Teoretisk kapasitet er den absolutt høyeste verdien for antall tog som kan framføres på en gitt infrastruktur, i en gitt tidsperiode, beregnet ved ideelle forhold. Det vil si at alle tog er like og framføres på den samme måten, med lik avstand, og uten driftsforstyrrelser som vanligvis oppstår i den daglige driften. I praksis er det ikke mulig å kjøre det antall tog som er gitt av den teoretiske kapasiteten uten forsinkelser.

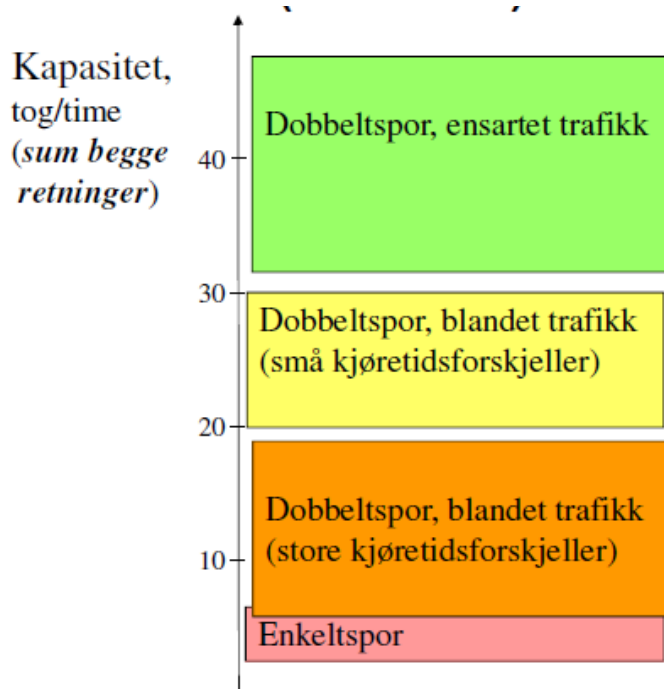
Praktisk kapasitet er en mer realistisk verdi, hvor man tar hensyn til forholdene som man erfaringsmessig gjelder for infrastrukturen. UIC anbefaler en utnyttelse på 60% for den høyest belastede timen, og 75% utnyttelse på døgnbasis.

(Skartsæterhagen, 2014) har definert praktisk kapasitet som: *Den praktiske kapasiteten for en strekning er evnen til å framføre tog med **akseptabel** punktlighet⁵.*

3.1.4 Strekningskapasitet

Strekningskapasitet er en funksjon av en rekke forhold, blant annet:

- infrastruktur på den aktuelle strekningen, for eksempel om det er dobbelt- eller enkeltspor
- togmiks, det vil si ulike togkategorier med variasjon i stoppmønster og fremføringshastighet
- rekkefølgen av ulike togs slag ved blandet trafikk
- krav til driftskvalitet og tilbakestillingsevne



Figur 8 Typiske kapasitetsnivåer (kvalitativt) (Skartsæterhagen, 2014)

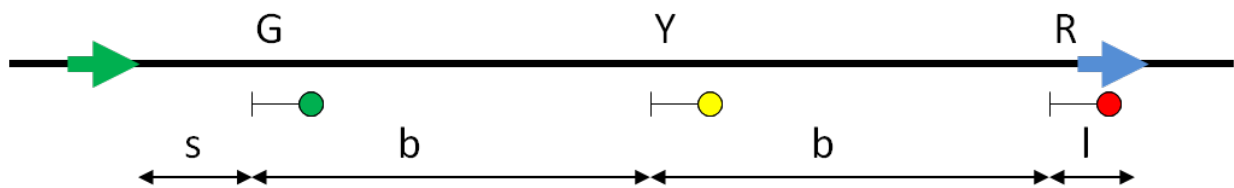
Fordi denne oppgaven ser på nytten og plasseringen av forbikjøringsspor på strekninger med dobbeltspor, blir kapasitet på dobbeltspor sett på i detalj i de neste avsnittene. Kapasitet på enkeltspor omtales i mindre grad.

⁵ Punktlighet vil si at et tog ankommer en stasjon i henhold til gjeldende rutetabell, innenfor definerte marginer.

3.1.5 Togfølgetid

Ved beregning av kapasitet på dobbeltspor tar man utgangspunkt i minste togfølgetid. *Med minste togfølgetid (engelsk "headway") menes den minste tidsavstanden som kan opprettholdes mellom to tog slik at det andre toget på betryggende måte kan kjøre med maksimal hastighet. Eller noe annerledes uttrykt: den minste tidsavstanden hvor det andre toget kan kjøre uhindret av det første. Denne tidsavstanden må regnes mellom samme punkt (vanligvis fronten) på begge togene* (Skartsæterhagen, 1992).

Den enkleste beregning av togfølgetid er en strekning hvor togene kjører med konstant hastighet, og blokkstrekningene er like lange. Signalsystemet på strekningen har betydning for togfølgetiden. På Jernbaneverkets infrastruktur benyttes vanligvis 3-begrep signalering. Det er da tre forskjellige signalbilder, minst en bremselengde mellom signalene og minst to bremselengder mellom togene. For omtale av andre signalsystemer og betydningen for togfølgetid, se Kapasitet på jernbanestrekninger, kap 3 (Skartsæterhagen, 1992). Med 3-begrep signalering blir togfølgetiden beregnet ut i fra situasjonen og parameterne i figur 9.



Figur 9 Minste togfølgetid ved 3-begrep signalering. G = grønn (kjør), Y = gult - forvent stopp i neste signal), R = rødt (stopp)

Blokk lengde b er identisk med bremselengde for et standard tog på strekningen, togets lengde er l , og s er siktavstand for lokfører. Togfølgetiden t kan uttrykkes som:

$$t = \frac{(l + 2b + s)}{v}$$

Siktavstanden er proporsjonal med hastigheten, og togfølgetiden kan da uttrykkes som:

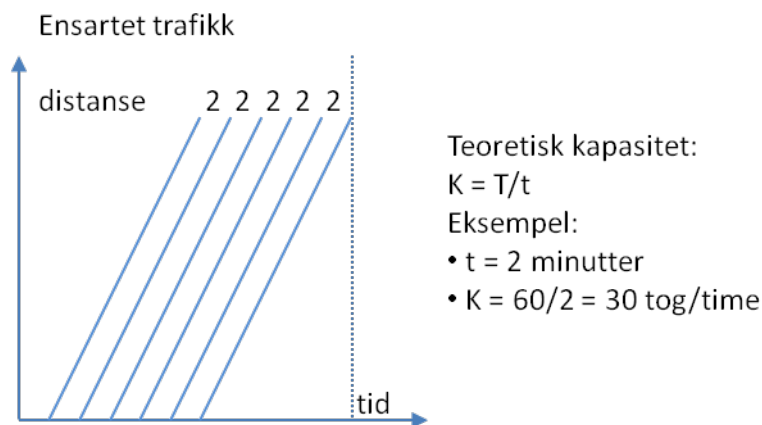
$$t = \frac{(l + 2b)}{v} + t_s$$

hvor t_s er tiden som går med til å kjøre strekningen som er siktavstanden.

3.1.6 Kapasitet på dobbeltspor - ensartet trafikk

Teoretisk kapasitet er det antall tog som kan kjøres i et optimalt system hvis det aldri er driftsforstyrrelser. Når alle tog kjører med samme hastighet og har samme stoppmønster, vil den minste togfølgetiden t være den samme mellom alle tog, og den påvirkes ikke av togenes kjøretid siden alle togene har samme kjøretid. Den teoretiske maksimalkapasiteten K per retning i et tidsrom T er da:

$$K = \frac{T}{t}$$



Figur 10 Kapasitet ved ensartet trafikk

Ved å kombinere uttrykkene for kapasitet K og togfølgetid t får man uttrykket:

$$K = \frac{T * v}{l + 2b + v * t_s}$$

Som tidligere oppgitt er det en sammenheng mellom blokk lengde og bremsestrekning. Økes hastigheten, øker bremselengden og dermed blokk lengden. Og tilsvarende kan blokk lengden minskes når hastigheten på strekningen reduseres.

Retardasjonen påvirker altså blokk lengden, og det enkelte tog må ha egenskaper som minimum passer til blokk lengden på strekningen. Den generelle formelen for bremselengde b ved gjennomsnittlig retardasjon r :

$$r = \frac{v^2}{2b}$$

I praksis vil det i tillegg til den definerte bremselengden som en margin legges til et uspesifisert tillegg s_a .

Blokk lengden blir da:

$$b = \frac{v^2}{2r} + s_a$$

Ved innsetting av b i uttrykket for K får man:

$$K = \frac{T * v}{l + 2s + \frac{v^2}{r} + v * t_s}$$

Ved derivasjon av K med hensyn på v får vi den optimale hastigheten gitt ved:

$$v^2 = (l + 2s)r$$

Det vil si:

$$v = \sqrt{(l + 2s)r}$$

Ved en toglengde på 200 m, $s = 100$ m og retardasjon $1,0 \text{ m/s}^2$ er maksimal kapasitet er gitt ved 20 m/s eller 72 km/h. I forbindelse med fastsetting av blokk lengder er det i Jernbaneverkets Tekniske regelverk benyttet en retardasjonsverdi på $0,7 \text{ m/s}^2$ for beregning av målavstander⁶ (Jernbaneverket, 2015b, Signal/550 Prosjektering/Lyssignal 2.1.2 Hovedsignal), men moderne lokaltog kan ha en retardasjon på -0.8 til $-1,2 \text{ m/s}^2$ (Bombardier Transportation, 2002).

Tilhørende blokk lengde blir:

$$b = \frac{v^2}{2 * r} + s = \frac{(20\text{m/s})^2}{2 * 1 \text{ m/s}^2} = 300 \text{ m}$$

Maksimal kapasitet blir (med 10 s siktavstand):

$$K = \frac{T * v}{l + 2s + \frac{v^2}{r} + v * t_s} = \frac{3600 * 20 \text{ m/s}}{200\text{m} + 2 * 100\text{m} + \frac{(20\text{m/s})^2}{1 \text{ m/s}^2} + 20\text{m/s} * 10\text{s}} = 72 \text{ tog/time}$$

⁶ Avstanden fra punktet hvor toget befinner seg til punktet hvor toget må ha stanset (målpunkt).

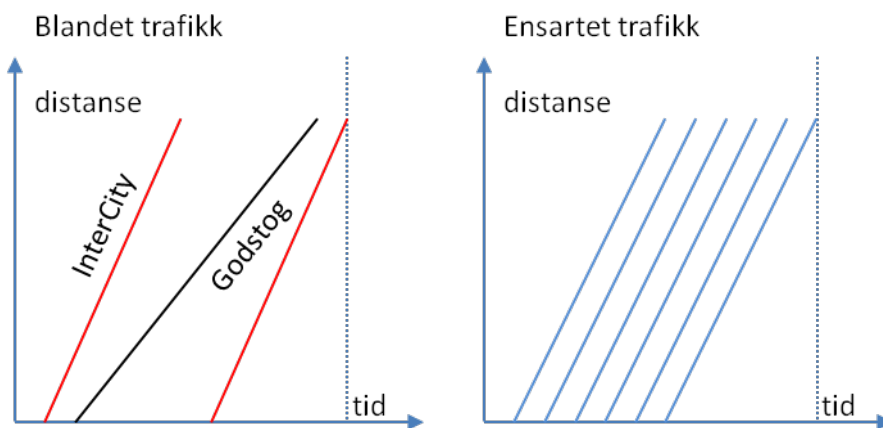
Togfølgetiden ved 72 tog/time er 50 sekunder. Det må understrekes at dette er en teoretisk maksimalkapasitet gitt av visse forutsetninger. Det er ikke mulig uten videre å overføre denne verdien til for eksempel Oslostunnelen. Kapasitetsforbedringsplanen for Oslo S – Lysaker (Jernbaneverket, 2014a) oppgir at det er mulig å framføre 24 tog per time og retning på denne strekningen.

På enkelte strekninger på Jernbaneverkets nett benyttes ATC gjennomsignalering (se beskrivelse i 3.2.3). Dette tilsvarer 4-begrep signalering, og gjør at hastigheten kan økes eller blokk lengden reduseres. Togfølgetid ved 4-begrep signalering (Skartsæterhagen, 1992, side 23):

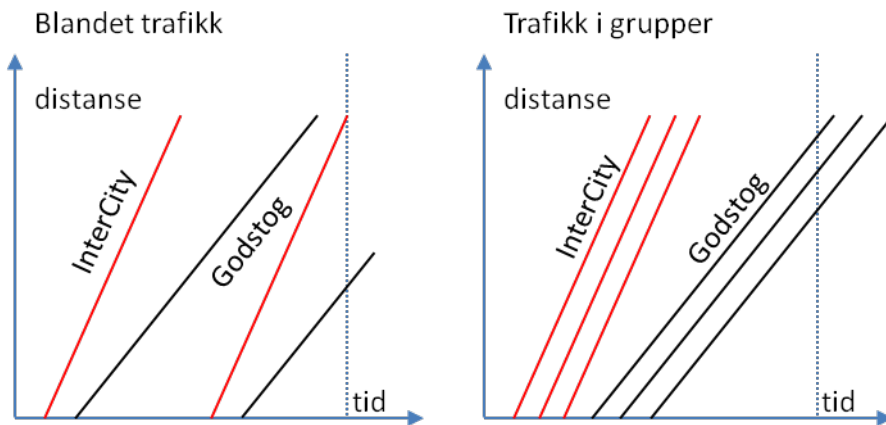
$$t_4 = \frac{(1,5b + l)}{v} + t_s$$

3.1.7 Kapasitet på dobbeltspor - blandet trafikk

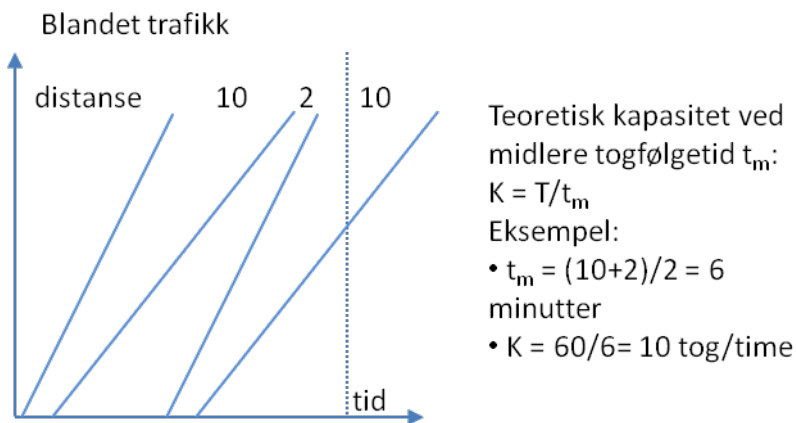
Ved blandet trafikk, det vil si tog med forskjellig framføringstid på en strekning, synker kapasiteten på en strekning. Kapasiteten øker hvis tog av samme kategori kjører etter hverandre i grupper, men som regel er ikke det så interessant for kundene som heller ønsker et jevn intervall mellom togene, se figur 11 og figur 12.



Figur 11 Skjematisk fremstilling av kapasitet pr tidsenhet ved tog med ulik og lik framføringstid

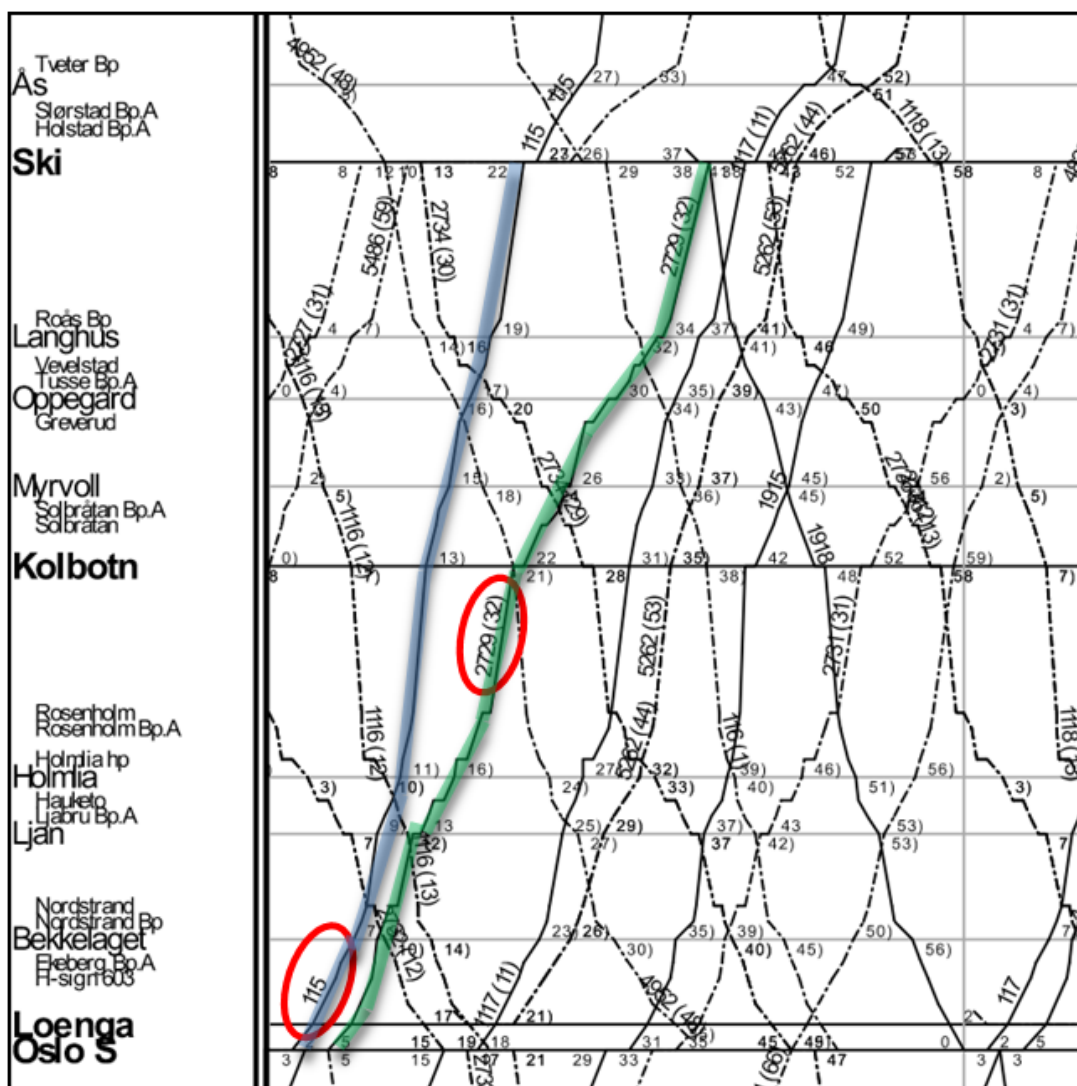


Figur 12 Gruppering av blandet trafikk



Figur 13 Kapasitet ved blandet trafikk

Et eksempel på virkningen av kjøretidsforskjell i forhold til kapasitet, er vist i figur 14 som er et utsnitt av grafisk ruteplan for Østfoldbanen. Lokaltog 2729 som stopper på alle stasjoner, tar opp 3-4 ruteleier sammenliknet med tog 115 som har avgang tre minutter tidligere fra Oslo S. For å få plass til flere tog på strekningen må kjøretidene harmoniseres, noe som ikke er realistisk siden tog 2729 er fullstoppende, mens tog 115 ikke har noen stopp mellom Oslo og Ski.



Figur 14 Utdrag av grafisk ruteplan Oslo - Ski, rutetermin R15

3.1.8 Buffertid og kjøretidstillegg

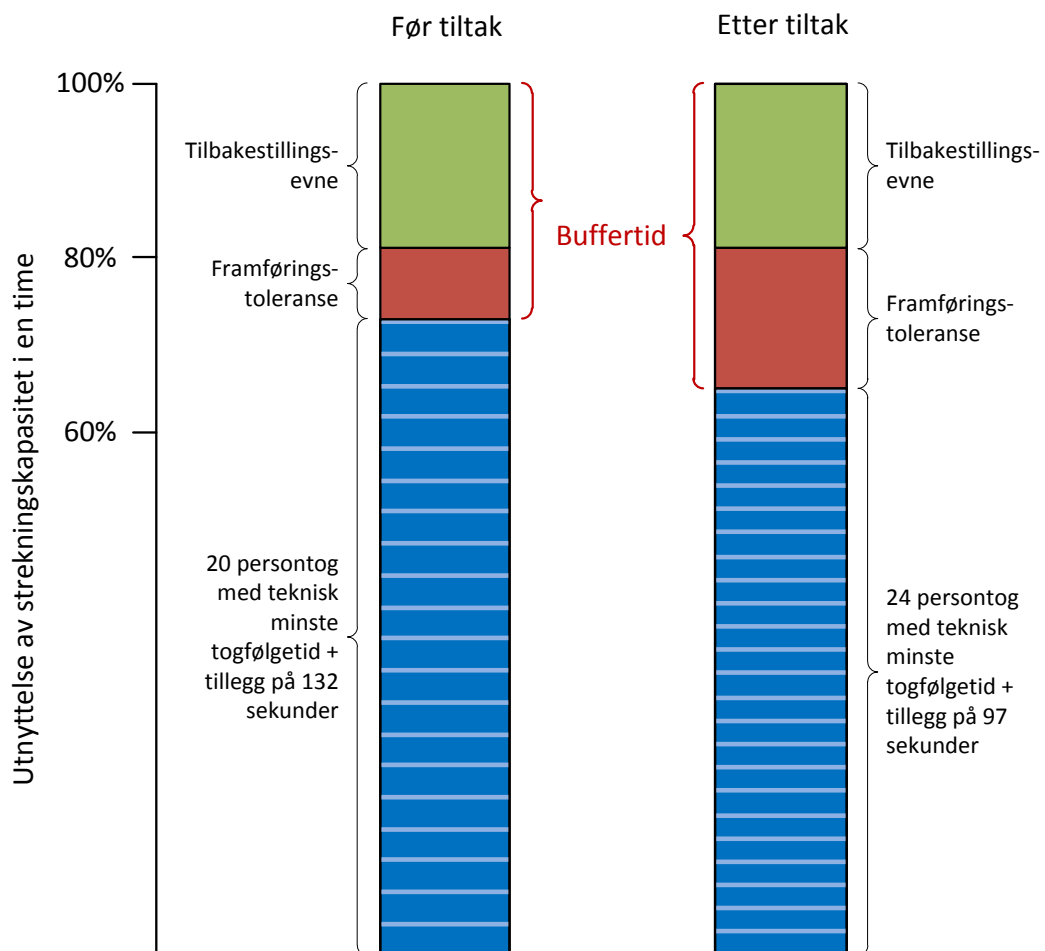
Som nevnt i 3.1.6 er den teoretiske kapasiteten en maksimalkapasitet gitt av visse forutsetninger, og for å få en kjørbær og robust ruteplan må det legges til en buffertid.

Forsinkelser som oppstår vil forplante seg videre uten tilstrekkelig buffertid. UIC 405-1 R (UIC, 1979) anbefaler at buffertiden er proporsjonal med midlere minste togfølgetid. Et eksempel på buffertid er vist i figur 15.

En annen side av kapasitetsutnyttelsen for en strekning er beregning av kjøretid, og tillegg til kjøretiden. Det er en teknisk kjøretid som er gitt av togmateriellets og infrastrukturens egenskaper, og så er det vanlig å legge til forskjellige tillegg for variasjon i antall reisende som går av og på, varierende tilstand på togmateriellet, endret adhesjon osv. De forskjellige jernbaneforvaltningene beregner dette på forskjellige måter, men ender opp med omtrent de samme verdiene.

En sammenlikning av fire europeiske forvaltninger (Schrader, 2014):

- JBV (NORGE): 4% grunntillegg, pluss diverse ytterligere påslag, totalt 10-15%
- SBB (Sveits): 10-12% (8% på dobbeltspor) kjøretidspåslag
- DB (Tyskland): 3% grunntillegg, påslag for arbeider/saktekjøring, totalt ca 10%
- RFF (Frankrike): 4,5 min/100 km, ekstra slakk for kryssinger, totalt ca 10%



Figur 15 Grafisk framstilling av buffertid (Jernbaneverket, 2014a)

Jernbaneverkets IC-prosjekt (Jernbaneverket, 2015a) har valgt å benytte 13 % kjøretidspåslag for beregninger som gjelder trafikk i periode med fortsatt anleggsvirksomhet (frem til 2030) og 10 % for tilbudskonsept etter 2030. For trafikk på eksisterende strekninger hvor det ikke pågår anleggsarbeid vurderes dagens erfarte kjøretider opprettholdt.

3.1.9 Andre forhold angående kapasitet

Kapasiteten for en bane vil også påvirkes av stasjonenes utforming. Banetekniske parametere som hastighet i veksler, signalavstand, kapasitet for vending av tog, og avgreninger til andre

baner og sidespor. Strekningskapasiteten kan i seg selv være høy, men stedet med minst kapasitet vil alltid være dimensjonerende for kapasitet for tog som kjører hele banen.

3.2 Kapasitet og beregning av tidstap ved forbikjøring

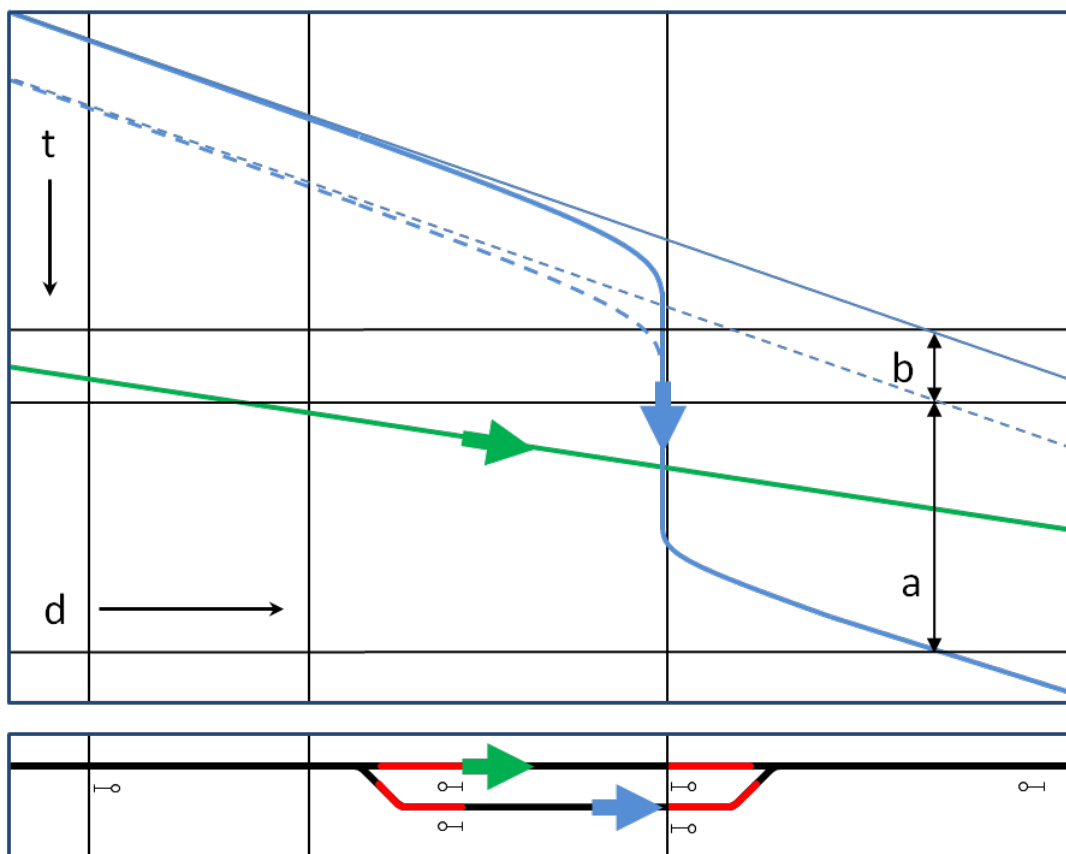
3.2.1 Teori - tidstap ved forbikjøring

Det mest optimale hendelsesforløp når et saktegående tog blir forbikjørt av et hurtigere tog er som følger:

- Det saktegående toget må kunne holde sin maksimalhastighet så lenge som mulig før nedbremsing mot stopp.
- Det passerende toget bør ankomme stasjonen hvor det skal kjøre forbi, like etter toget det skal kjøre forbi, men ikke så tett etter at det får restriktive signaler på grunn av toget som ligger foran.
- Toget som blir forbikjørt må kunne fortsett så raskt som mulig etter det passerende toget.

Dette stiller krav til den tekniske utførelsen av forbikjøringssporet og tilgrensende infrastruktur, blant annet veksler, sikkerhetssoner og signalanlegg. I denne oppgaven er det i utgangspunktet sett på godstog som blir forbikjørt av persontog som kjører med høyere hastighet. Årsaken til at et tog kjører forbi et annet, spiller egentlig ikke noen rolle, det kan like gjerne være et persontog som kjøres forbi av et annet ved et stasjonsopphold. Det viktige er prinsippene for å få til en forbikjøring med minst mulig tidstap. Dette vil imidlertid være avhengig av hastighetsforskjellen mellom togene, og bør optimaliseres på de stasjonene hvor de situasjonene vil oppstå hyppigst.

Figur 16 viser et forenklet tid/vei diagram for forbikjøring. Et tog (blå pil) stanser og kjøres forbi av et raskere tog (grønn pil). Toget som blir forbikjørt, blir påført et tillegg i framføringstid, a. Tillegget er minimum tidstillegg. I en reell ruteplan legges det alltid inn en buffer for forsinkelser osv, b.



Figur 16 Forenklet tid/vei diagram for forbikjøring.

Men for at infrastrukturen skal være utformet på en ruteplanuavhengig måte, bør dette gjøres på alle steder hvor forbikjøring er aktuelt. For å fange opp situasjoner som kan oppstå ved forsinkelser er det ikke nok å gjøre dette på de stedene som er aktuelle ved en gitt ruteplan, det må også være forbikjøringsmuligheter i tillegg til disse. Infrastrukturen må i så stor grad som mulig være ruteplanuavhengig, og det må være reservemuligheter i forhold til forsinkelser og driftsforstyrrelser.

3.2.2 Verdier for retardasjon og akselerasjon

Ved beregning av tidsforbruket ved en forbikjøring er verdiene for retardasjon og akselerasjon essensielle. Retardasjon og akselerasjon er i realiteten ikke konstant, men det er vanlig å regne med gjennomsnittsverdier. Dette er egentlig en forholdsvis grov tilnærming, akselerasjon og retardasjon vil være høyere ved lav hastighet og lavere ved høy hastighet. I oppgaven benyttes både bokstavene r og a_b (negativ akselerasjon) for retardasjon.

For å beregne distansen ved konstant retardasjon a_b benyttes denne formelen:

$$s = \frac{1}{2}a_b * t^2$$

Et tog bruker vanligvis ikke all bremsekraft ved normal kjøring. For passasjertog er komfort viktig, slik at man begrenser retardasjonen av den grunn. Uansett så benyttes full bremsekraft bare ved nødbrems. Det oppgis forskjellige verdier i litteraturen. (Hansen, Ingo Arne/ Pachl Jörn, 2008) oppgir følgende normalverdier for retardasjon (akselerasjon er ikke oppgitt):

Togtype - bremsing	Retardasjon
Godstog - driftsbrems:	$a_b = -0,225 \text{ m/s}^2$
Godstog - kraftig bremsing:	$a_b = -0,3 \text{ m/s}^2$
Lokaltog - driftsbrems:	$a_b = -0,525 \text{ m/s}^2$
Lokaltog - kraftig bremsing:	$a_b = -0,7 \text{ m/s}^2$
Passasjertog - driftsbrems:	$a_b = -0,375 \text{ m/s}^2$
Passasjertog - kraftig bremsing:	$a_b = -0,5 \text{ m/s}^2$

Tabell 2 Verdier for retardasjon

Forutsetninger lagt til grunn for kjøretidsberegningene for IC-prosjektet (Jernbaneverket, 2015a, side 33) er gitt i tabell 3. *Hastighetsutnyttelse* angir i hvor stor grad togene kan forutsettes å utnytte strekningenes hastighetspotensiale.

	Stopptid	Akselerasjon	Retardasjon	Maksimal hastighet	Hastighetsutnyttelse
IC-tog	60 sek	$0,4 \text{ m/s}^2$	$-0,5 \text{ m/s}^2$	200 km/h	95 %
Godstog	0 sek	$0,2 \text{ m/s}^2$	$-0,5 \text{ m/s}^2$	100 km/h	95 %
Fjerntog	60 sek	$0,4 \text{ m/s}^2$	$-0,5 \text{ m/s}^2$	200 km/h	95 %

Tabell 3 Verdier benyttet for kjøretidsberegninger for IC-prosjektet.

(Schrader, 2014) oppgir verdiene i tabell 4:

	Akselerasjon	Retardasjon
Lokaltog, motorvognsett	0,8 til $1,0 \text{ m/s}^2$	-0,8 til $-0,9 \text{ m/s}^2$
Godstog	0,1 til $0,2 \text{ m/s}^2$	- 0,2 til $-0,5 \text{ m/s}^2$
Fjerntog, lok + vogner	0,3 til $0,5 \text{ m/s}^2$	-0,5 til $-0,8 \text{ m/s}^2$

Tabell 4 Verdier for akselerasjon og retardasjon

Verdiene som er benyttet av IC-prosjektet for retardasjon for godstog er mye høyere enn de to andre kildene. Videre benyttes de mer konservative verdiene -0,3 og -0,225 m/s² ved beregninger.

Bremsestrekning for en strekning s ved inngangshastighet v_0 og mål hastighet v_m :

$$s = \frac{v_0^2}{2a_b} - \frac{v_m^2}{2a_b} [m]$$

Ved mål hastighet = 0 finnes bremsestrekning for nedbremsing fra en gitt hastighet til stopp.

For å finne tiden som brukes på nedbremsing benyttes formlene:

$$v = v_0 + a_b t$$

$$2a_b s = v^2 + v_0^2$$

Omformet blir tiden til toget har stoppet :

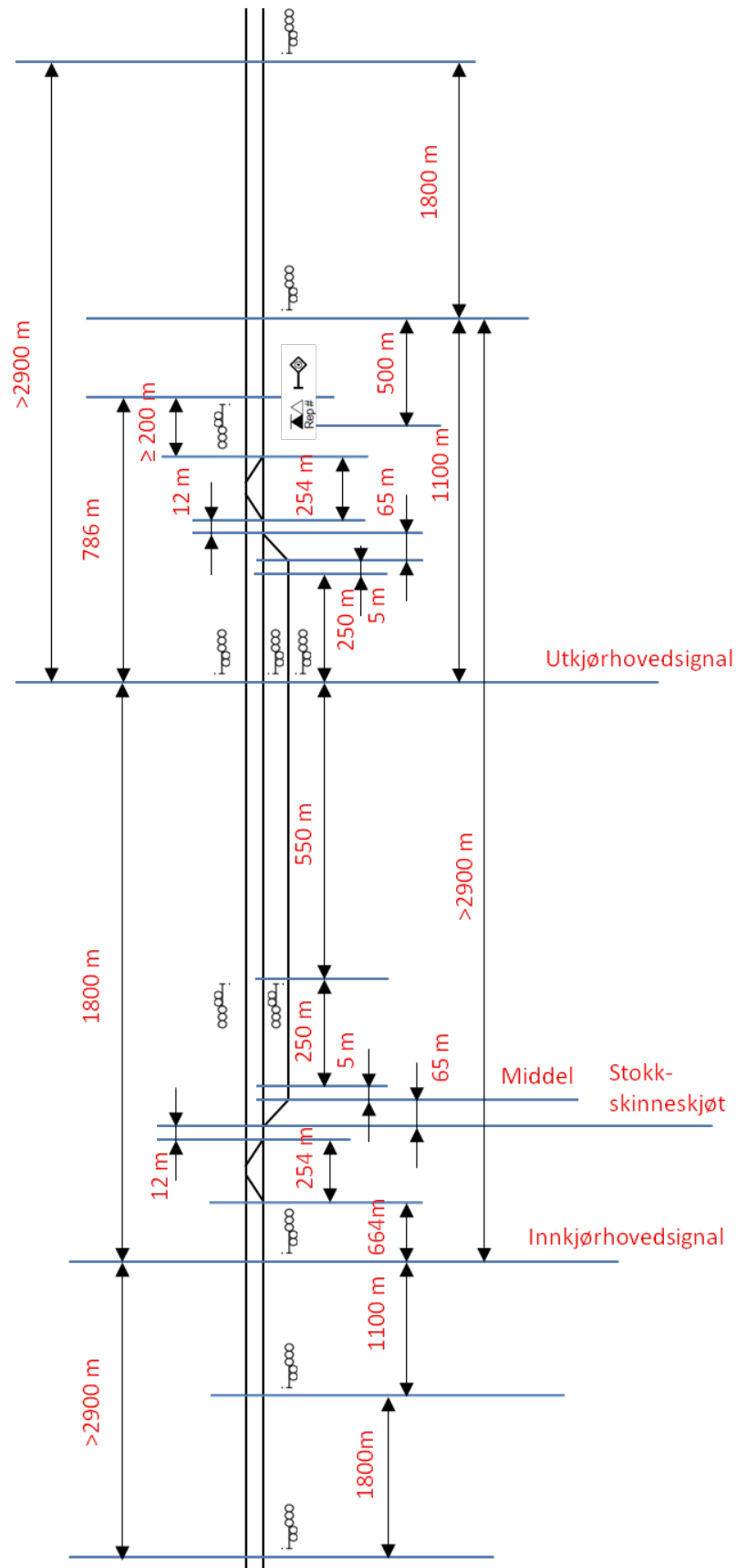
$$t = \sqrt{\frac{2s}{a_b}}$$

3.2.3 Utforming av forbikjøringsspor

Tekniske krav for utformingen av selve forbikjøringssporet, figur 17, er vist i vedlegg 2. For å få kortest mulig togfølgetid benyttes gjennomsignalering. Ved de utvendige signalbildene som brukes i Norge, gir forsignalet bare informasjon om status til første hovedsignal.

Gjennomsignalering innebærer at målpunktet for en hastighetsreduksjon ligger en blokkstrekning lenger borte enn første hovedsignal man treffer på etter at man har fått informasjon om hastighetsreduksjonen. Føreren får denne informasjonen i ATC-systemets ombordenhet, den vises ikke i de utvendige signalene. Bremselengden blir da to blokkstrekninger. Det gir mulighet for høyere hastighet eller kortere blokkstrekninger, og tilsvarer bruk av 4-begreps signaler.

For å få en raskest mulig utkjøring, må signalplasseringen optimaliseres. På grunn av gjennomsignaleringen får lokfører informasjon to blokk lengder før målpunktet. Summen av de to blokk lengdene må være større enn dimensjonerende bremselengde. Ved 200 km/h er det i følge tabellen for målavstand i teknisk regelverk >2881 meter (Jernbaneverket, 2015b). For enkelthet skyld rundes dette opp til 2900 meter videre i beregningene. Et alternativ er å dele

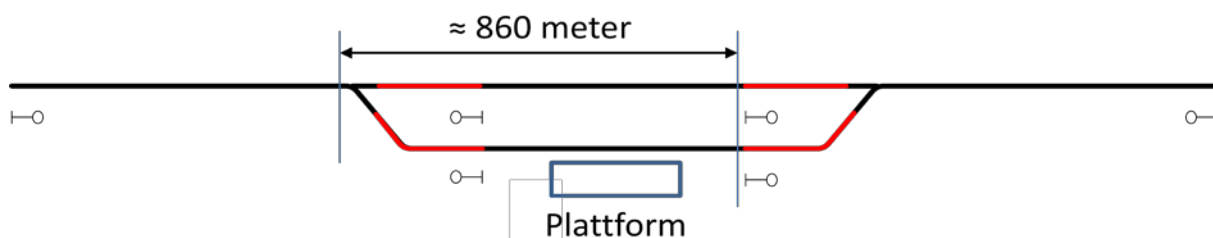


Figur 17 Utforming av forbikjøringsspor. Ikke alle detaljer er vist. Togenes kjøreretning er oppover på tegningen.

denne avstanden i to, dvs to blokk lengder á 1450 meter. Hvis avstanden fra utkjørhovedsignalet til neste blokkpost minskes f.eks. med 200 meter, må forrige blokkstrekning økes til 1650 meter, dvs at innkjørhovedsignalet flyttes 200 meter vekk fra stasjonen. Hensikten med å minke avstanden til neste blokkpost er å kunne kjøre så raskt som mulig ut fra forbikjøringssporet etter at et raskt tog har passert. Men hvis denne avstanden minskes, må også avstanden til neste blokkpost i togets kjøreretning økes, fordi summen av to blokk lengder alltid må være > 2900 meter.

3.2.4 Valg av sporveksel for forbikjøringsspor.

For å få minst mulig tidsforbruk ved forbikjøringen, må hastigheten ved kjøring i avvik i sporvekslene være optimal. Det vil si at toget ikke behøver å bremse tidligere enn nødvendig i forhold til signalet hvor det skal stanse. Basert på formelen for bremsestrekning, beregnes bremselengde og hastigheten toget har ved kjøring i avvik gjennom sporvekselen i figur 18 ved forskjellige verdier for retardasjon. For godstog kjøres helt fram mot utkjørsignalet, passasjertogene stanser ved plattformen.



Figur 18 Prinsippkisse for forbikjøringsspor.

Plattformen er 250 meter lang og er plassert symmetrisk i forhold til utkjørsignalene. Avstanden fra stokkskinneskjøt til utkjørsignalet er ca 860 m.

	$V_{Gt} [km/h]$	$s_{stopp} [m]$	$t_{stopp} [sek]$	$tidstap [sek]$	V_{avvik}
Gt $-0,3 m/s^2$	120	1852	111	56	81
	100	1286	93	46	81
	80	823	74	37	81
Gt $-0,225 m/s^2$	120	2469	148	74	70
	100	1715	123	62	70
	80	1097	99	49	70

Tabell 5. 850 meter forbikjøringsspor - godstog stopper ved utkjørsignal

Av verdiene i tabell 5 ser man at et godstog vil ha en hastighet på 81 km/h inn på et forbikjøringspor bygget for 750 meter lange godstog. Det er derfor tilstrekkelig med en sporveksel som tillater en hastighet i avvik på 80 km/h (1:14 R760). Kolonnen tidstap viser hvor mye toget taper på retardaşjonen i forhold til om det skulle ha passert uten å stanse.

For ordens skyld vurderes også hvordan en sporveksel med 80 km/h i avvik påvirker kjøretid for et passasjertog, tabell 6. 850 meter forbikjøringspor - persontog stopper ved plattform 150 meter før signalet..

	$V_{Pt} [km/h]$	$s_{stopp} [m]$	$t_{stopp} [m]$	$tidstap [sek]$	V_{avvik}
Pt -0,5 m/s ²	200	3086	111	56	96
	160	1975	89	44	96
Pt -0,7 m/s ²	200	2205	79	40	113
	160	1411	63	32	113

Tabell 6. 850 meter forbikjøringspor - persontog stopper ved plattform 150 meter før signalet.

Et tog som stopper ved enden av plattformen, stopper da ca 150 m fra utkjørsignalet, og har kjørt ca 710 meter i avvik. Ved stopp ved plattformen og en retardaşjon på - 0,5 m/s² blir hastigheten ved passering av sporvekselen 96 km/h, dvs hastigheten er 16 km/h høyere enn tillatt. Toget må bremse tidligere, slik at hastigheten er maksimum 80 km/h ved passering av sporvekselen. 80 km/h oppnås 494 meter før stopp, det vil si at nedbremsingen må begynne 710 - 494 m = 216 meter tidligere. Dette betyr at toget må kjøre disse 216 m med en hastighet på 80 km/h og nedbremsingen fra linjehastighet må begynne 216 meter tidligere. Det er blir altså kortere strekning som kan kjøres med linjehastighet. Tidstapet i forhold til 200 km/h er 5,9 sekunder.

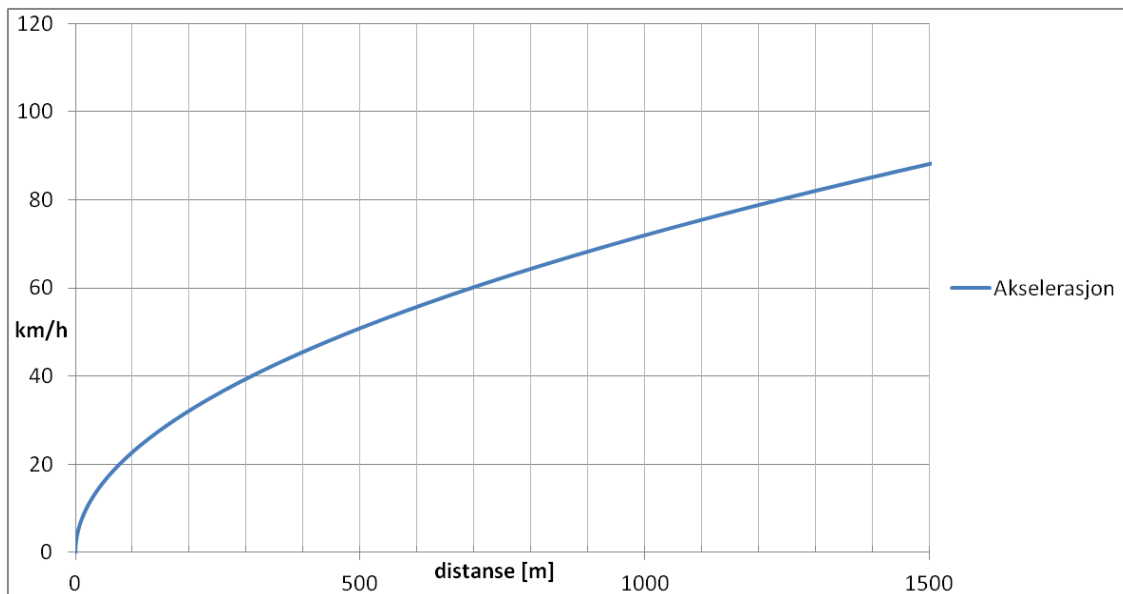
På samme måte påvirker også hastigheten gjennom sporvekselen hvor raskt et tog kommer opp i hastighet etter en forbikjøring.

Formelen $v = a * t$ gir hastighet i forhold til akselerasjon, $t = \frac{v}{a}$ gir tiden for å nå en viss hastighet ved en gitt akselerasjon.

Strekningen som er kjørt:

$$s = \frac{1}{2} a * t^2 = \frac{1}{2} a * \frac{v^2}{a^2} = \frac{1}{2} \frac{v^2}{a}$$

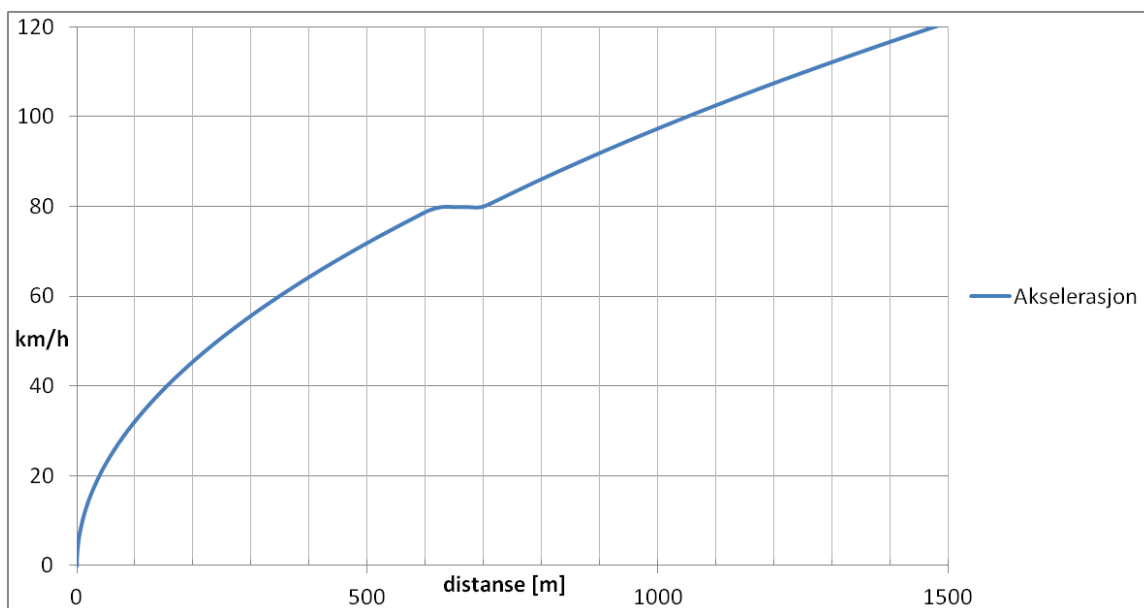
Basert på disse formlene vil et godstog med $a = 0,2 \text{ m/s}^2$ ha oppnådd hastigheten 80 km/h etter 111 sekunder. Det har da kjørt 1234 meter, se figur 19, og lokomotivet har passert sporvekselen med ca 900 meter. Hvis godstoget er 750 meter langt, har hele toget passert sporvekselen før det oppnår en hastighet på 80 km/h. Avstanden fra der toget starter ved utkjørhovedsignalet til det har passert sporvekselen, kan sees i figur 17. Toget stanser på litt avstand fra signalet, så avstanden blir ca 330 meter. En sporveksel med 80 km/h i avvik (1:14 R760) er altså tilstrekkelig.



Figur 19 Akselerasjonskurve 750 meter toglangde, $a=0,2 \text{ m/s}^2$, sporveksel 80 km/h

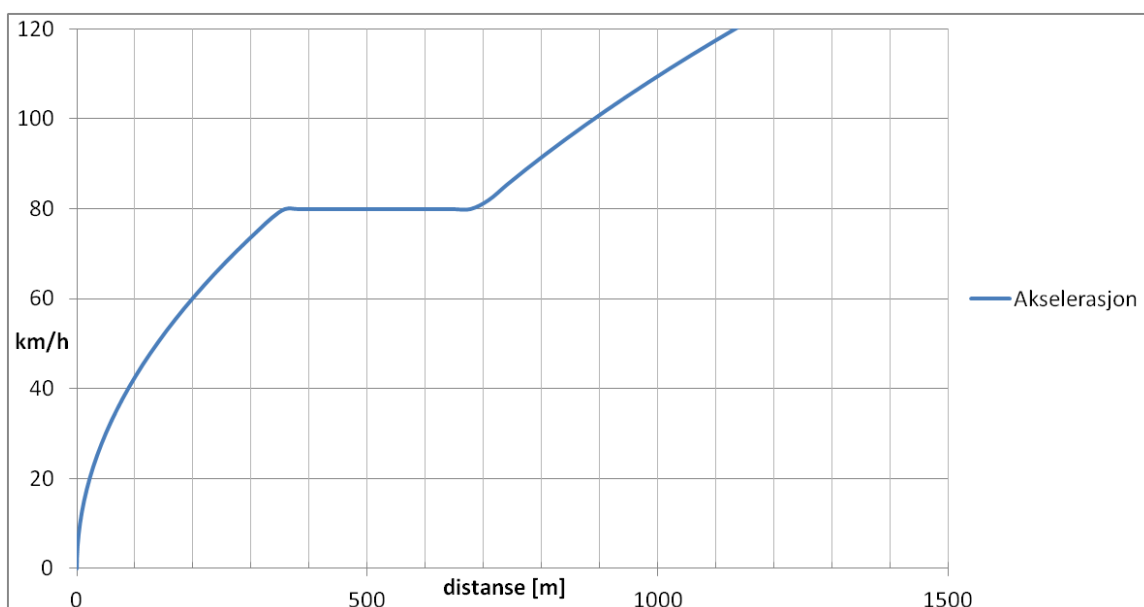
Et godstog med $a = 0,3 \text{ m/s}^2$ har oppnådd hastigheten 80 km/t etter 74 sekunder. Det har da kjørt 823 meter, og lokomotivet har passert sporvekselen med ca 490 meter. Hvis godstoget er 750 meter langt, må toget holde 80 km/h i 260 meter til før det kan akselerere videre. Tidstapet ved å holde 80 km/h i stedet for 100 km/h over en strekning på 260 meter er ca 2,5 sekunder.

Et persontog som har stanset ved plattformen 150 meter før signalet, og kjører videre, kjører ca 480 meter før fronten har passert sporvekselen. Men det er kortere enn et godstog, toglangde for et dobbelt motorvognsett av NSBs type 74/75 er 211 meter. Ved en akselerasjon på $0,4 \text{ m/s}^2$ har det kjørt 617 meter når det oppnår 80 km/h, og må holde den hastigheten i ca 75 meter før hele toget har passert sporvekselen og kan akselerere videre, se figur 20.



Figur 20 Akselerasjonskurve 210 meter toglengde, $a=0,4 \text{ m/s}^2$, sporveksel 80 km/h

Konklusjon er at ved et forbi kjøringsspor med dimensjoner som i figur 17, er sporveksler med en maksimalhastighet på 80 km/h tilstrekkelig ved akselerasjonsverdiene $0,2 \text{ m/s}^2$ for godstog og $0,4 \text{ m/s}^2$ for persontog. Ved akselerasjon på $0,7 \text{ m/s}^2$ som eventuelt benyttes ved avvik vil persontoget måtte kjøre ca 300 meter før det kan akselerere videre, figur 21. Nyten av en sporveksel med høyere tillatt hastighet må veies opp mot bygge- og vedlikeholdskostnader.



Figur 21 Akselerasjonskurve 210 meter toglengde, $a=0,7 \text{ m/s}^2$, sporveksel 80 km/h

3.2.5 Togfølgetid ved forbikjøring

For to tog med samme toglengde og hastighet kan teknisk togfølgetid beregnes ved formelen:

$$t_4 = \frac{(1,5b + l)}{v} + t_s$$

Formelen gjelder ved fire-aspekt signalering, og kan benyttes ved den gjennomsignaleringen som brukes i Norge. Ved en bremselengde på 2900 meter og en siktavstand på 10 sekunder blir teknisk togfølgetid for to tog med hastighet 200 km/h og toglengde 210 meter:

$$t_4 = \frac{(1,5b + l)}{v} + t_s = \frac{(1,5 * 2900m + 210 m)}{55,56 m/s} + 10s = 92 \text{ sek}$$

Denne formelen kan imidlertid ikke brukes ved beregning av togfølgetid ved forbikjøring. Et tog som blir forbikjørt trenger lenger tid til å bremse ned og komme innenfor middel på forbikjøringssporet. Det må regnes fra godstoget passerer innkjørsignalet til hele toget har passert middel. Kjøretiden for godstoget beregnes for avstand fra innkjørsignal til middel (1000 meter) og toglengde (750 meter), totalt 1750 meter. Retardasjon fra 100 km/h (27,8 m/s) til stans ved retardasjon - 0,3 m/s:

$$t = \frac{v}{a_r} = \frac{27,8 m/s}{0,3 m/s^2} = 93 \text{ sek}$$

Strekningen som er nødvendig for retardasjonen:

$$s = \frac{1}{2} a_r * t^2 = \frac{1}{2} a_r * t^2 = \frac{1}{2} 0,3 m/s^2 * (93 \text{ sek})^2 = 1297 \text{ meter}$$

Strekning som kjøres i linjehastighet før nedbremsing: (100 km/t): 1750 m - 1297 m = 443 m

Tid for å kjøre 443 m:

$$t_{100} = \frac{s}{v} = \frac{443 m}{27,8 m/s} = 16 \text{ sek}$$

Når godstoget har kommet innefor middel må det etterfølgende toget ligge minst to blokkklengder før innkjørhovedsignalet til forbikjøringssporet for at det skal kunne kjøre med full hastighet. Det vil si en bremselengde som tidligere er satt til 2900 meter. Kjøretid for dette toget ved en hastighet på 200 km/t:

$$t_{200} = \frac{s}{v} = \frac{2900 m}{55,6 m/s} = 52 \text{ sek}$$

Togfølgetid blir da:

Kjøretid godtog + kjøretid persontog + siktavstand = (93 sek + 16 sek) + 52 sek + 10 sek = 174 sek

Ved lavere hastighet kan blokk lengden minskes, og togfølgetiden blir kortere, f.eks ved 130 km/t gir tabellen for målavstand en bremselengde på 1220 meter.

$$t_{130} = \frac{s}{v} = \frac{1220 \text{ m}}{36,1 \text{ m/s}} = 34 \text{ sek}$$

Kjøretid godtog + kjøretid persontog + siktavstand = (93 sek + 16 sek) + 34 sek + 10 sek = 153 sek

Det blir en minste teknisk togfølgetid på ca 3 minutter inn til stasjoner hvor høyeste hastighet for passerende tog er 200 km/h, og ca 2,5 minutter for stasjoner hvor høyeste hastighet for passerende tog 130 km/h.

3.2.6 Tidstap ved forbikjøring

Tidstapet for toget som blir forbikjørt består av tre hoveddeler:

- Tidstap på grunn av nedbremsing til stopp
- Tidstap på grunn av ventetid mens det andre toget passerer
- Tidstap på grunn av akselerasjon i forhold til å ha kjørt den samme strekningen med linjehastighet

Tidstap ved nedbremsing beregnes i forhold til strekningen som trengs til nedbremsing, 1297 meter. Resultatene fra 3.2.5 brukes videre. Kjøretid for denne strekningen ved 100 km/h (27,78 m/s) er:

$$t_{100} = \frac{s}{v} = \frac{1297 \text{ m}}{27,78 \text{ m/s}} = 46,7 \text{ sek}$$

Tidstap ved nedbremsing: 93 sek - 47 sek = 46 sek

Ventetid mens det er andre toget passerer består av kjøretid for det passerende toget fra to blokk lengder før innkjørsignalet til passering av første blokk signal etter forbikjøringssporet. Denne avstanden er 5800 meter, og i tillegg kommer togets lengde, 211 meter. Hvis hastighet for det passerende tog er 200 km/t (55,56 m/s) blir ventetiden:

$$t_{pass} = \frac{s}{v} = \frac{6011 \text{ m}}{55,56 \text{ m/s}} = 108 \text{ sek}$$

Tidstap for strekningen med akselerasjon ($0,2 \text{ m/s}^2$) for å nå hastigheten 100 km/h ($27,78 \text{ m/s}$) beregnes i forhold til strekningen som trengs til akselerasjon med formelen:

$$s = \frac{1}{2} a * t^2 = \frac{1}{2} a * \frac{v^2}{a^2} = \frac{1 v^2}{2 a} = \frac{(27,78 \text{ m/s})^2}{2 * 0,2 \text{ m/s}^2} = 1929 \text{ meter}$$

Tiden for å akselerere opp til 100 km/h :

$$t = \frac{v}{a} = \frac{27,78 \text{ m/s}}{0,2 \text{ m/s}^2} = 139 \text{ sek}$$

Kjøretid for samme strekning i 100 km/h :

$$t_{aks} = \frac{s}{v} = \frac{1929 \text{ meter}}{27,78 \text{ m/s}} = 69 \text{ sek}$$

Tidstapet for akselerasjonen i forhold til 100 km/h på samme strekning blir:

$$139 \text{ sek} - 69 \text{ sek} = 70 \text{ sek}$$

Tidstap ved forbikjøring:

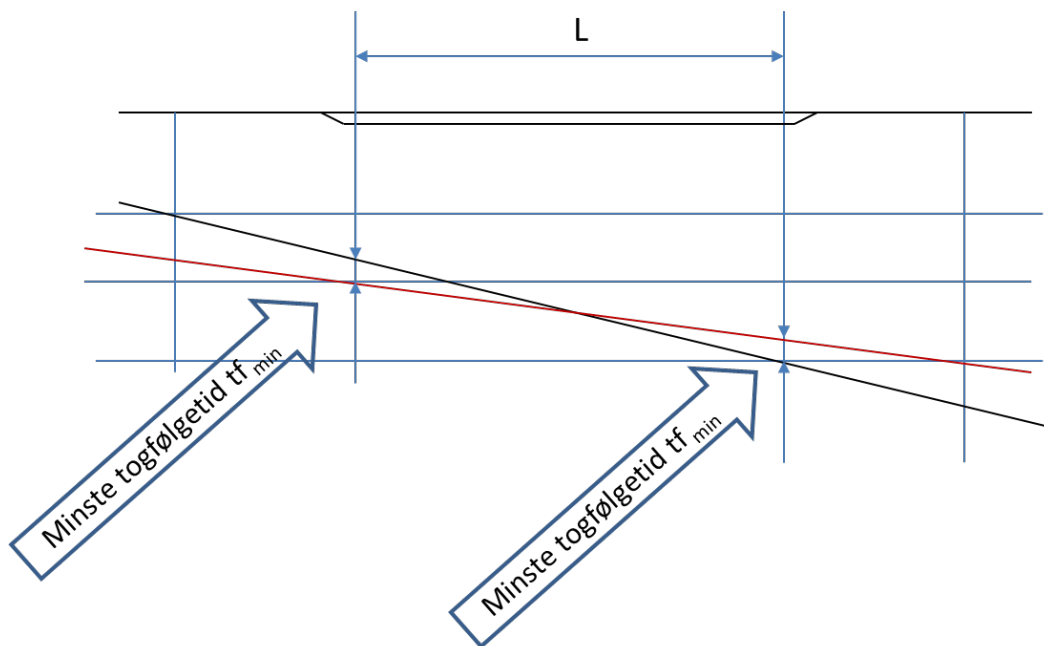
- Nedbremsing: 46 sek
- Ventetid: 108 sek
- Akselerasjon: 70 sek
- Totalt: 224 sek = 3 min 44 sek

Dette er absolutt minimum tidstap ved en hastighet på henholdsvis 100 og 200 km/h på de to togene. I tillegg må man regne med buffertider og reaksjonstid hos lokfører. En realistisk verdi i ruteplanleggingen ligger da på $5 - 10$ minutter. Hvis toget som kjører forbi det andre har stopp for passasjerutveksling kan det påløpe ytterligere tidstap for toget som blir forbikjørt.

Ved ERTMS vil det kunne være kortere blokkstrekninger, og spesielt ved utkjøring fra et forbikjøringsspor vil dette være gunstig for å redusere ventetiden. ERTMS kan også øke tiden ved nedbremsing, fordi bremsekurvene kan bli slakkere enn dagens (bremsing begynner tidligere). Dette er ikke avklart ennå.

3.2.7 Forbikjøring uten stopp – flyvende forbikjøring

Når et tog kjører forbi et tog som står stille på et forbikjøringsspor, får toget som blir forbikjørt et tillegg til framføringstiden. Den ideelle løsningen ved blandet trafikk ville være at begge tog kunne kjøre uhindret, se figur 22, og bare med rutemessige stopp. Forbikjøring uten stopp brukes vanligvis bare i avvikssituasjoner på et dobbeltspor, og begrenses av motgående trafikk. Forbikjøringsspor bygget slik at begge tog kan kjøre uten reduksjon i hastighet vil bli veldig lange, i praksis vil det være det samme som utbygging av banen til tre (eller fire) parallelle spor.



Figur 22 Tid/vei diagram ved flyvende forbikjøring

Tid for kjøring av lengden L for saktegående tog tog_s og hurtiggående tog tog_h :

$$tog_s = \frac{L}{V_s}$$

$$tog_h = \frac{L}{V_h} + 2 * t_{fmin}$$

Uten buffertid:

$$L = 2 * t_{fmin} * \frac{V_s * V_h}{V_h - V_s}$$

Med buffertid:

$$L = (2 * t_{fmin} + bt_1 + bt_2) * \frac{V_s * V_h}{V_h - V_s}$$

Minimum tidsforbruk for en slik forbikjøring oppnås når det saktegående toget tog_s kjører inn på forbikjøringssporet akkurat når det hurtiggående toget tog_h ligger teknisk minste togfølgetid $t_{f_{min}}$ bak. Ved $t_{f_{min}} = 180$ sek ligger t_h 10 km etter tog_s ved hastigheter på henholdsvis 200 km/h og 100 km/h. Når tog_h kommer til begynnelsen av forbikjøringssporet, har tog_s kjørt 5 km, og når tog_s passerer av tog_h har de kjørt 10 km på forbikjøringssporet. Ved $t_{f_{min}} = 180$ sek må sporet være ytterligere 10 km langt for at tog_s skal kunne kjøre uhindret ut fra forbikjøringssporet.

Det må legges inn marginer, buffertid, hvis togene er forsinket. Man kan si at buffertiden øker lengden på forbikjøringssporet hvis det er forutsatt at begge tog fortsatt skal holde full hastighet. Hvis tog_s er forsinket 180 sekunder, må forbikjøringssporet være lenger i motsatt retning av togenes kjøreretning, 10 km. Hvis tog_h er forsinket, må forbikjøringssporet være lenger i togenes kjøreretning, 10 km. Det forutsetter blokkstrekninger på 5 km.

Togene er i disse beregningene sett på som punkter, tog lengden er ikke tatt med fordi den for de lengste forbikjøringssporene blir liten i forhold til lengden av forbikjøringssporet.

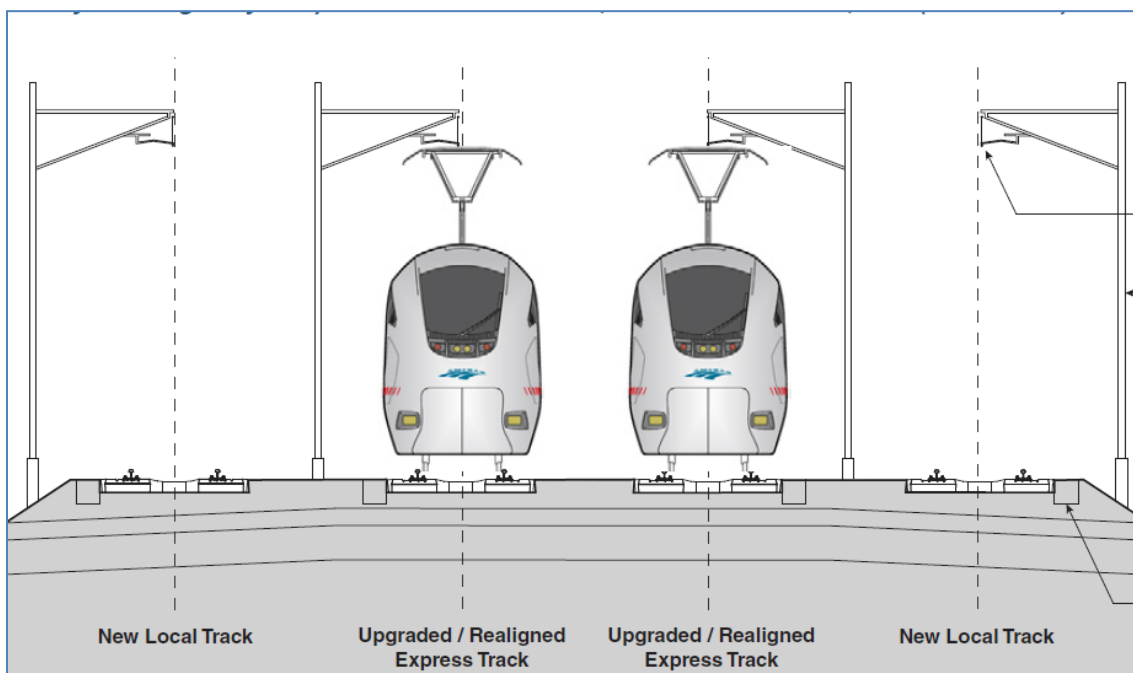
Togfølgetid 180 sek, buffertid 180/180 sek				Togfølgetid 300 sek, buffertid 180/180 sek			
V_s [km/h]	V_h [km/h]	L [km]	Tidstap ref 100 km/h [min]	V_{GT} [km/h]	V_{IC} [km/h]	L [km]	Tidstap ref 100 km/h [min]
120	160	96	-	120	160	128	-
120	200	60	-	120	200	80	-
100	160	53,3	-	100	160	71,1	-
100	200	40,0	-	100	200	53,3	-
80	160	32,0	04:48	80	160	42,7	06:24
80	200	26,7	04:00	80	200	35,6	05:20
50	160	14,5	08:42	50	160	19,4	11:38
50	200	13,3	07:59	50	200	17,8	10:41
20	160	4,6	11:02	20	160	6,1	14:38
20	200	4,4	10:34	20	200	5,9	14:10

Tabell 7 Lengde av forbikjøringsspor ved forbikjøring uten stopp

En mellomløsning er at forbikjøringssporet har en lengde slik at godstoget ikke behøver å stanse helt, men kan være i bevegelse. Det er gunstig at man slipper å stoppe helt, og kan

kjøre fortere hvis buffertiden ikke benyttes. Tidstap i forhold til å kjøre i 100 km/h ved forskjellig hastighet og korresponderende lengde på forbikjøringsporet er vist i kolonnen *Tidstap* i tabell 7.

Den beste løsningen vil være trafikkseparasjon hvor de hurtige og de mer saktegående togene kjører uhindret på hver sin bane. Der hvor det bygges en ny bane kan en løsning være å beholde den gamle banen som vanligvis har et dårligere hastighetsprofil til fullstoppende lokaltog og godstog. I enkelte land, for eksempel Storbritannia og USA, har man etter hvert som hastighetsforskjellene mellom togene og togtettheten økte, bygget fire parallelle spor, se figur 23. Forutsetningen for en slik løsning er at den opprinnelige banen er bygget for høy hastighet.



Figur 23 Utbygging til fire spor mellom Providence og Westwood, USA. New Local track brukes både av saktegående persontog og godstog. (Amtrak, 2012)

4 Simulering og inngangsdata

4.1 Simuleringer

Simulering kan sees på som en reproduksjon av et virkelig objekt eller en prosess. Innen jernbanesektoren har blitt utviklet dataverktøy som for eksempel kan gjenskape hvordan en gitt ruteplan fungerer på gitt infrastruktur. Den virkelige infrastrukturen er vanligvis ikke tilgjengelig for utprøving av ruteplaner, og for evaluering av ruteplaner fram i tid er det selvfølgelig helt urealistisk å bygge ny infrastruktur bare for å teste hvordan en ruteplan fungerer. Ved å bruke nøyaktige datamodeller for infrastruktur, ruteplan og det rullende materiellet er det mulig å teste mange alternativer på en rask og kostnadseffektiv måte. Simuleringsverktøy brukes ikke bare på nye og store prosjekter eller strategisk planlegging, men også for å optimalisere dagens ruteplan og infrastruktur.

Kvaliteten på resultatet henger sammen med kvaliteten på dataene, og man må sikre at infrastrukturdata og data for togmateriellet har den nøyaktighetsgraden som kreves for det aktuelle prosjektet.

Det er tre nivåer av modellering:

- makroskopisk
- mesoskopisk
- mikroskopisk

Den makroskopiske er den groveste. For strekningshastighet har den for eksempel bare en gjennomsnittsverdi av hastigheten for alle segmentene, mens en mikroskopisk modell inneholder alle verdiene. En mellomting er den mesoskopiske modellen, som ofte genereres fra den mikroskopiske. For simuleringene i denne oppgaven benyttes en mesoskopisk modell.

4.2 Trenoplus

For simuleringene i denne oppgaven benyttes simuleringsverktøyet Trenoplus. Det er laget av det italienske selskapet Lift som har sitt utspring fra universitetet i Trieste. Trenoplus benyttes av mange jernbaneforvaltninger i Europa.

4.3 Inngangsdata til simuleringene

I simuleringene benyttes data for forskjellige typer togmateriell. Det tas utgangspunkt i dagens materiell og materiellbruk, men det er materielle som er forholdsvis nytt og kan forventes å være i drift i minst 20 år til. Infrastrukturdata kommer fra Jernbaneverkets digitale infrastrukturmodell for 2027, som benyttes både av Jernbaneverket og eksterne. Den er utviklet til rutemodellprosjektet R2027.

4.3.1 Intercity- og regiontog

På Østfoldbanen kjøres i dag IC-togene hovedsaklig med NSBs motorvognsett av type 73, en materielltype bygget i 2001 og som kan forventes å være i trafikk fram mot 2030. Med den økte trafikken som forutsettes etter IC-utbyggingen trengs det mer materiell. NSB har tatt i bruk nytt materiell fra 2010 i IC togene på Dovre- og Vestfoldbanen, og den samme materielltypen (motorvognsett type 74) er brukt ved simuleringene. I regiontogene Oslo - Moss og Oslo - Mysen brukes fortsatt noe eldre materiell, men også NSBs type 75. Den er teknisk lik type 74, men med annen innredning med flere seter. Begge typer har en maksimalhastighet på 200 km/h og god akselerasjon. De kjøres som enkeltsett på 105,5 meter eller dobbeltsett med en lengde på 211,0 meter.

I simuleringene benyttes:

- NSB type 74 og 75

4.3.2 Godstog

Dagens godstog på Østfoldbanen har en toglangde på 300 - 500 m, med en vekt på 600 - 1100 tonn. Den nyeste lokomotivtypen som brukes, og som man kan regne med vil bli benyttet framover mot 2030, er Bombardiens fireakslede Traxx-type E119⁷.

Maksimal toglangde, hastighet og aksellast for godstog er gitt av forskjellige deler av norsk regelverk. Network statement (Jernbaneverket, 2014c) oppgir tillatt hastighet i forhold til aksellast, hastighet og overbygningsklasse, tabell 8.

⁷ Loktypen har flere betegnelser, BR 185, CE119.

Overbygningsklasse	Vogner i persontog		Motorvognsett		Godstog/arbeidsmaskiner	
	Nominell aksellast (tonn)	Maks hastighet (km/h)	Nominell aksellast (tonn)	Maks hastighet (km/h)	Maks. aksellast (tonn)	Maks hastighet (km/h)
a	16	90	16,0	90	22,5 16,5	30 70
b	18	100	18,0	100	22,5 20,5 18,0	30 70 80
c	18	160	20,5 18,0	130 160	22,5 20,5 18,0	80 90 100
c+	18	160	20,5	160	24,0 ¹ 22,5 18,0	50 90 110
d	18	230	20,5 20,0 18,0 17,0	160 200 250 300	25,0 22,5 18,0	70 100 110
Ofof-banen	18	130	20,5	130	30,0 22,5	50 70 ²

Tabell 8 Tillatt hastighet og maksimal aksellast for overbygningsklasser. (Jernbaneverket, 2014c)

I Jernbaneverkets Network Statement 2016 er tillatte tog lengder og maksimal hastighet for godstog oppgitt, se tabell 9.

Lengde godstog	Hastighet	Bremsegruppe
500m	maks. 100 km/t	P
600m	maks. 90 km/t	P
700m	maks. 80 km/t	P
850m	maks. 80 km/t	G

Tabell 9 Network statement 2016, tabell 3.3.2.5.1 Godstog

På europeisk nivå skjer det en utvikling i forhold til tog lengde, hastighet og akslelast. Som EØS-medlem er Norge forpliktet av EU-regelverket innen jernbane, og Regulation (EU) No 1315/2013 oppgir at det innen 2030 skal være mulig å kjøre godstog med minst 22,5 tonn aksellast, 100 km/h og en lengde på 740 meter på det som betegnes som det europeiske kjernenettet for gods. Østfoldbanen til Oslo er en del av dette nettet, figur 24.



Figur 24 Internasjonale godsforbindelser (Official Journal of the European Union, 2013)

I enkelte land i Europa kjøres det godstog med en maksimalhastighet på 120 km/h, og en del av vognmateriellet som brukes i Norge er tillatt for denne hastigheten. Dagens norske regelverk tillater ikke dette, og heller ikke godstog med de spesifikasjonene som er oppgitt i Regulation (EU) No 1315/2013.

For å ta høyde for utviklingen i Europa er det i tillegg til godstog innenfor dagens regelverk også simulert med godstog trukket av en dansk loktype EG3100, med 100 km/h og en lengde på 740 meter.

Hoveddelen av dagens trafikk på Østfoldbanen er tømmer tog til Sarpsborg og Halden. Vestre linje har overbygningsklasse c+, og i henhold til tabell 8 og 9 kan de framføres med hastighet på 90 km/h ved en akslellast på 22,5 tonn når tog lengden er under 600 meter. Operatørene ønsker å øke aksellasten til 25 tonn, og det har blitt gjennomført prøvekjøringer med noen vogntyper. Hvis vognene skulle bli godkjent for 25 tonn aksellast, blir maksimalhastigheten på den nye IC-strekningen 70 km/h for tømmer tog.

I simuleringene benyttes:

- El 19 - 600m - 1200 tonn - 70km/h
- El 19 - 600m - 1000 tonn - 80km/h
- El 19 - 600m - 800 tonn - 100km/h
- EG3100 - 740m - 1200 tonn - 100km/h

Forskjellene i tonnasje spiller ikke så stor rolle i simuleringene på den nye IC-strekningen. På strekninger med større stigning vil dette slå ut ganske mye, slik som stigningen sørover fra Halden.

5 Simulering av konsepter

5.1 Forutsetninger

5.1.1 Ny avgrensning til Østre linje

I forbindelse med byggingen av Follobanen og ombyggingen av Ski stasjon har man sett på en ny avgrensning til Østre linje syd for Ski for å ha en fleksibel løsning for kjøring av tog inn på både Follobanen og Østfoldbanen mot Kolbotn. Uten en slik avgrensning vil det bli en konflikt mellom togene fra Østre linje og øvrige tog på Ski stasjon. Denne avreiningen har dobbeltspor til Kråkstad og er sett på som en forutsetning videre i disse konseptene.

5.1.2 Tilsving ved Hafslund

Ved Hafslund syd for Sarpsborg ble det i 1995 bygget et forbindelsesspor (tilsving) mellom Østre og Vestre linje. Tog fra Østre linje kan nå kjøre direkte videre sydover, uten å måtte kjøre inn til Sarpsborg stasjon for å skifte kjøreretning. Dette sporet er forutsatt oppretthold, og kan eventuelt kompletteres med en planskilt tilknytning.

5.1.3 Prognoser for godstrafikk

Godstrafikk på jernbane er konjunkturavhengig, og trafikken på Østfoldbanen har gått ned de siste årene. For rutetermin R15 (Jernbaneverket, 2014d) er det planlagt 15 tømmertog pr uke og retning til Halden og Sarpsborg. Disse kommer fra Kongsvinger, Sørli, Lunde og Sokna. Det går 7 godstog pr uke og retning fra Drammen og Alnabru over Kornsjø. Dette er en betydelig reduksjon i forhold Jernbaneverkets gjeldene godsstrategi (Jernbaneverket, 2007). For Østfoldbanen er det i godstrategien oppgitt som mål en økning til 12 tog med 600 meters lengde pr retning pr døgn i 2019, og 18 tog i 2040.

IC-prosjektet har for T2027IC og T2031IC henholdsvis 11 og 12 tog per retning og døgn på strekningen Oslo og Sarpsborg, og 9 og 12 tog per retning og døgn over Kornsjø mot utlandet (Jernbaneverket, 2015a). Ikke alle togene er gjennomgående, en del trafikk ender i Sarpsborg eller Halden, både nordfra og sydfra. IC-prosjektets prognoser benyttes videre i konseptene.

5.2 Konsept 1 - blandet trafikk på Vestre linje

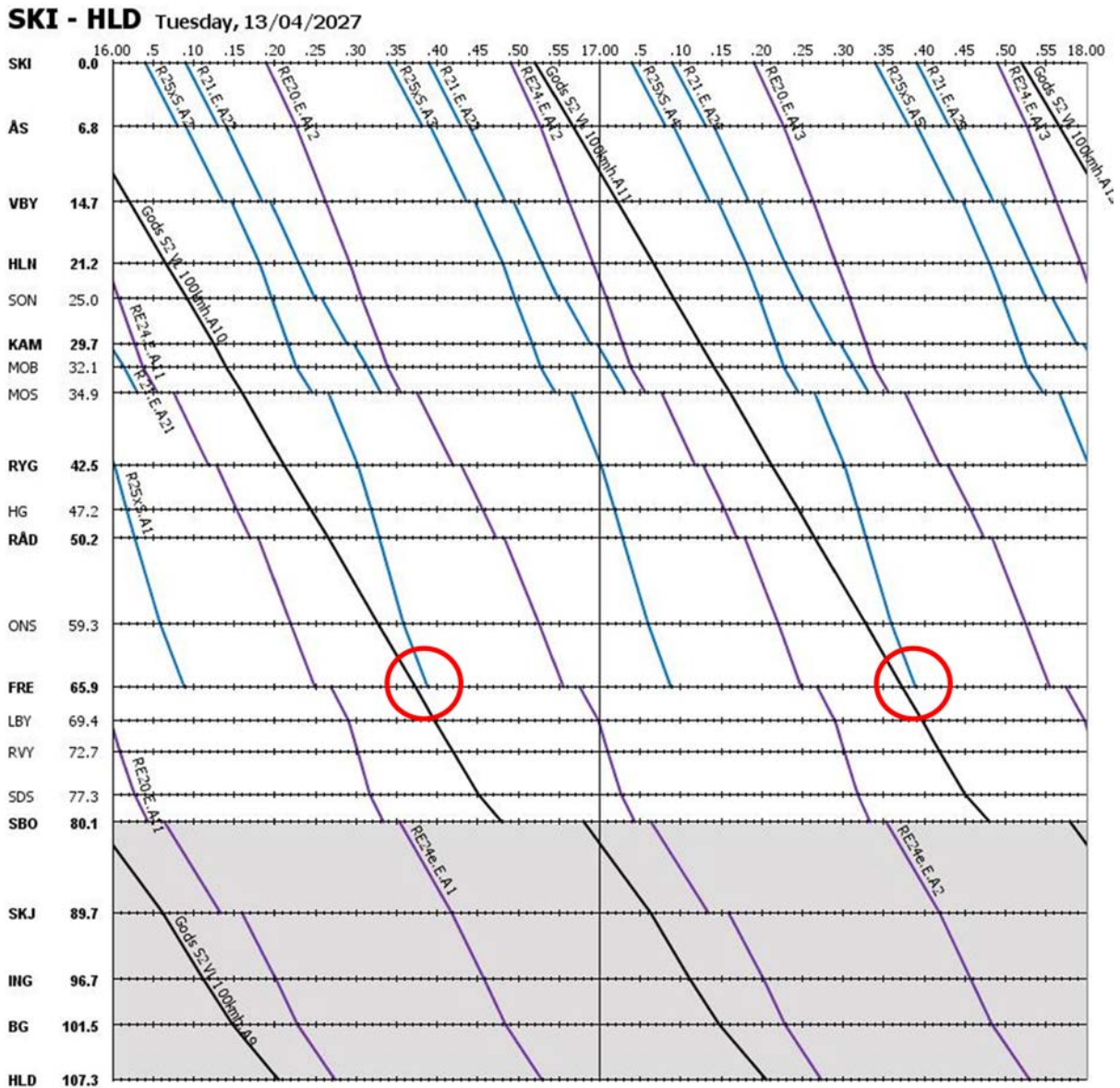
5.2.1 Simulering av trafikk i 2027

Dette er den løsningen som er planlagt ved IC-utbyggingen. I 2027 har tilbudskonseptet:

- To IC-tog per time og retning til Sarpsborg, ett går videre til Halden, begge i rush

- To regiontog per time og retning til Moss
- To innsatstog mellom Fredrikstad og Oslo per time i rushretning

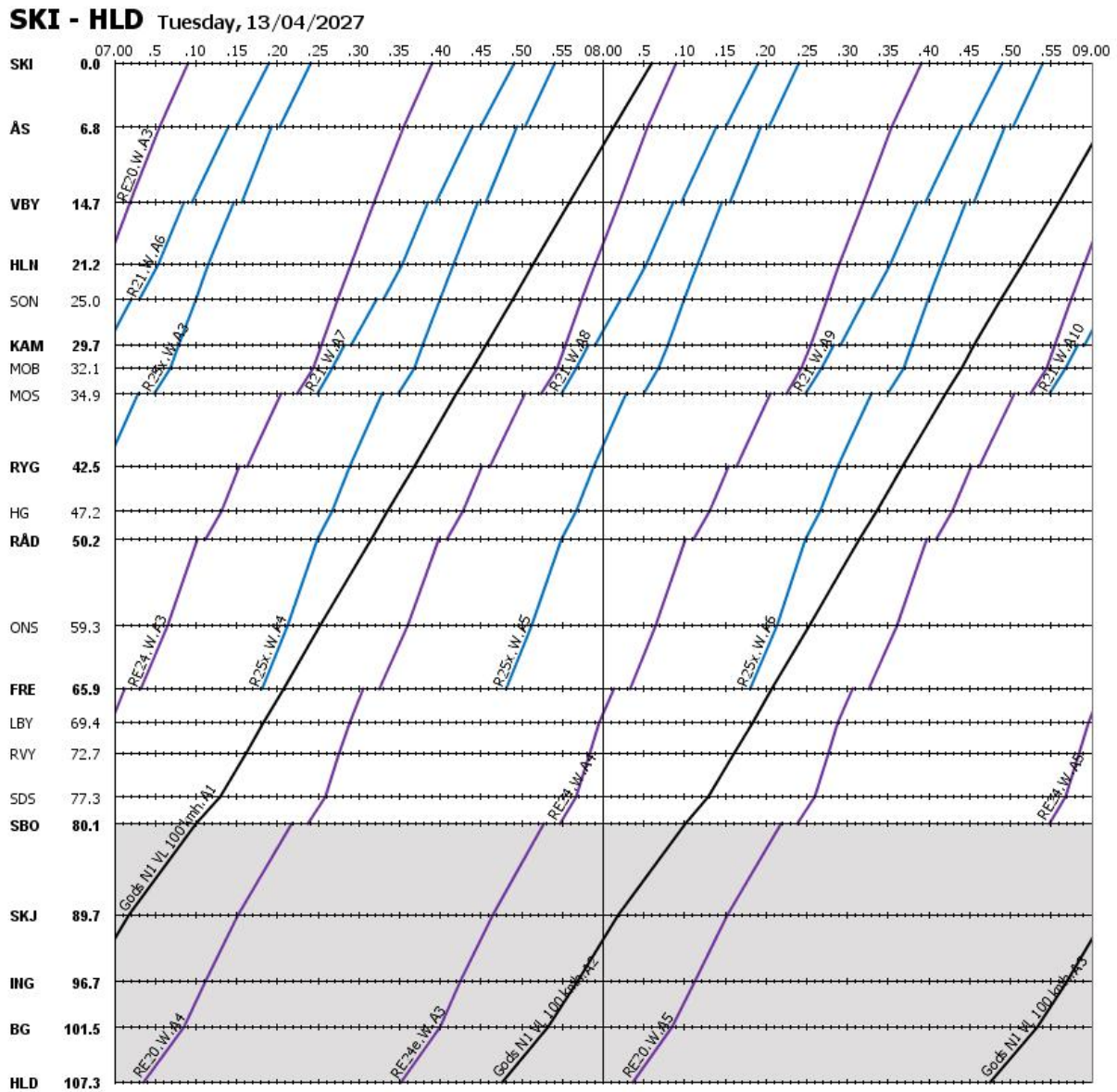
I 2031 er forskjellen at begge IC-togene går til Halden i grunnrute. De neste figurene viser resultatet av simuleringer i simuleringsverktøyet Treno. Svart strek er godstog, lilla er IC-tog, blå er regiontog og grønn er fjerntog.



Figur 25 Grafisk rute for Ski - Halden i rushretning, kl 16 - 18

I ettermiddagsrushet vil det gå seks persontog fra Ski til Moss per time. Ruteleiene fra Ski er bestemt av ruteleiene ut fra Oslo og er vanskelig å justere siden disse er tilpasset all trafikk til og fra Oslo S. Ruteleiene er forholdsvis gunstig samlet i to grupper på tre tog. Figur 25 viser at det likevel er for små marginer til at godstog kan kjøres direkte Ski - Fredrikstad. Det må

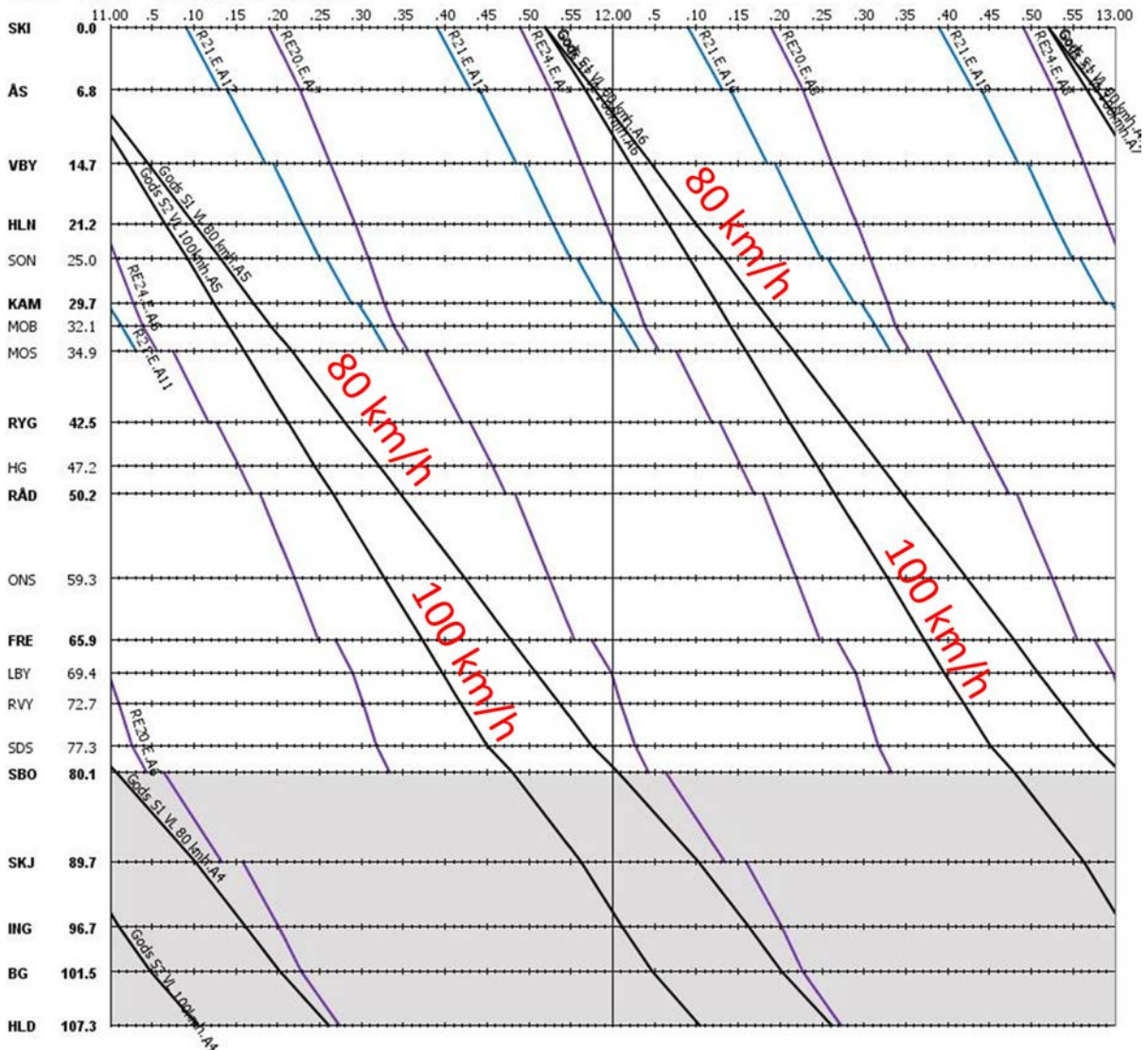
forbikjøres på strekningen Moss - Råde. Godstoget har en hastighet på 100 km/h. Godstog med en hastighet på 120 km/h vil ha nok marginer til å kunne kjøre direkte til Sarpsborg.



Figur 26 Grafisk rute for Halden - Ski i rushretning, kl 07 - 09

På samme måte som i retningen ut fra Oslo er det ikke mulig å kjøre direkte fra Fredrikstad til Ski i rush, figur 26. Forbikjøring må skje på strekningen Råde - Moss. Godstoget har en hastighet på 100 km/h. Kjøretid Sarpsborg - Ski uten forbikjøring er 55 minutter, med et kjøretidspåslag på 13%.

SKI - HLD Tuesday, 13/04/2027

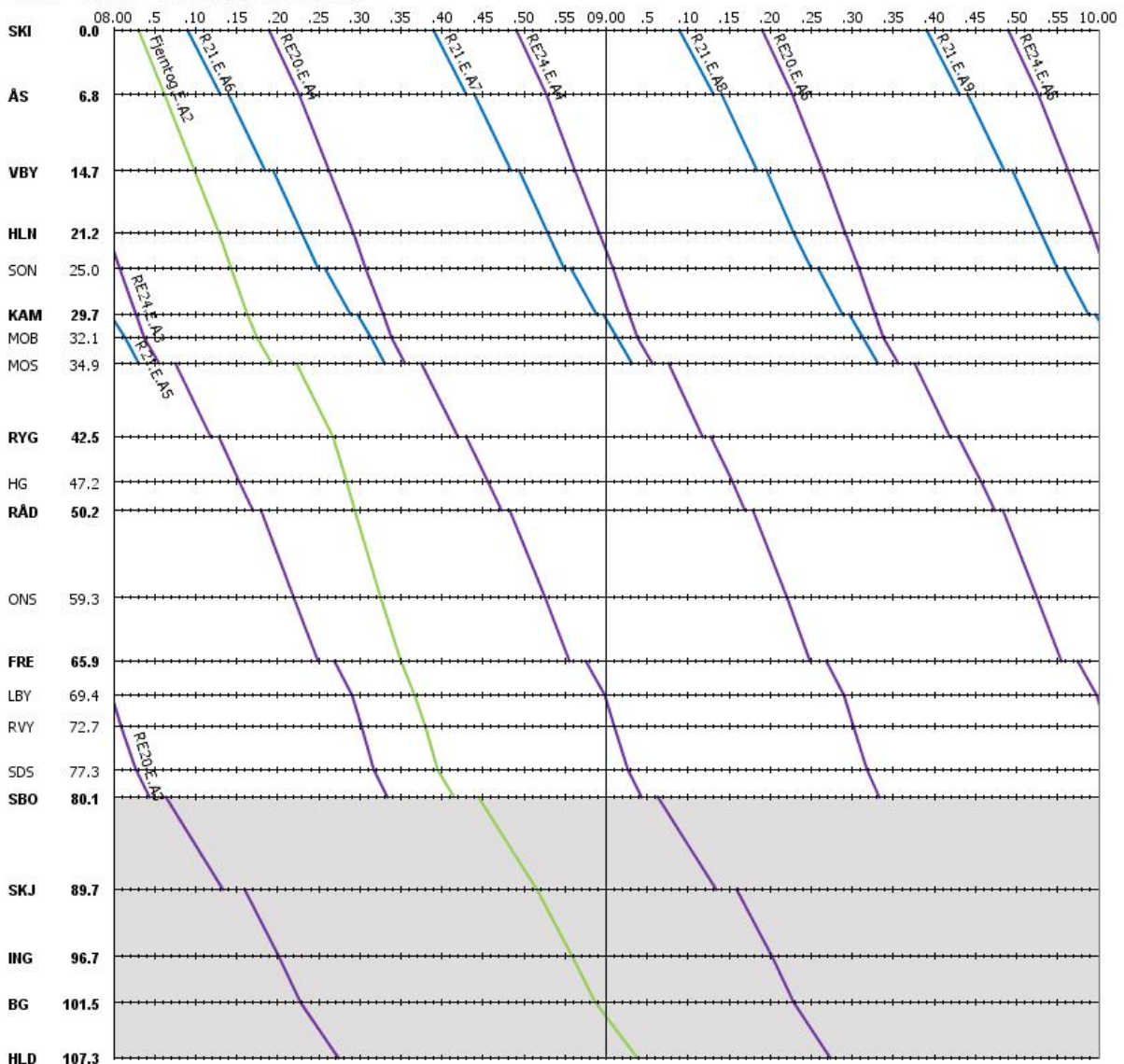


Figur 27 Grafisk rute for Ski - Halden i grunnrute, kl 11 - 13

I grunnrute vil det være plass til to godstog pr halvtime, med forholdsvis god margin, figur 27. Det er ikke fornuftig å bruke alle ruteleiene, noen må være i reserve i forhold til avvik. Forutsetningen er at hastigheten er 100 km/h. Ved 80 km/h er det med små marginer plass til et godstog hver halvtime, og godstog med 70 km/h vil bli forbigjørt på strekningen. I motsatt retning vil forholdene være de samme. Ved 90 km/h (ikke vist i figuren) vil det være plass til et godstog hver halvtime.

For et godstog med 80 km/h er kjøretid Sarpsborg - Ski uten forbigjøring 68 minutter med et kjøretidspåslag på 13%.

SKI - HLD Tuesday, 13/04/2027



Figur 28 Grafisk rute for Ski - Halden med ett fjerntog, kl 08 - 10

I dagens ruter går det ikke egne fjerntog til utlandet over Halden og Kornsjø, enkelte av IC-togene til Halden forlenges til Gøteborg. I et marked med flere aktører kan det komme inn nye operatører som vil satse på denne trafikken, og kjøre med et mindre antall stopp i Østfoldbyene. Figur 28 viser at et slikt fjerntog kan blokkere et direkte ruteleie for godstog.

5.2.2 Vurdering av resultat - Vestre linje

Hvis man forutsetter en driftspause på fire timer hver natt og at rushperioden er på tre timer, vil det være en periode på 17 timer hvor det er mulig å kjøre godstog på strekningen Ski - Sarpsborg uten forbikjøring, så lenge hastigheten er minimum 90 km/h. Dette gjelder T2027IC og T2031IC, og det er da minst ett reserve ruteleie hver time. Hvis det senere kjøres regiontog i kvartersintervall til Moss, vil marginene bli små for godstog med 100 km/h.

5.3 Konsept 2 - blandet trafikk på Østre linje

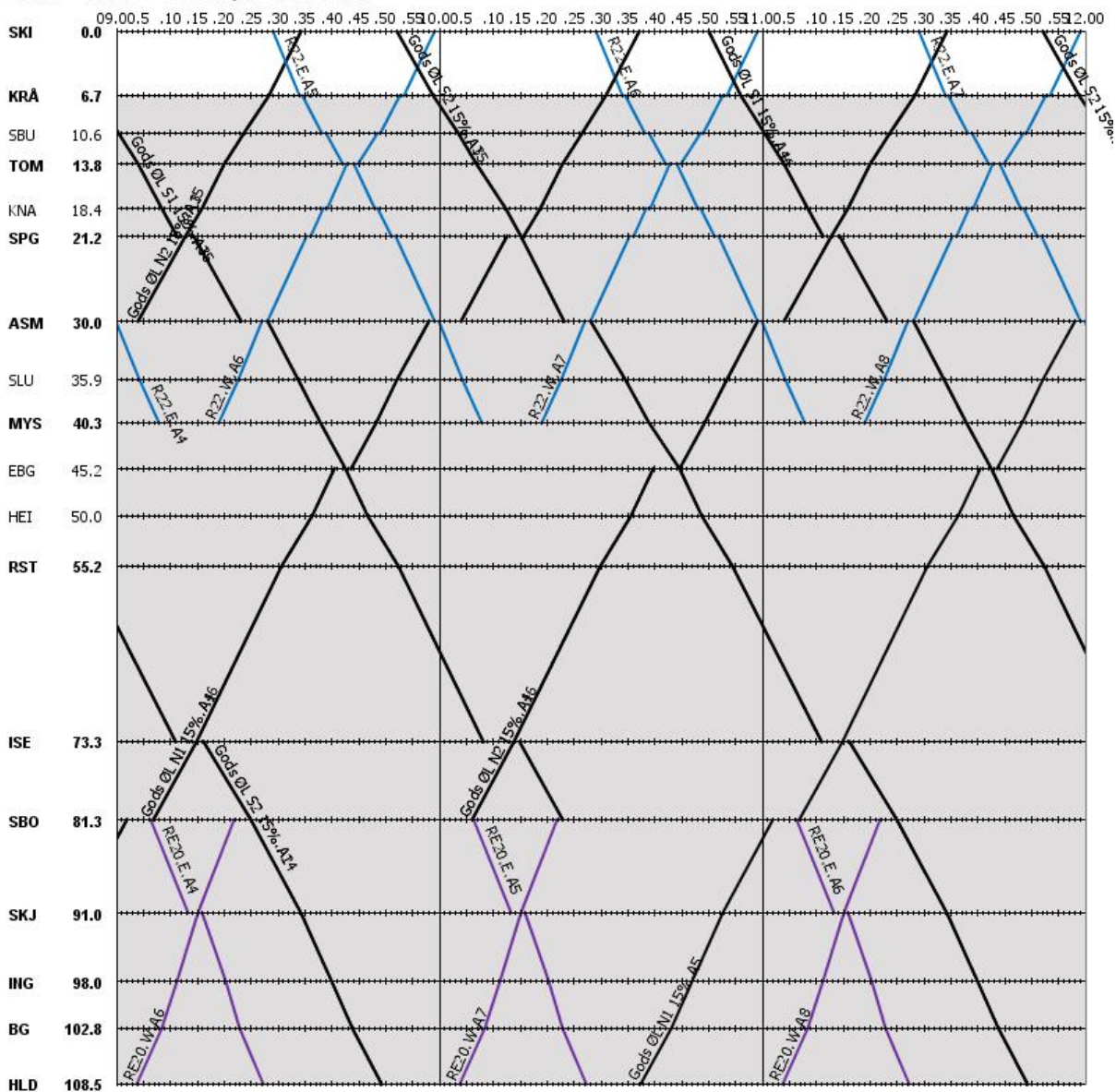
5.3.1 Simulering av trafikk i 2027

I 2027 og 2031 er tilbudskonseptet på Østre linje:

- Et regiontog per time og retning til Mysen i grunnrute
- Et innsatstog mellom Rakkestad og Oslo per time i rushretning

I tilbudskonseptet er ingen godstog, og ingen persontog mellom Rakkestad og Sarpsborg. I figur 29 er det lagt inn et godstog hver vei per time utenom rush. Det er forutsatt forlengelse av kryssingsspor i Spydeberg og på Ise, og et nytt kryssingsspor i nærheten av Eidsberg.

SKI - HLD Tuesday, 13/04/2027



Figur 29 Grafisk rute for Ski - Mysen - Halden med ett godstog pr time, kl 09 - 12

Askim har i dag det lengste kryssingsspor, 716 meter. De øvrige er kortere enn 500 meter. Annet hvert godstog går til Sarpsborg og Halden. Kjøretid for godstogene på strekningen Ski - Sarpsborg er 1 time og 32 minutter, ved en hastighet på 80 km/h. Kjøretidstillegget er på 13%.

5.3.2 Vurdering av resultat - Østre linje

Ruteopplegget er stramt i forhold til enkelte kryssinger, og det er ingen reserveruteleier med et godstog hver time. Det er nedsatt hastighet på flere av stasjonene på Østre linje, og en økning til linjehastighet vil gi mer slakk i godstogrutene. En økning av hastigheten til 90 km/h for godstog vil også hjelpe.

Med et godstog hver andre time, vil det utenom rush på tre timer og vedlikeholdspause på fire timer, være plass til 8-9 godstog i hver retning per døgn. Et kryssingsspor ved Eidsberg vil i tillegg kunne brukes for systemkryssinger hvis regiontogene forlenges til Rakkestad i grunnrute. Hvis de skal forlenges videre til Sarpsborg må det også bygges et kryssingsspor mellom Rakkestad og Ise.

5.4 Konsept 3 - Godstrafikk både på Østre og Vestre linje

5.4.1 Retningsdrift og godstrafikk på begge baner

I de to foregående konseptene er det sett på kjøring av godstog enten på Østre eller Vestre linje. Et tredje konsept er å kombinere disse to, ved å kjøre nordover på en bane og sørover på den andre. Retningen skiftes i løpet av døgnet, fordi det er gunstig å kjøre *med* rush på enkeltsporet bane, og *mot* rush på dobbeltspor.

I figur 30 er det lagt inn to godstog pr time i morgenrush mot Oslo. For å kjøre det ene må det gjøres en kryssingssporforlengelse på Spydeberg, for å kjøre det andre må det bygges et kryssingsspor ved Slitu. For å kunne kjøre disse i rush må det også være tilgjengelig kapasitet på Østfoldbanen videre nordover fra Ski. På Vestre linje er det ledige ruteleier sørover fra Oslo i morgenrushet, så sørgående godstog vil kunne gå der.

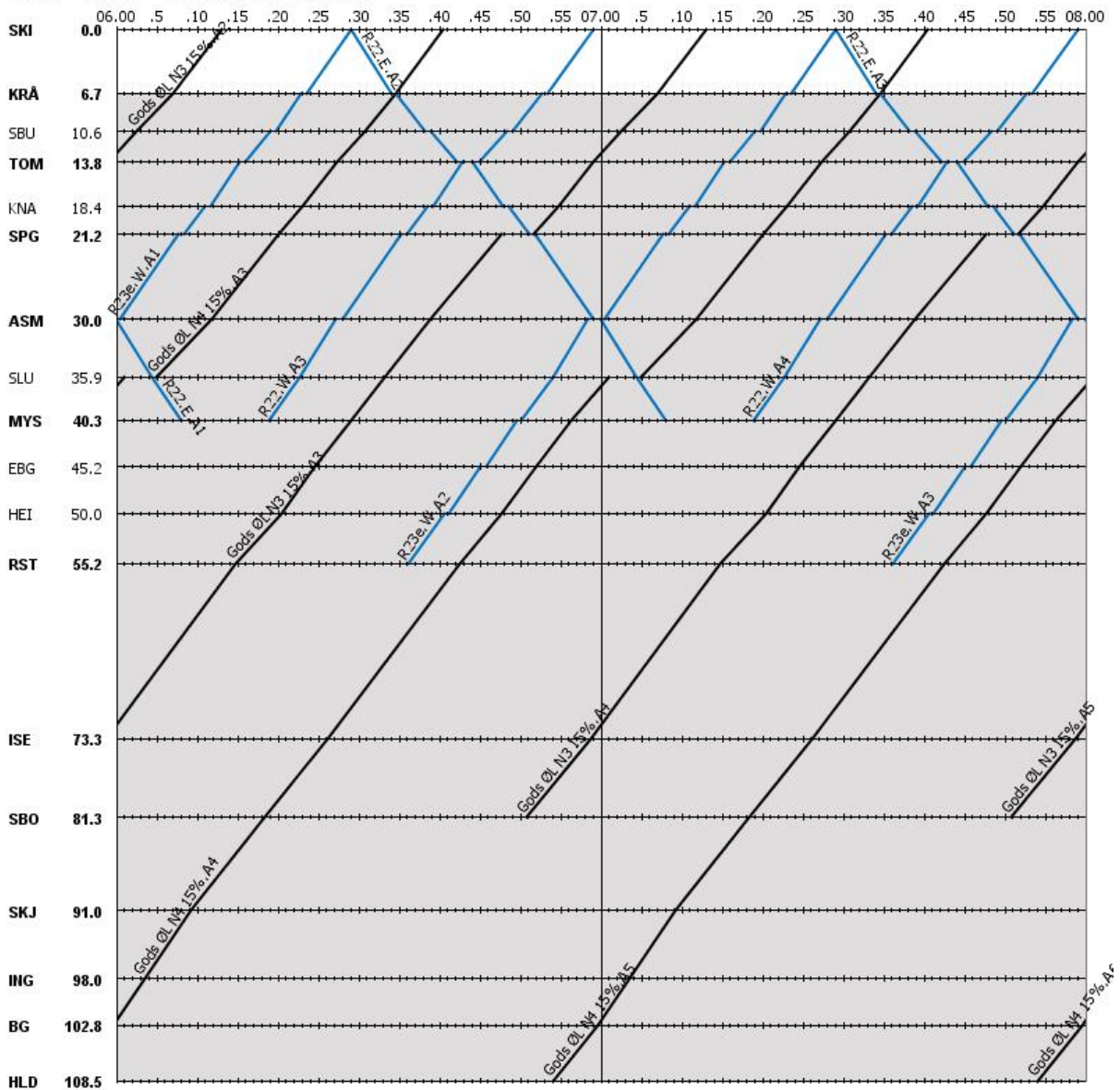
På ettermiddagen vil situasjonen være motsatt, med ledig kapasitet nordover på Vestre linje og sørgående tog kan følge rushretningen på Østre linje.

5.4.2 Vurdering av resultat - bruk av både Østre og Vestre linje

Retningsdrift på Østre vil gi to ruteleier for godstog per time i rush, og tre utenom rush siden godstoget kan benytte innsatstogets ruteleie. En realistisk bruk vil være to godstog per time

utenom rush, og et i rush. Retningsdrift vil kreve færre tiltak enn å overføre all godstrafikk til Østre linje.

SKI - HLD Tuesday, 13/04/2027



Figur 30 Grafisk rute for Ski - Mysen - Halden med godstog i rushretning, kl 06 - 08

5.5 Nye traseer for godstrafikk

Som en del av planarbeidet ved IC-utbyggingen skal det også sees på en mulig ny korridor fra Halden mot Sverige. Spesielt stigningen fra Halden til Tistedal ønsker man å unngå for godstrafikken. I 2014 ble det også startet et samarbeid mellom Trafikverket i Sverige og Jernbaneverket, for å se hvordan kapasitet og tilbudet på strekningen Oslo - Gøteborg kan utvikles (Jernbaneverket, 2015c). En mulig trase er fra Berg til Skee på Bohusbanen, 28 - 30

km. En annen mulighet for å unngå Tistedalsbakken er en ny trase fra km 64 på Østre linje til Tistedal, figur 31.



Figur 31 Nye traséer for godstrafikk mot Sverige

6 Evaluering

6.1 Kriterier

For å vurdere de tre konseptene benyttes følgende kriterier:

- Oppfylle godsmålet. For Østfoldbanen er det i godsstrategien fra 2007 (se punkt 2.2.2) oppgitt som mål en økning til 12 tog med 600 meters lengde pr retning pr døgn i 2019, og 18 tog i 2040.
- Kapasitet i anleggsfasen for IC. Byggefase for IC på strekningen Sandbukta - Sarpsborg vil vare fra ca 2018 til 2026. Hvor mange godstog kan gå på Vestre linje i den perioden?
- Hastighet/kjøretid. Godset må raskt fram.
- Kostnader og behov for tiltak. Utløser konseptene behov for tiltak?
- Ruteleier. Gir konseptene mulighet for ruteleier som er attraktive for operatørene?

6.2 Evaluering

	Konsept 1 Vestre linje	Konsept 2 Østre linje	Konsept 3 Begge
Oppfylle godsmålet	Med en kapasitet på 17 tog per døgn/ retning oppfylles målet i 2019, er på grensen i 2040	17 godstog per døgn/ retning, uten reserve ruteleier. 60% utnyttelse gir 10 godstog/døgn. Ikke oppfylt	Oppfylder samlet godsmålet i 2019 og 2040
Kapasitet i anleggsfasen for IC	Kapasiteten vil bli begrenset av stengeperiodene	Kan tilby kapasitet som fyller dagens behov hvis en del tiltak er utført	Som konsept 2 ved stengt Vestre linje
Hastighet/kjøretid	Høyere linjehastighet og kortere kjøretid	Lav linjehastighet, lenger kjøretid, også ved økt hastighet.	Hurtige godstog på Vestre Linje, tregere tog på Østre linje?
Kostnader og behov for tiltak	Ingen kostnader på kort sikt. Omfang på senere tiltak avhengig av trafikk.	Behov for tiltak. For kostnader se kap 7	Færre tiltak enn konsept 2.
Ruteleier	Begrenset i rushretning. Ikke mulig med godstog mot Oslo kl 06-09 og fra Oslo 15-18	Veldig begrenset mot rushretning. Bedre muligheter for godstog mot Oslo kl 06-09 og fra Oslo 15-18	Beste løsning, fleksibelt.

Tabell 10 Evaluering av konsepter

Det er vanskelig å gi de enkelte evalueringspunktene en vektning eller poengsum, men konsept 3 vurderes som det beste og mest fleksible. Avhengig av ambisjonsnivået vil behovet for tiltak på Østre linje og dermed kostnadene variere. Hvis tiltakene kan gjennomføres på forholdsvis kort tid, kan Østre linje være en verdifull omkjøringsbane under IC-utbyggingen til Sarpsborg.

Konsept 1 er nest best, det oppfyller kapasitetsmålet i 2019 alene.

Konsept 2 har begrenset kapasitet, men vil kunne ta dagens trafikk.

6.3 Usikkerhet

Det er flere usikre faktorer i forhold til konseptene. Den største usikkerheten knytter seg til prognosene for godstrafikken, se pkt 5.1.3. Det kjøres i 2015 22 tog per uke og retning på Østfoldbanen, altså i snitt 3 tog per dag. Bare ett tog per dag er grenseoverskridende.

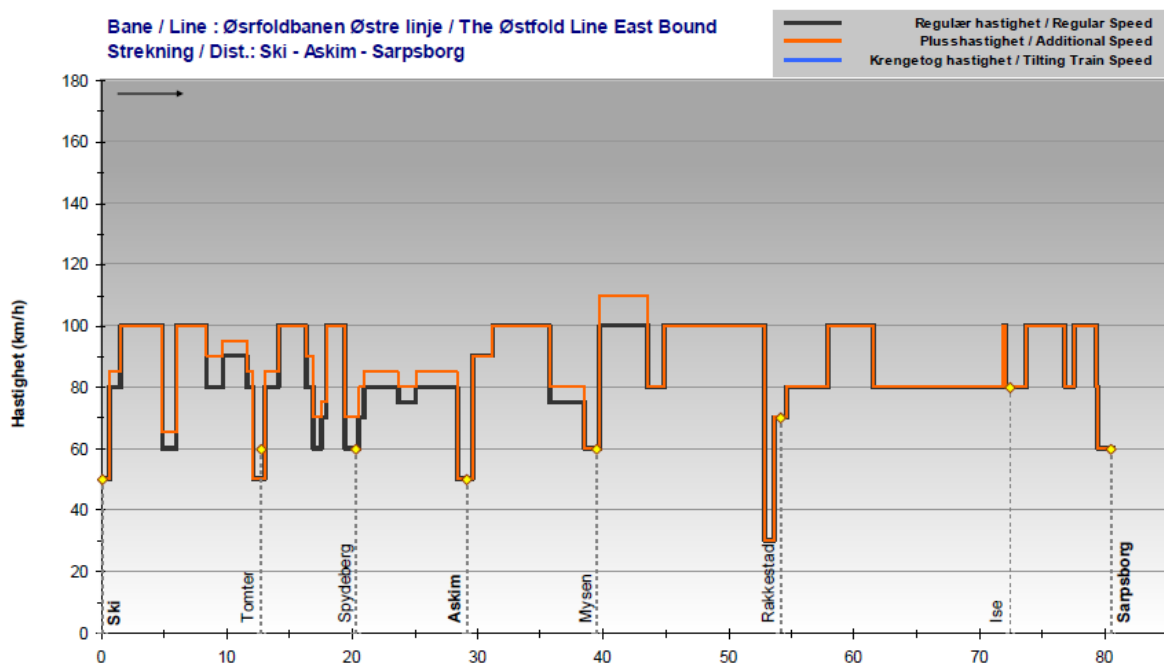
Jernbaneverkets godsstrategi har som mål 12 tog med 600 meters lengde pr retning pr døgn i 2019. Godsstrategien er for tiden under revisjon, og resultatet av den bør sees på før man beslutter eventuelle tiltak.

Godstrategien forutsetter 600 m lange godstog. Europeisk utvikling går mot lenger tog, 740 meter i henhold til EUs anbefalinger. Lengre tog gir færre tog, det må også avklares om dette regimet innføres i Norge.

Østre linje får ERTMS i løpet av 2015. Hvis det skal gå godstog der, må lokomotivene ha ERTMS ombordutstyr. Hvis Østre linje skal tas i bruk for godstog i løpet av kort tid, er det en kostnad for operatørene som vil komme tidligere enn forventet, siden Vestre linje er planlagt utbygget med ERTMS først fra 2023.

7 Oppgradering av Østre linje

Østfoldbanen Østre linje har enkeltspor, og har i utgangspunktet overbygningsklasse b, som tillater godstog med aksellast på 20,5 tonn med maksimal hastighet på 70 km/h, for 22,5 tonn aksellast er maksimal hastighet også 70 km/h⁸. Banen bør minimum oppgraderes til overbygningsklasse c som tillater 20,5 og 22,5 tonn aksellast i hhv 80 og 90 km/h. Banen har en hastighetsprofil med maksimalt 100 km/h for godstog, se figur 32.



Figur 32 Hastighetsprofil for Østre linje (Jernbaneverket, 2014c)

Gjennom noen av stasjonene er hastigheten lavere enn det som kurvaturen tillater, en økning her ville hjelpe på framføringstiden for godstog som ikke skal stanse for kryssing. Nord for Rakkestad er det en usikret planovergang hvor hastigheten på grunn av siktforholdene er satt helt ned til 30 km/h.

I 2003 ble det gjennomført en utredning av jernbanetekniske standarder for Østre linje (Jernbaneverket 2003). I utredningen er det vurdert hva som skal til for å få en enhetlig jernbaneteknisk standard på banen, og det ble vurdert om man skulle anbefale overføring av

⁸ I følge Strekningsbeskrivelsen for JBV's nett, pkt 2.2.1

godstrafikken på Vestre linje til Østre linje. Konklusjonen var at man ikke anbefalte en slik overføring. Hovedgrunnen var at det ikke var behov for å frigjøre kapasitet på Vestre linje før kapasiteten mellom Oslo - Ski var økt, konkret vil det si etter at et nytt dobbeltspor er ferdigstilt. Denne kapasiteten vil bli økt når Follobanen åpnes.

Utredningen inneholder en sammenstilling over de viktigste prioriterte tiltakene for en oppgradering av Østre linje, se tabell 12 som er kopiert fra utredningen.

Krav	Tiltak	G/P <i>1)</i>	Tidspers- pektiv	Kostnad <i>2)</i>	Vedl./ inv. <i>3)</i>	Ref. kap.
Aksellast 22,5 tonn	Spesialinspeksjon av 3 bruer	G	2003-04	0,3	v	3.3.5
Aksellast 22,5 tonn og 80 km/h for godstog	Skinnebytte ca 25 km	G/P	2003-06	30,5	v	4.3.1
Sikker og kostnads- effektiv drift	GSM-R-utbygging	G(P)	2003-05	20	i	9.3.2
Minste tverrsnitt A-96	Profilutvidelse ca.5 steder	G	2003-06	0,6	i	3.3.4
Framføring av inntil 700 m godstog	Forleng 1-2 kryssings- spor (Tomter, Rakkestad)	G	2003-06	6,0 / 10,6	i	5.3.3
Forbedre standard ift. publikum	Stasjonstiltak 4 stasjoner (3 er kostnadsberegnet)	P	2003-09	11,7 ++	i	5.3.5
Redusere uhellsrisiko	Sanere planoverganger / andre pl.o.-tiltak	G/P	2006-12	1,7	v	5.3.4
Pålitelig kontaktled- ning, rimelige vedlike- holdskostnader	Nytt kontaktlednings- anlegg System 20 A/B	G/P	2009-15	146	v	7.3
Min.høyde til KL-anl.	Heve 17 overgangsbruer	G/P	2009-15	9,7	v	3.3.6
Sikker og kostnads- effektiv drift	CTC/FATC-utbygging	G/P	2009-15	127	v	8.3.9

1) **G/P** - krav hovedsakelig av hensyn til gods- eller persontrafikk

2) **Kostnader** (mill 2003-kr) er forsøkt angitt med en usikkerhet mindre enn +/- 40%. De er omregnet til 2003-kr ved å benytte årlige prisstigningsfaktorer (opplysninger fra JRØC/Claes R. Aackerman).

3) **v** = vedlikeholdskostnad, **i** = investeringskostnad. Forutsetter at vedlikeholdsplanen følges opp og avsatte beløp ikke omprioriteres.

Tabell 11 De viktigste tiltakene i utredningen fra 2003

Av disse tiltakene i tabell 11 er GSM-R bygget ut, stasjonstiltakene og CTC/FATC (erstattet med ERTMS) vil være utført i løpet av høsten 2015. Gjenstående tiltak er satt opp i tabell 12.

Krav	Tiltak	Tidsperspektiv	Kostnad ¹⁾
Aksellast 22,5 tonn	Spesialinspeksjon av 3 bruer	2003-04	Må oppdateres
Minste tverrsnitt A-96	Profilutvidelse ca.5 steder	2003-06	
Framføring av inntil 700 m godstog	Forlenge 1-2 kryssingsspor (Tomter, Rakkestad)	2003-06	
Min.høyde til KL-anl.	Heve 17 overgangsbruer	2009-15	
Redusere uhellsrisiko	Sanere planoverganger / andre pl.o.-tiltak	2006-12	
Pålitelig kontaktledning, rimelige vedlikeholdskostnader	Nytt kontaktledningsanlegg Ski - Sarpsborg	Vedlikeholdsplan 2016-27	467 MNOK
Aksellast 22,5 tonn og 80 km/h for godstog	Skinne- og svillebytte ca 25 km	Vedlikeholdsplan 2016-27	126 MNOK
Kostnader i 2014-kr			

Tabell 12 Gjenstående tiltak for Østre linje

De fleste av tiltakene fra 2003 som ikke er utført er ligger inne i eksisterende planer. Det viktigste som ikke er med er nye og forlengede kryssingsspor. Tabell 13 viser kostnader for to av de nyeste kryssingsporene som er bygget andre steder i landet. Det er vanskelig å anslå hva det vil koste å bygge nye kryssingsspor på Østre linje, men det bør være mulig å bygge et nytt og forlenge ett kryssingsspor for 250 - 350 MNOK. Tidlig i IC-prosjektet ble forlengelse av Ise og Rakkestad anslått til 104 MNOK (Norconsult, 2012).

Sted	Kostnad (2015)	Lengde	Samtidige togbevegelser	Kilde:
Jensrud	145 MNOK	1080 m	Ja	JBV
Vålåsjø	126 MNOK	880 m	Nei	JBV

Tabell 13 Kostnader for bygging av Jensrud og Vålåsjø kryssingsspor

8 Konklusjon og anbefaling

8.1 Konklusjon

Konklusjonen er at Østfoldbanen Vestre linje alene vil ha kapasitet til å håndtere den godstrafikken som tilbudskonseptet for 2031 er basert på. En senere økning av persontrafikken mellom Ski og Moss vil skape problemer for godstrafikken. På sikt vil det da være behov for forbikjøringsspor, noe som krever investeringer på Vestre linje.

Bruk av bare Østre linje vil kreve flere nye kryssingsspor og forlengelse av kryssingsspor for å ha kapasitet til trafikken i 2031. Men et par nye kryssingsspor og forlengelser vil gi en stor økning i forhold til dagens kapasitet, og banen vil kunne være et viktig supplement til Vestre linje, blant annet i byggefasen for IC-prosjektet. Det er gunstig å gjøre tiltak mellom Rakkestad og Sarpsborg nå, siden det ikke er rutemessig trafikk der. Tiltak på Vestre linje etter at IC-utbyggingen er ferdig kan bli kostbare, fordi det skal bygges ved en bane med stor trafikk.

Det er en usikkerhet i forhold til godsprognosene siden Jernbaneverkets strategi er fra 2007. Godsstrategien er under revisjon, så tilbudskonseptet må oppdateres når den nye strategien er klar. Det er også en usikkerhet i forhold til toglengde og hastighet for godstog.

8.2 Anbefaling

Det anbefales å gjøre en utredning hvor kapasiteten på Østre og Vestre linje sees i sammenheng, også med nye traser mot Sverige. Og det må gjøres en vurdering av kostnadene ved å ruste opp Østre linje med flere kryssingsspor og til en høyere banekategori, c+ eller d. Da vil for eksempel tømmertog med en aksellast på 25 tonn kunne bruke Østre linje sydover og kjøre Vestre linje nordover som tomtog.

Det må også avklares hvilke toglengder og hastighet godstogene vil ha framover, siden dette påvirker antall ruteleier det er behov for, samt lengden på forbikjørings- og kryssingsspor.

9 Kilder – litteratur

- ALEX LANDEX 2008. Methods to estimate railway capacity and passenger delays – PhD Thesis – DTU Transport
- AMTRAK 2012. The Amtrak Vision for the Northeast Corridor - 2012 Update report
- BOMBARDIER TRANSPORTATION 2002. Contessa Electric Multiple Unit,
http://www.transitio.se/Documents/document/Contessa_0226_ICT_Sept02_en.pdf
- CAMPOS, JAVIER/ GINES DE RUS, BARRON 2006. Some stylized facts about high speed rail around the world
- DET KONGELIGE SAMFERDSELSDEPARTEMENT 2013. Meld. St. 26 Nasjonal transportplan 2014-2023
- HANSEN, INGO ARNE, PACHL JÖRN 2008. Railway Timetable & Traffic, Eurail Press
- JERNBANEVERKET 2003. Modernisering av Østfoldbanen, utredning av jernbanetekniske standarder for Østre linje.
- JERNBANEVERKET 2007. Godstransport på bane, Jernbaneverkets strategi
- JERNBANEVERKET 2011. Mulighetsstudie - utbyggingskonsepter for Intercity-strekningen Østfoldbanen
- JERNBANEVERKET 2012. Felles innledende overbygningsdokument, konseptvalgutredning for IC-strekningene
- JERNBANEVERKET 2013. Nasjonal signalplan, IUP-00-A-04278 00E rev 00E
- JERNBANEVERKET 2014a. Kapasitetsforbedringsplan Oslo S – Lysaker, POU-00-A-00082
- JERNBANEVERKET 2014b. Vedlegg 14 til Konseptdokument for IC-strekningene - Forutsetninger og drøftinger knyttet til kapittel 6 Vedlikehold, ICP-00-A-00015 rev 0
- JERNBANEVERKET 2014c. Network Statement 2016
- JERNBANEVERKET 2014d. Rutesirkulære 2/15, Ruteområde Øst, seksjon Øst
- JERNBANEVERKET 2015a. Konseptdokument for IC-strekningene ICP-00-A-00004, høringsutgave
- JERNBANEVERKET 2015b. Jernbaneverkets tekniske regelverk, utgitt 26. januar 2015
<https://trv.jbv.no/wiki/Forside>
- JERNBANEVERKET 2015c. Prosjektplan - Jernbanesamarbeid Oslo - Gøteborg
- NORCONSULT 2012. KVV Intercity Østfoldbanen - Kostnadsberegninger
- Official Journal of the European Union 2013. Regulation (EU) No 1315/2013 of the European parliament and of the council of 11 December 2013 on Union guidelines for the

- development of the trans-European transport network and repealing Decision No 661/2010/EU
- SCHRADER, SVEN-JÖRAN 2014. Punktlighet og kapasitet, Produksjons-planlegging og ruteplanlegging. Forelesning NTNU
- SKARTSÆTERHAGEN, SVEIN 1992. Kapasitet på jernbanestrekninger, Institutt for energiteknikk
- SKARTSÆTERHAGEN, SVEIN 2014. Forelesninger i Punktlighet og kapasitet, Erfaringsbasert mastergrad jernbane, NTNU
- TOVÅS, OVE 2014. Litteraturstudie, innsamling av data om praksis for blanding av gods- og persontrafikk på baner bygget for hastighet ≥ 200 km/h
- UIC 1979. UIC Code 405-1 R Method to be used for the determination of the capacity of lines, International Union of Railways (UIC), Paris
- UIC 2004. Code 406 R Capacity, International Union of Railways (UIC), Paris

Liste over vedlegg

Vedlegg 1 – fullstendig oppgavetekst

Vedlegg 2 - Sidestilt forbiøringsspor, konstruksjon

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige
universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap
og teknologi
Institutt for bygg, anlegg og transport



Faggruppe: Veg, transport og geomatikk

Postadresse
Høgskoleringen 7A
7491 Trondheim
Telefon 73 59 46 40
Telefax 73 59 70 21

BA6903 MASTEROPPGAVE

HØSTEN 2014 OG VÅREN 2015

for

Stud techn. Ove Tovås

Hvor skal godstrafikken gå i framtiden;

Østfoldbanen Vestre eller Østre linje, separasjon eller blanding av gods- og persontrafikk?

Bakgrunn

I dag går godstrafikken fra Østlandet mot Gøteborg og kontinentet over Østfoldbanen Vestre linje, Oslo - Moss - Sarpsborg - Kornsjø. Det går og noe godstrafikk gjennom Oslo og til Sarpsborg og Halden. Det er mulig å benytte Østfoldbanen Østre linje på strekningen Ski - Mysen - Sarpsborg, men denne banen har lav standard og dårlig hastighetsprofil. Østre linje vil løpet av 2015 få det nye pan-europeiske signalsystemet ERTMS, og blir på det området den mest moderne i landet. For å kunne ta i mot daglige godstog kreves det en oppgradering av øvrige deler av infrastrukturen, og flere lange kryssingsspor.

I konseptene som er valgt for IC-utbyggingen av Vestre linje mot Halden skal den dobbeltsporede banen som bygges til Sarpsborg benyttes av både forholdsvis saktegående godstog og hurtiggående persontog. Der det bygges helt ny trasé vil i utgangspunktet den gamle bli nedlagt. Mellom Sarpsborg og Halden er det ikke avklart om den gamle banen fortsatt skal brukes av godstog. På sikt kan det bli trangt på Vestre linje mellom Ski og Sarpsborg etter hvert som trafikken øker, og en overføring av godstrafikken til Østre linje vil frigjøre verdifull kapasitet.

Oppgaven

Når IC-utbyggingen på Østfoldbanen vestre linje er ferdig, vil man kunne få en blanding av persontog i 200 km/h og godstog. Dette kan redusere kapasiteten vesentlig. I oppgaven skal det sees på hvordan dette kan løses, ved trafikkblanding på Vestre linje, all godstrafikk på Østre linje, eller fordeling av godstrafikk på begge baner.

Oppgaven løses ved:

- Studie av dagens trafikk, og planlagt konsept for IC-trafikken, samt JBV's godsstrategi
- Kartlegge andre planer som kan påvirke trafikken, f. eks. planfri avgreining til Østre linje
- Se på mulighetene for oppgradering av Østre linje og investeringsbehov
- Informasjon om hvordan trafikkblanding og trafikkseparasjon er løst i andre land
- Analyse og drøfting av mulige konsepter for trafikkblanding og trafikkseparasjon på Østfoldbanen etter IC-utbyggingen

Generelt

Ovenstående tekst er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil, om nødvendig, kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Evt. justeringer må skje i samråd med veileder og faglærer ved instituttet.

Normert arbeidsbelastning for masteroppgaven er 30 studiepoeng som tilsvarer ca. 800 arbeidstimer pr student.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundigheten i bearbeidningen, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal ha sammendrag, innholdsfortegnelse (med fortegnelse over evt. vedlegg og bilag) og komplett paginering. Alt kildemateriale som ikke er av generell karakter, skal angis slik at man uten problemer kan finne tilbake til kilden. Dette gjelder også opplysninger og informasjon som er gitt muntlig.

Se forøvrig «Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og hovedoppgave ved Institutt for bygg- og anleggsteknikk». Dette er retningslinjer for det gamle BA-instituttet, men de gjelder også for Institutt for bygg, anlegg og transport.

(<http://www.ivt.ntnu.no/bat/undervisning/rapportveiledning.pdf>)

Instituttet vil ha full rett til å bruke resultatene av arbeidet, som om det var utført av en ansatt under den ordinære arbeidsbelastning. Bruk av resultatene til publisering etc. kan bare skje i samarbeid med og etter avtale med faglærer og student (og eventuelt eksternt samarbeidspartner).

Innleveringsfrist:

Oppgavebesvarelsen i original (uinnbundet) samt to kopier skal leveres til instituttet innen

Fredag 15.mai 2015 kl. 23:59.

I tillegg skal en elektronisk versjon av oppgavebesvarelsen leveres/sendes til faglæreren.

Veileder:

Kjell Arne Skoglund, NTNU og SINTEF

Ekstern kontakt og industriveileder:

Finn Holom, jernbaneverket

Institutt for bygg, anlegg og transport

Dato: 13.5.2015

Kjell Arne Skoglund

Kjell Arne Skoglund

Førsteamanuensis II

Hovedveileder

Sidestilt forbikjøringsspor – konstruksjon

Vedlegg 2

Avstand fra innkjørhovedsignal til ATC forsignal

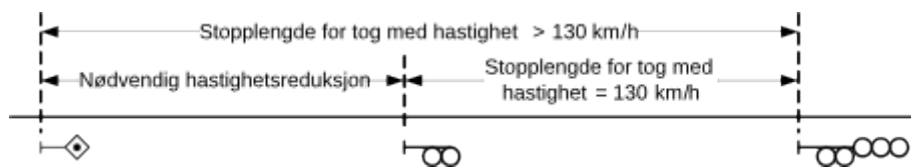
1220 + 1852 m = 3072 m

Signal/550 Prosjektering/Lyssignal 2.1.3 Forsignal b) tabell 2

Avstand i henhold til regelverk ved kjørehastighet >130 km/h og fall < 1‰ = 1220 m

Signal/550 Prosjektering/Lyssignal 2.1.3 Forsignal c) tabell 3

Når frittstående forsignal benyttes og strekningens høyeste tillatt kjørehastighet er > 130 km/h, skal ATC forsignal plasseres slik at avstanden er tilstrekkelig til at et tog kan redusere hastigheten til 130 km/h ved det tilhørende forsignalet. Avstand i henhold til regelverk ved kjørehastighet >130 km/h og fall < 1‰ = 1852 m



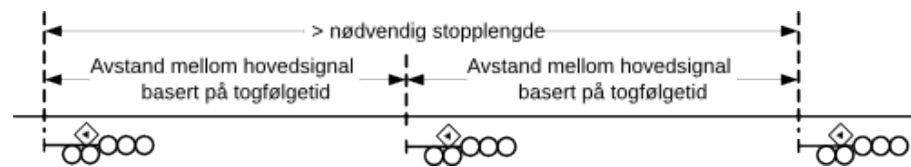
Figur 1 Plassering av frittstående forsignal og ATC forsignal på strekning med kjørehastighet > 130 km/h

Avstand fra innkjørhovedsignal ved gjennomsignalering

>2881 m

Signal/550 Prosjektering/ATC vedlegg a) Målavstandstabeller

Nødvendig stopplengde ved fall < 1‰ = >2881 m

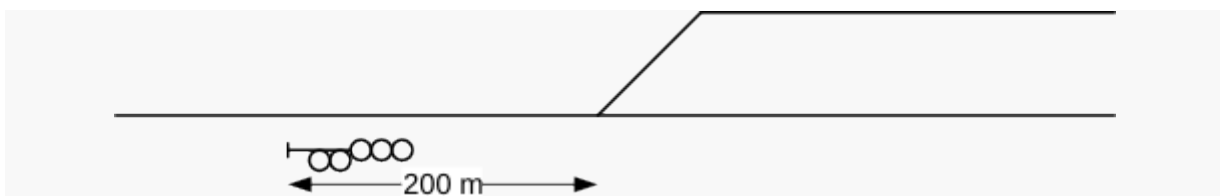


Figur 2 Forsignalplassering og gjennomsignalering

Avstand innkjørhovedsignal til sporsløyfe

≥ 200 m

Signal/550 Prosjektering/Lyssignal 2.1.2 j) Et innkjørhovedsignal skal plasseres ≥ 200 meter foran innkjørtogveiens første sentralstilte, motrettede sporveksel, se Figur 5.



Figur 3 Plassering av innkjørhovedsignal

Lengde av dobbel sporsløyfe ved sporavstand 4,6 m

301/254m

ICP-00-A-000030 Teknisk designbasis for Intercity-strekningene, 06.02.2015:

Sporavstanden skal være 4,6 m.

Lengde av dobbel sporsløyfe

1) Ved sporveksler 1:18 R1200 (100 km/h)

Enkel sporsløyfe har en lengde på 150,3 m for 1:18 R1200 v/4,6 m sporavstand

Dobbel sporsløyfe lengde minimum 301 m.

2) Ved sporveksler 1:14 R760 (80 km/h)

Enkel sporsløyfe har en lengde på 118,5 m for 1:14 R760 v/4,6 m sporavstand

Dobbel sporsløyfe lengde minimum 254 m.

Avstand sporsløyfe - stokkskinneskjøt for veksel inn til forbikjøringsspor 15/12m

Overbygning/530 Prosjektering/Sporets trasé, 3.7 Sporveksler og sporforbindelser. c) Avstand mellom sporsløyfe og neste motstående veksel er gitt av kravet:

Avstanden mellom sporveksel og overgangskurve, sirkelkurve, bru eller annen motstående sporveksel skal ikke være mindre enn avstanden M gitt i Kurver uten overgangskurver, krav b). M skal imidlertid ikke være kortere enn 6 m. $M \geq 0,15 V [m]$ for $65 \leq V \leq 100$ km/h, der V er skiltet hastighet over kurvene

For 100 km/h: 15 m

For 80 km/h: 12 m

Avstand stokkskinneskjøt - middel for veksel inn til forbikjøringsspor 80/65 m

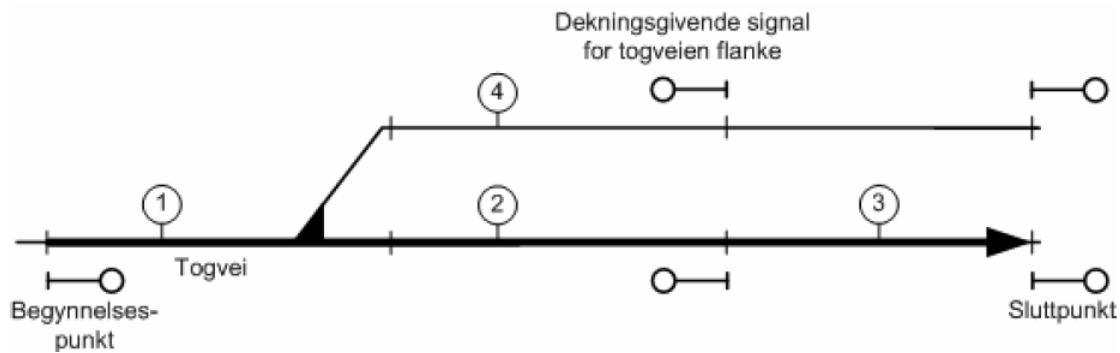
Beregnet for veksel 1:18 R1200 (100 km/h): 80 m

Beregnet for veksel 1:14 R760 (80 km/h): 65 m

Avstand middel til enden av sporavsnitt

5m

Signal/550 Prosjektering/Forriglingsutrustning, 2.1.1 Fastlegging av togvei og sikkerhetssone
Sporavsnitt 1 omfatter sporvekselen inn til minimum 5 meter innenfor middel i begge spor.



Figur 4 Sporavsnitt i forbindelse med togvei

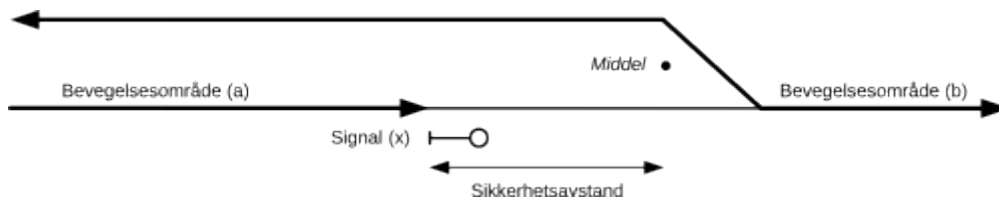
Sikkerhetsavstand

250m

Signal/550 Prosjektering/Lyssignal, 2.2.1 Bevegelsesområde mot flanke

a) Når et hoved- eller dvergsignal (x) skal plasseres for å tillate togbevegelse i bevegelsesområdet (a) mot flanken til bevegelsesområdet (b), skal følgende sikkerhetsavstand opprettes:

1. 250 meter når bevegelsesområdet (a) er en togvei.



Figur 5 Bevegelsesområde mot flanken til en togvei

Sporlengde mellom sikkerhetssoner

550m

Forbikjøringsporet bygges symmetrisk, slik at det benyttes ved kjøring i begge retninger. For å kunne ta inn et godstog med lengde på 750 m, må sporet mellom sikkerhetssonene være 550 m. Denne lengden inklusive en sikkerhetssone (motsatt av togets kjøreretning) gir en effektiv sporlengde på 800 meter. 50 m er nødvendig til unøyaktig bremsing ved stans for utkjørssignal.