

Institutt for Bygg- og energiteknikk - Bygg

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

Telefon: 67 23 50 00

www.oslomet.no

BACHELOROPPGAVE

BACHELOROPPGAVENS TITTEL	DATO
Konsekvenser for reisetid ved innføring av ERTMS nivå 2 i Norge	21.05.2019
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG
	77 / 9
FORFATTERE	VEILEDER
Sindre Skjevdal	Berthe Dongmo-Engeland
Jan Venner Solberg	Christopher Schive

UTFØRT I SAMMARBEID MED	KONTAKTPERSON
Bane NOR	Christopher Schive

SAMMENDRAG

Det antas at Norges nye signalsystem ERTMS nivå 2 vil påvirke hastighet og kapasitet i jernbanen. Det ønskes i denne oppgaven å se på i hvilken grad dette skjer, samt hvordan kapasiteten kan forbedres. I denne eksempelstudien er det utarbeidet et hastighetsprofil for strekningen Hønefoss-Ål. I hastighetsprofilen sammenlignes bremsekurvene til ERTMS med dagens, og analyser er gjort av hvordan skiltet pluss hastighet harmonerer med sporgeometri og andre hastighetsbegrensende faktorer.

Fordelene med ERTMS nivå 2 oppveier ikke ulempene, og uten andre tiltak vil reisetiden øke ettersom mål hastighet nås tidligere enn i dag ved hastighetsreduksjoner. Beregninger viser at flytting av nødbremsekurvens målpunkt inn i horisontalkurver samtidig som driftsbremse utelates i hastighetsovervåkingen ikke vil gi bremsekurver som er mer restriktive enn dagens. En slik flytting kan imidlertid være problematisk. Hastighetsøkende tiltak innebærer regelendringer, sporoptimaliseringer og å se på hvor og hvordan hastighet skiltes. Begrensningene og restriksjonene i ERTMS nivå 2 gjør det til et system som ikke er veldig godt egnet for Norge.

3 STIKKORD

Reisetid

ERTMS

Bremsekurver

Forord

Dette er et avsluttende arbeid for bachelorstudiet ingeniørfag bygg ved OsloMet våren 2019. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Bane NOR. I forbindelse med faget jernbaneteknikk ble vi tilbudt å skrive en oppgave om den pågående innføringen av ERTMS. Dette anså vi som interessant for å lære mer om jernbanefaget, samt at det er meningsfylt å skrive om noe som er så aktuelt.

Oppgavens målgruppe er medstudenter med kunnskap tilsvarende det vi hadde før vi tok faget jernbaneteknikk i 5. semester. Å skrive for noen som ikke har jernbanekompetanse, samtidig som det skal være interessant og nyttig for oppdragsgiver, har vært en utfordring ettersom kunnskapsnivået er svært forskjellig.

Oppgaven har vært interessant og lærerik å jobbe med, samtidig som det har vært krevende å sette seg inn i et relativt nytt fagområde med mye nytt og ukjent stoff. Å skrive en oppgave om noe som er såpass lite utprøvd som ERTMS har til tider gjort informasjonsinnhenting utfordrende. Samtidig har det vært veldig givende og interessant å skrive om noe helt nytt som veldig mange lurer på hvordan kommer til å bli. Det har gjort at vi føler at vi har skrevet en nyttig oppgave, og at vi gjerne skulle jobbet videre med emnet.

Vi ønsker å takke Bane NOR for samarbeidet med oppgaven. Vi føler oss virkelig godt tatt imot, og har bare møtt godvilje hos alle vi har trengt bistand fra. Vi ønsker spesielt å takke vår eksterne veileder Christopher Schive som alltid har vært tilgjengelig med sin kunnskap og sitt nettverk for å svare på spørsmål samt diskutere problemstillinger. ERTMS-guru Kjell Kristian Hageland fortjener også en stor takk for å ha vært til stor hjelp med å tålmodig svare på alle e-poster vi har sendt ham. Videre må vi takke Bjørn Ukkestad, Hallstein Gåsemyr, John Price, Erik Borgersen og Bjørn Ivar Olsen for fine diskusjoner og gode svar på våre spørsmål.

Utenfor Bane NOR har vi fått god hjelp fra Svein O. Salthaug som har svart på spørsmål og delt av sin kunnskap som både lokomotivfører og sivilingeniør. Terje Ertsås har bidratt med erfaringer fra ERTMS-teststrekningen Østfoldbanen Østre linje. På Norsk jernbaneskole må vi takke Hallgeir Olsen som har sluppet oss til i skolens simulatorsenter, og besvart mange spørsmål fra oss.

Til slutt vil vi takke vår interne veileder Berthe Dongmo-Engeland som har hjulpet oss med utformingen av oppgaven og oppfølging av arbeidet.

Oslo, 21.05.2019



Sindre Skjevdal



Jan V. Solberg

Sammendrag

Norsk jernbane har behov for oppgradering av signalanlegget, og det felleseuropeiske signalsystemet ERTMS er valgt for å oppfylle krav til europeisk samtrafikkveie. Ettersom det antas at innføringen av ERTMS nivå 2 vil påvirke hastighet og kapasitet i jernbanen ønskes det i denne oppgaven å se på i hvilken grad dette skjer, samt hvordan kapasiteten kan forbedres.

Opgaven er en eksempelstudie hvor det ses på strekningen Hønefoss-Ål. Bergensbanen er representativ for norsk jernbane, og egner seg derfor godt for nærmere undersøkelse. Strekningen er blant de første som skal bygges om til ERTMS.

For denne strekningen ble det laget et hastighetsprofil hvor bremsekurver som både representerer dagens situasjon og ERTMS sammenlignes. Data til oppgaven er framskaffet gjennom blant annet Bane NORs interne systemer, samtaler med fagfolk, datalogging fra togtur på aktuell strekning, regelverk og annen faglitteratur. I hastighetsprofilet ble det også observert hvordan skiltet hastighet harmonerer med sporgeometri og andre hastighetsbegrensende faktorer. Hastigheten det ble sett på er pluss-hastighet, som er den hastigheten persontog normalt kjører med. Godstog omhandles derfor lite. Valg av strekning gir også avgrensningen at foreslåtte tiltak hovedsakelig er relevant for eldre, eksisterende baner.

Resultatene fra analysen av bremsekurvene i hastighetsprofilet viser at reisetiden vil øke med innføringen av ERTMS, og at fordelene ikke vil oppveie ulempene. Det foreslås flere kapasitetsøkende tiltak, der beregninger gjort i oppgaven viser at flytting av målpunkt for nødbremsekurve inn i horisontalkurver vil ha stor effekt. Dette tiltaket, sammen med at driftsbremse ikke tillates benyttet i hastighetsovervåkingen, vil ifølge beregningene føre til at bremsekurvene med ERTMS ikke blir mer restriktive ved hastighetsnedsettelse enn hva dagens situasjon er. Å flytte nødbremsekurvens målpunkt inn i horisontalkurver innebærer imidlertid at hele sikkerhetsnettet til ERTMS flyttes. Dette kan være problematisk, og Bane NOR har heller ikke fått aksept for en slik flytting enda. En slik flytting vil også kunne bli et særnorsk fenomen, og må sees i sammenheng med målet om samtrafikk. Av andre tiltak foreslås det blant annet å endre regelverket slik at skiltet hastighet ikke alltid avrundes nedover, rampestigningshastighet settes i henhold til NS-EN 13803, og at det ses på om komfortkrav ved kjøring ned overhøyderamper kan endres. Det anbefales også å se på optimalisering av overhøyde i kurver samt flytting av punkt for mål-hastighet til sirkelkurver i stedet for overgangskurver for å minske reisetiden.

Dersom foreslåtte tiltak lar seg gjennomføre vil det ut ifra beregningene være mulig å opprettholde dagens reisetid på strekningen. Det er imidlertid tydelig at ERTMS nivå 2 har mange begrensninger og restriksjoner som gjør det til et system som ikke er veldig godt egnet for de kurverike jernbanestrekningene som er i Norge.

Abstract

The Norwegian railway signalling system needs an upgrade, and ERTMS is chosen as a trans-European train control system in order to meet the requirements for interoperability set by the European Union. It is assumed that speed and capacity are influenced by the introduction of ERTMS level 2, and this thesis search to examine to what extent this presumption is correct, and to suggest how the capacity can be improved.

This paper is a case study based on the railway line between Hønefoss and Ål. The Bergen Line is an appropriate representation of the Norwegian railway and is suitable for further examination. The railway line is among the first to be transformed into an ERTMS line.

A speed profile was made for the considered stretch of railway and braking curves both representing ERTMS and today's situation were compared. Data is obtained among others through Bane NORs internal systems, conversations with professionals, train tracking between Hønefoss and Ål, laws and regulations, and other relevant literature. The speed profile was basis for inspections of how signposted speed limits harmonize with track geometry and other speed limiting factors. The speed regime evaluated is plus speed, which normally is the speed allowed for passenger trains. Freight train is little discussed. The choice of railway line to study gives the delimitation that proposed measures is mostly relevant for old, existing lines.

The result from the braking curve analysis shows that the travel time with ERTMS will increase, and the benefits will not outweigh the disadvantages. Several measures to increase capacity are suggested, and calculations show that moving the foot point of the emergency brake deceleration curve into the horizontal curve will have significant impact. This measure, together with denial to use service brake in target speed monitoring, will according to the analysis lead to ETCS braking curves not being more restrictive than today's situation when it comes to reduction in speed limit. A relocation of the foot point of the emergency brake deceleration curve into the horizontal curve does however lead to a change in the whole safety net of ERTMS. This can be problematic, and Bane NOR has not yet got acceptance for such a change. The moving of the foot point may end up as a Norwegian special case and has to be seen in context to the aims of interoperability. This study suggests, among other things, to change the regulations leading to speed limits not always rounded down, rate of change of cant according to NS-EN 13803, and to consider whether comfort requirements driving down cant transitions should be changed. To reduce the travel time, it is also recommended to consider optimization of cant in curves and to move target speed location to circle curve instead of transition curve.

If the proposed measures can be carried out, according to the calculations, it will be possible to obtain today's travel time. However, it is clear that ERTMS level 2 has many limitations and restrictions that makes it a system not very suitable for the curvy railways in Norway.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Innholdsfortegnelse	IV
Ordliste	VII
Figurliste	IX
Tabelliste	XI
1 Innledning.....	1
1.1 <i>Bakgrunn</i>	1
1.2 <i>Formål</i>	1
1.3 <i>Problemstilling</i>	2
1.3.1 <i>Problemstilling</i>	2
1.3.2 <i>Deloppgaver</i>	2
1.4 <i>Avgrensninger</i>	2
2 Teori	3
2.1 <i>Hastighetsbegrensende faktorer</i>	3
2.1.1 <i>Komfort</i>	3
2.1.2 <i>Sikkerhet</i>	7
2.1.3 <i>Dynamikk</i>	9
2.1.4 <i>Oppsummering av påvirkningsfaktorer</i>	11
2.1.5 <i>Hastighetsklasser</i>	11
2.2 <i>Bremser</i>	12
2.3 <i>Jernbanesystemet i dag</i>	14
2.3.1 <i>Signalsystem</i>	14
2.3.2 <i>Siktkrav til lyssignal og skilt</i>	15
2.3.3 <i>ATC</i>	15
2.3.4 <i>Skilting av hastighet</i>	16
2.3.5 <i>Krysningsspor</i>	18
2.4 <i>Europeiske krav til samtrafikkevne</i>	18
2.4.1 <i>Internasjonale aktører</i>	18
2.4.2 <i>Norske aktører</i>	19
2.4.3 <i>Ansvarsfordeling</i>	20
2.4.4 <i>Jernbanepakker</i>	20
2.4.5 <i>TSler</i>	20

2.5	<i>Jernbanesystemet med ERTMS</i>	23
2.5.1	ETCS i infrastruktur	23
2.5.2	ETCS i toget	25
2.5.3	Bremsekurver med ERTMS.....	26
2.5.4	Hastighetsovervåkning med ERTMS.....	28
2.5.5	Togfølgetid med ERTMS.....	31
3	Metode	33
3.1	<i>Kvantitative metoder</i>	33
3.2	<i>Kvalitativ metode</i>	33
3.3	<i>Blandet metode</i>	33
3.4	<i>Eksempelstudie</i>	33
3.5	<i>Valgt metode</i>	33
3.5.1	Eksempelstudie – analyse av en strekning.....	34
4	Beregninger	35
4.1	<i>Valg av strekning</i>	35
4.2	<i>Grunnlag for hastighetsprofil</i>	36
4.2.1	Avgrensning	36
4.2.2	Forutsetninger	36
4.2.3	Kurver i hastighetsprofil.....	37
4.3	<i>Tidsberegning av hastighetsprofiler</i>	42
4.4	<i>Bremsekurver</i>	42
4.5	<i>Andre beregninger</i>	42
4.5.1	Optimalisering av overhøyde	42
4.5.2	Konservativ skilting pga avrundingsregler	43
4.5.3	Potensiale for høyere skiltet hastighet	43
4.5.4	Tap av tid ved gjennomgang av hastighetsprofilet	43
4.5.5	Risiko for velt ved flytting av målpunkt for nødbremsekurve.....	43
4.5.6	Flytting av markeringsmerket	43
4.5.7	Siktkrav til skilt bortfaller	43
4.5.8	Hastighetsbegrensning som følge av DATC.....	44
4.5.9	Begrensninger i antall hastighets- og vertikalkurvaturendringer	44
5	Resultat	45
5.1	<i>Tidsberegning fra hastighetsprofil</i>	45
5.2	<i>Bremsekurver</i>	46
5.3	<i>Optimalisering av overhøyde</i>	48
5.4	<i>Konservativ skilting pga avrundingsregler</i>	48
5.5	<i>Potensiale for høyere skiltet hastighet</i>	49

5.6	<i>Tap av tid ved gjennomgang av hastighetsprofilen</i>	50
5.7	<i>Risiko for velt ved flytting av målpunkt for nødbremsekurve</i>	51
5.8	<i>Flytting av markeringsmerket</i>	52
5.9	<i>Siktkrav til skilt bortfaller</i>	54
5.10	<i>Hastighetsbegrensning som følge av DATC</i>	54
5.11	<i>Begrensning i antall hastighets- og vertikalkurvaturendringer</i>	55
6	Diskusjon	57
6.1	<i>Fordeler og ulemper med ERTMS</i>	57
6.1.1	Reisetid med ETCS-bremsekurver	57
6.1.2	Målhastighet nås tidligere	57
6.1.3	Skilt- og signalavstands påvirkning på hastighet	57
6.1.4	Høyere makshastighet med ERTMS enn ATC	60
6.1.5	Hastighets- og vertikalkurveendringer i ERTMS	60
6.1.6	Rutetider og ERTMS	60
6.1.7	Kortere togfølgetid	60
6.1.8	Frislipphastighet	61
6.1.9	Begrensning i avstand mellom hastighetsnedsettelse	61
6.1.10	Redusert krysningslåsetid med ERTMS	61
6.1.11	Toglengde ved kurve	62
6.2	<i>Tiltak for å forbedre kapasitet</i>	62
6.2.1	Optimalisering av overhøyde	62
6.2.2	Potensiale for høyere skiltet hastighet	62
6.2.3	Flytting av målpunkt for nødbremsekurve ved hastighetsnedsettelse	63
6.2.4	Flytting av markeringsmerket	64
6.2.5	Endring av regelverk	65
6.2.6	Flytting av nødbremsekurve ved stoppskilt	66
6.2.7	Muligheter med flere hastighetsklasser	66
6.2.8	Fjerning av driftsbremsekurve	66
7	Konklusjon	69
	Kildeliste	71
	Vedlegg	77

Ordliste

Begrep

Adhesjon	Vedheft mellom skinnetopp og hjulbane
Balise	Elektronisk sender eller transponder i jernbanesporet
Boggi	Minst to aksler plassert i kort avstand fra hverandre
Bremsekurve	Grafisk framstilling av togets hastighet med hensyn på strekning som følge av en nedbremsing
End of Authority	Sluttpunkt for kjøretillatelse
Flens	Innvendig kant på hjulet for å holde det på skinnene
Gammatog	Tog med fast sammensetning / avgrenset antall sammensetninger
Grunnhastighet	Hastighetsklasse for alle tog som ikke kan kjøre i pluss- eller krengetogshastighet, vanligvis godstog
GSM-R	Europeisk standard for mobilkommunikasjon på jernbanen
Hastighetsprofil	Grafisk framstilling av tillatt hastighet på en strekning
Kilometrering	Kilometerangivelse langs linjen.
Kjøretillatelse	Tillatelse til å kjøre som gis når alle betingelser for trygg togframføring på strekningen er tilstede
Lambdatog	Tog med variabel sammensetning: lokomotiv og vogner
Manglende overhøyde	Uttrykk for ukompensert sideakselerasjon. Sideakselerasjon i sirkelkurve når overhøyde medregnes.
Markeringsmerke	Skilt for hvor hastighetsnedsettelse gjelder fra
Movement authority	Kjøretillatelse fra ERTMS
Målevognbilder	Bilder tatt av hele strekningen
Overbygningsklasse	Kategorisering av overbygning ut fra skinne- og svilletepe som setter begrensning for aksellast og hastighet
Overhøyde	Høydeforskjell mellom ytterste og innerste skinnestreng
Permitted speed	Tillatt kjørehastighet
Plusshastighet	Hastigheten persontog normalt kjører med i Norge
Rampestigningshastighet	Overhøydeøkning per tidsenhet
Release speed	Frislippshastighet
Rykk	Endring av ukompensert sideakselerasjon per tid
Sporstreng	Skinne
Togfølgetid (minste togfølgetid)	Den minste tidsavstanden hvor tog kan kjøre uhindret av foranliggende tog
TSI	Tekniske spesifikasjoner for samtrafikkevne (engelsk: Technical Specifications for Interoperability)
Ukompensert sideakselerasjon	Sideakselerasjon i sirkelkurve når overhøyde medregnes
Vindskjevhet	Forskjell i overhøydeendring mellom skinnene
Åk	Anordning til å henge skilt og signal over sporet

Forkortelser

ATC	Automatisk togkontroll
DATC	Delvis hastighetsovervåkning
EB	Emergency brake -nødbrems
EBI	Emergency brake intervention -nødbremsinngripen
EoA	End og authority -sluttpunkt for kjøretillatelse
ERA	European Union Agency for Railways
ERTMS	European Rail Traffic Management
ETCS	European Train Control System
FATC	Fullstendig hastighetsovervåkning
FKP	Felles kurvepunkt. Punkt hvor to sirkelkurver med ulik radius uten mellomliggende overgangskurve møtes
MA	Movement authority -kjøretillatelse
P	Permitted speed -tillatt kjørehastighet
SB	Servicebrake -driftsbrems
SBI	Service brake intervention -driftsbremsinngripen
STH	Største tillatte hastighet
SvL	Supervised location -kritisk farepunkt
UIC	Union of Railways
W	Warning -akustisk varsel

Figurliste

<i>Figur 2-1 Akselerasjoner på vogn i sirkelkurve med og uten overhøyde. Ukompensert sideakselerasjon, j_w blir mindre ved etablering av overhøyde.</i>	<i>4</i>
<i>Figur 2-2 Blankett 7. Oppgave for togstørrelse, togvekt og bremses mv.</i>	<i>12</i>
<i>Figur 2-3 Bremskurve.</i>	<i>14</i>
<i>Figur 2-4 Blokkstrekning.</i>	<i>14</i>
<i>Figur 2-5 Hastighetsnedsettelse ved Åmot. Foto fra befaring på Bergensbanen.</i>	<i>15</i>
<i>Figur 2-6 ATC-bremsekurver.</i>	<i>16</i>
<i>Figur 2-7 Signal 68 Nedsatt kjørehastighet.</i>	<i>17</i>
<i>Figur 2-8 Signal 68B Økt kjørehastighet.</i>	<i>17</i>
<i>Figur 2-9 Signal 68C avvikende/nedsatt kjørehastighet.</i>	<i>17</i>
<i>Figur 2-10 Signal 68D Markeringsmerke.</i>	<i>17</i>
<i>Figur 2-11 Gult underskilt: Signal 68F Tilleggshastighet.</i>	<i>17</i>
<i>Figur 2-12 Blått underskilt: Signal 68G Hastighet for krengetog.</i>	<i>17</i>
<i>Figur 2-13 Signal 69A Midlertidig nedsatt hastighet.</i>	<i>17</i>
<i>Figur 2-14 Signal 69B Midlertidig kjørehastighet opphører.</i>	<i>17</i>
<i>Figur 2-15 Ansvarsfordeling definert ut fra sikkerhetsdirektivet og TSI OPE.</i>	<i>20</i>
<i>Figur 2-16 ERTMS nivå 1 [44].</i>	<i>24</i>
<i>Figur 2-17 ERTMS nivå 2 [44].</i>	<i>25</i>
<i>Figur 2-18 ERTMS nivå 3 [44].</i>	<i>25</i>
<i>Figur 2-19 Togvei</i>	<i>27</i>
<i>Figur 2-20 SvL plassert etter EoA.</i>	<i>27</i>
<i>Figur 2-21 Forskjellige plasseringer av SvL.</i>	<i>28</i>
<i>Figur 2-22 Førerpanel.</i>	<i>29</i>
<i>Figur 2-23 Bremskurve med reaksjonstider [83].</i>	<i>30</i>
<i>Figur 2-24 Grenser for når warning, SBI og EBI inntreffer. Y-aksen viser hastighetsoverskridelse, X-aksen viser tillatt hastighet.</i>	<i>31</i>
<i>Figur 2-25 Togfølgetid.</i>	<i>31</i>
<i>Figur 3-1 Sammenheng mellom beregninger og resultat.</i>	<i>34</i>
<i>Figur 4-1 Sammenligning av bremskurver med variabel og konstant akselerasjon over 1000 og 1500 meter.</i>	<i>37</i>
<i>Figur 4-2 Sammenheng mellom retardasjon og hastighetsnedsettelse basert på GPS-data. Funksjon fra lineær regresjon er tegnet inn.</i>	<i>39</i>
<i>Figur 5-1 Utdrag av de 40 første kilometerne av det 139 km lange hastighetsprofilen for strekningen Hønefoss-Ål. Hastighetsprofilen finnes i sin helhet i vedlegg I.</i>	<i>45</i>

<i>Figur 5-2 Sammenligning av bremsekurver i dag og med ERTMS. Eksempel er hentet fra km 208. Rød ETCS-bremsekurve endres i figurene, og varierer med om driftsbrems er inkludert og om målpunkt flyttes.</i>	47
<i>Figur 5-3 Til venstre sees utdrag av hastighetsprofilen som viser kurven hvor overhøyden foreslås endret. Til høyre visualiseres beregningene av dimensjonerende hastighet i kurven. En økning i overhøyde fra 140 til 150 mm fører til at kurven kan gjennomkjøres i 85,0 i stedet for 83,6 km/t.....</i>	48
<i>Figur 5-4 Mindre konservative avrundingsregler fører til høyere skiltet hastighet.</i>	49
<i>Figur 5-5 Potensiale for høyere skiltet hastighet.</i>	50
<i>Figur 5-6 Skiltet hastighet er høyere enn dimensjonerende hastighet. Ny skiltet hastighet basert på mest begrensende sirkelkurve er tegnet inn.....</i>	51
<i>Figur 5-7 Overgangskurve av type 1.</i>	52
<i>Figur 5-8 Overgangskurve av type 2.</i>	52
<i>Figur 5-9 Ny skiltet hastighet dersom markeringsmerket hadde stått før første overgangskurve.</i>	53
<i>Figur 5-10 Hastighet kan økes til over 130 km/t fordi begrensninger med DATC bortfaller med ERTMS.....</i>	55
<i>Figur 6-1 Krav til å kunne stoppe mellom forsignal og hovedsignal er begrensende for hastighet [82].....</i>	58
<i>Figur 6-2 Lyssignaler fjernes, og krav til å kunne stoppe på avstanden mellom forsignal og hovedsignal bortfaller [82].....</i>	58
<i>Figur 6-3 Kurve i tunnel gir begrenset sikt, og gjør at skilt for hastighetsøkning må flyttes for å tilfredsstille siktkrav.</i>	59
<i>Figur 6-4 Begrensning i avstand mellom hastighetsnedsettelse.</i>	61
<i>Figur 6-5 Bremsekurver ved flytting av nødbremsekurvens målpunkt.</i>	63
<i>Figur 6-6 Valg av nasjonal verdi for om driftsbrems tillates i hastighetsovervåkingen påvirker muligheten for å flytte målpunkt for nødbremsekurve inn i horisontalkurven.</i>	67

Tabelliste

<i>Tabell 2-1 Komfortkrav i kurver på eksisterende baner.</i>	<i>6</i>
<i>Tabell 2-2 Sammenligning av komfortkrav i Teknisk regelverk og NS-EN 13803 på eksisterende baner for plussmateriell.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabell 2-3 Oppsummering av faktorer som påvirker tillatt kjørehastighet.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabell 2-4 Tilsetningstider for bremsetyper.</i>	<i>13</i>
<i>Tabell 2-5 Oversikt over delsystemer og tilhørende TSler [66] [67].</i>	<i>21</i>
<i>Tabell 2-6 Kjøretid ved forskjellige plasseringer av SvL.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabell 2-7 Prioritering av informasjon i førerpanel.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabell 4-1 Tidsavvik mellom bremsekurver med variabel og konstant akselerasjon over 1000 og 1500 meter. .</i>	<i>37</i>
<i>Tabell 5-1 Beregningene viser at kjøretid ved hastighetsnedsettelse på strekningen Hønefoss-Ål øker ved innføring av ERTMS sammenlignet med dagens situasjon. Tabellen viser kjøretidsøkning som sum og gjennomsnitt for alle hastighetsnedsettelsene.</i>	<i>46</i>
<i>Tabell 5-2 Gjennomsnittsverdier for bremsekurver ved alle hastighetsnedsettelse på strekningen Hønefoss-Ål.</i>	<i>46</i>
<i>Tabell 5-3 Tilfeller der markeringsmerket står for tidlig grunnet siktkrav.</i>	<i>54</i>
<i>Tabell 5-4 Tilfeller der økt hastighet-skiltet står for sent grunnet siktkrav.</i>	<i>54</i>
<i>Tabell 5-5 Oversikt over antall hastighets- og vertikalkurvaturendringer per blokkstrekning mellom Hønefoss og Ål. Tall i rødt overskrider maks antall ERTMS kan håndtere.</i>	<i>56</i>

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Jernbanen i Norge har behov for en fornyelse av signalanlegget. Omtrent 80 prosent av jernbanenettet benytter teknologi som ble brukt for første gang i Norge i 1925, og styringssystemene stammer fra 1950-1960-årene. Systemene er oppgradert og tidvis vedlikeholdt gjennom årene, men grunnlaget er det samme gamle [1]. Det finnes 336 anlegg og mer enn 15 ulike varianter, forskjellige typer feil gir ofte automatisk rødt lys, og som følge av høy alder er kompetanse og deler i ferd med å bli mangelvare. Det er derfor stort behov for fornyelse av signalsystemet, og dette er drivkraften bak ERTMS-prosjektet [2].

ERTMS, slik det blir bygget ut i Norge, er et signal- og hastighetsovervåkningssystem hvor informasjon om kjøretillatelse og hastighet ikke lenger står langs sporet, men sendes trådløst til et panel i togets førerrom. At ERTMS er valgt som signalsystem framfor noe annet er på grunn av kravet om samtrafikkevne i Europa.

ERTMS skal også være det mest kostnadseffektive alternativet [3].

ERTMS skal blant annet gi økt punktlighet på grunn av færre feil og automatisk håndtering av avvik. Det skal bli økt sikkerhet gjennom tekniske barrierer samt kontinuerlig overvåkning av togene. Det skal også over tid bli større kapasitet med automatisk kjøring og dynamisk avstand mellom togene [2]. Togfølgetiden skal for toglengder på 300 meter kunne være 90 sekunder. I byområder med dobbeltspor vil det derfor kunne forventes flere avganger på grunn av redusert togfølgetid. Det vil bli mulig med mer effektive og billigere planovergangsløsninger, og køene vil kunne bevege seg smidigere på grunn av oppdatert signalering hos lokomotivfører. Disse forbedringene skal gjøre at ERTMS bidrar til økt kapasitet både for person- og godstrafikk [4].

Det er med andre ord mange fordeler med ERTMS som har kommet godt fram. Hvordan hastighet og kapasitet på eksisterende baner påvirkes av innføringen er mindre belyst. Dersom innføringen av ERTMS medfører økt reisetid er det en betydelig ulempe, og denne oppgaven søker å belyse hvordan hastighet og kapasitet påvirkes av innføringen.

1.2 Formål

Oppgavens formål er å kartlegge hvordan innføring av ERTMS virker inn på hastighet og kapasitet i jernbanen, samt komme med forslag til optimalisering av hastighetsprofilen for ERTMS på en konkret banestrekning. Herunder ligger det å få mest mulig ut av fordelene og begrense ulempene ved ERTMS.

1.3 Problemstilling

1.3.1 Problemstilling

I hvilken grad påvirker innføring av ERTMS hastighet og kapasitet i jernbanen, og hvordan kan kapasiteten forbedres?

1.3.2 Deloppgaver

- Se på endringer i regelverk og spesifikasjoner med ERTMS sammenlignet med dagens situasjon.
- Se på endringer som følger med innføringen av ERTMS i Norge.
- Lage et hastighetsprofil for en konkret banestrekning, og se på hvordan innføring av ERTMS påvirker reisetiden.
- Foreslå endringer og tiltak som i størst mulig grad sikrer god kapasitet for togtrafikk i Norge.

1.4 Avgrensninger

På grunn av oppgavens omfang, samt av praktiske hensyn, har det vært nødvendig å gjøre noen avgrensninger:

- Det antas at dagens tog utrustes med ERTMS, og at det er disse som brukes når ERTMS innføres på valgt banestrekning.
- I oppgaven ses det på en eksisterende, eldre banestrekning. Flere av de foreslåtte tiltakene vil ikke være relevante for nybygg.
- Det fokuseres på fordeler og ulemper knyttet til egenskapene ERTMS har, både endringer langs sporet og det som følger med regelverket, men også banetekniske parametere og kapasitetsendrende tiltak hvor det gjøres endringer i sikringsanlegg.
- Det fokuseres ikke på kjente kapasitetstiltak som for eksempel samtidig innkjør på stasjoner, gjeninnføring av krengetogshastighet og utretting av kurver, utover det som påvirkes av ERTMS.
- Det blir kun sett på pluss-hastighet, og med det følger at det hovedsakelig er fokusert på persontog. Videre ses det kun på normal kjøring, og for eksempel ikke det som er definert som saktekjøring.
- De foreslåtte tiltakenes effekt på *hele* hastighetsprofilet blir kun unntaksvis analysert. Enkelteksempler blir hovedsakelig analysert for å gi forståelse av tiltakets effekt.
- Det vurderes kun ERTMS nivå 2 ettersom det er dette nivået som skal innføres i Norge.

2 Teori

For å kunne si noe om hvordan det nye signal- og hastighetsovervåkningssystemet ERTMS virker inn på hastighet og kapasitet i jernbanen sammenlignet med dagens system er det nødvendig å se nærmere på begge systemene. Det er også viktig å se på hva som er hastighetsbegrensende faktorer i jernbanen, samt hvordan bremsesystemet i togene virker. ERTMS skal gi full interoperabilitet i det europeiske jernbanenettet, og med dette følger et felleseuropeisk regelverk som gir muligheter og begrensninger det også må ses på.

2.1 Hastighetsbegrensende faktorer

Et hastighetsprofil er en grafisk framstilling av en strekning, og beskriver hva som til enhver tid er tillatt kjørehastighet. Ulike deler av en strekning vil ha ulik tillatt hastighet, og ved å plote dimensjonerende hastighet mot korresponderende strekning i et diagram, fås et hastighetsprofil. I jernbanefaget er det mange ulike faktorer som begrenser maksimal tillatt hastighet, og disse kan i hovedsak deles inn i faktorer knyttet til komfort, sikkerhet og dynamikk.

2.1.1 Komfort

Tog skal være et enkelt og komfortabelt framkomstmiddel [5]. Passasjerene kan gå til en varmdrikkautomat for å hente seg en kopp kaffe, og sette seg tilbake på plassen sin for å nyte reisen. Dette innebærer at det skal være trygt å gå i midtgangen, at kaffekoppen ikke skal skvulpe over når den står på et bord, og at togsykeposer ikke skal være nødvendig.

2.1.1.1 Sirkelkurve

Komfortkravene i en sirkelkurve er knyttet til passasjerenes sideveis kraftpåvirkning. I fysikken vil et legeme som beveger seg i en sirkelkurve bli påvirket av sentripetalakselerasjon.

Denne akselerasjonen virker inn mot sirkelens sentrum og har ved radius R og konstant hastighet v , verdien $a = \frac{v^2}{R}$.

Når toget kjører i en kurve vil en passasjer føle en kraft som er rettet utover. I dagligtale kalles denne utovervirkende kraften sentrifugalkraft, men den regnes i fysikken som en fiktivkraft [6]. I jernbanefaget brukes begrepet sideakselerasjon om dette fenomenet, og kraftretningen er utover. Med konstant hastighet v (m/s) og radius R (m), er sideakselerasjonen (m/s^2) gitt som:

$$j = \frac{v^2}{R}$$

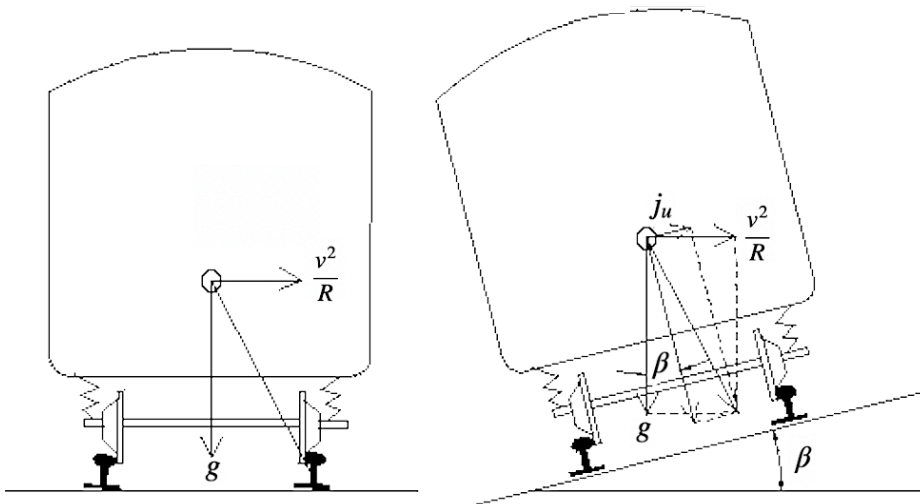
I kurver er høyden til ytterste skinnestreng økt i forhold til innerste, dette kalles overhøyde.

Overhøyden gjør at en komponent av sideakselerasjonen blir ført ned i bakken slik at sideakselerasjonen i vogna føles mindre. Ved økt overhøyde vil en større komponent av sideakselerasjonen føres ned i grunnen, inntil en likevektssituasjon oppnås hvor ingen sidekrefter oppstår. Ved å ta hensyn til det endrede kraftbildet fås en ny parameter, ukompensert sideakselerasjon (j_u). Denne virker, som sideakselerasjonen, utover. Der hvor sideakselerasjonen virker i plan med sirkelkurven, virker ukompensert sideakselerasjon i plan med vogn gulvet som i en kurve er skrått som følger av overhøyden. Ukompensert sideakselerasjon er definert slik ettersom gulvet er referansen i miljøet passasjerene befinner seg i.

Ukompensert sideakselerasjon har verdien:

$$j_u = \frac{v^2}{R} - g \cdot \frac{h}{s}$$

hvor g er tyngdens akselerasjon (m/s^2), h er overhøyde (mm) og s er sporvidde (mm).



Figur 2-1 Akselerasjoner på vogn i sirkelkurve med og uten overhøyde. Ukompensert sideakselerasjon, j_u , blir mindre ved etablering av overhøyde.

Dersom j_u er lik null, vil det ikke oppstå sidekrefter i plan med vogn gulvet og toget kjører dermed med likevektshastighet i kurven. En annen måte å uttrykke ukompensert sideakselerasjon på, er å oppgi hvor mange millimeter overhøydeøkning som skal til for at den aktuelle hastigheten skal være likevektshastighet. Denne parameteren kalles manglende overhøyde (I) og har verdien [7]:

$$I = \frac{sv^2}{gR} - h$$

Grenseverdier for ukompensert sideakselerasjon ($j_{u,maks}$) og manglende overhøyde varierer med kurveradius, om banen er eksisterende eller nyprosjektet, og hvilken hastighetsklasse det rullende materiell er i [8].

Maksimal hastighet i kurve ut fra grenseverdien for ukompensert sideakselerasjon ($j_{u,maks}$) er gitt ved:

$$v_{maks} = \sqrt{R \cdot \left(\frac{gh}{s} + j_{u,maks} \right)}$$

2.1.1.2 Overgangskurve

I en overgangskurve skjer to endringer i sporgeometrien samtidig. Overhøyden bygges ved hjelp av en overhøyderampe opp til konstant overhøyde i sirkelkurven. Samtidig endres horisontalradiusen gradvis til sirkelkurvens radius. Fra en rettlinje til en sirkelkurve vil overgangskurven innebære en endring fra ingen ukompensert sideakselerasjon til konstant ukompensert sideakselerasjon i sirkelkurven.

2.1.1.2.1 Rampestigningshastighet

Når toget kjører i en overhøyderampe vil toget oppleve en rotasjon i lengderetningen om innerste sporstreng i det ytterste sporstreng stiger for å øke overhøyden. På grunn av komfortkrav kan ikke

denne endringen skje for raskt, og det settes krav til maksimal rampestigningshastighet, $\left(\frac{dh}{dt}\right)_{maks}$. Rampestigningshastigheten er gitt i mm overhøydeøkning per sekund. Kravet varierer om banen er eksisterende eller nybygget [9]. Høyeste tillatte hastighet ut fra krav om maksimal rampestigningshastighet er gitt ut fra: [10]

$$v_{maks} = \frac{L}{h} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)_{maks}$$

hvor L er overhøyderampens lengde.

2.1.1.2.2 Rykk

Rykk (ψ) er endring av ukompensert sideakselerasjon per tid, det vil si den deriverte av ukompensert sideakselerasjon. Raske endringer i sideakselerasjon vil gi omtrent samme opplevelse horisontalt som det å kjøre over en fartshump med bil gir vertikalt. Et annet begrep som brukes om rykk, er variasjon av manglende overhøyde og oppgis i millimeter endring av manglende overhøyde per sekund. Rykk oppgis som m/s^3 , og makshastighet ut fra rykk er gitt som:

$$v_{maks} = \frac{L}{j_u} \cdot \psi_{maks}$$

Ettersom ukompensert sideakselerasjon (j_u) er avhengig av hastigheten blir dette et problem hvor det må itereres fram en løsning. Makshastighet er gitt som: [10]

$$v_{n+1} = \sqrt{R \cdot \left(\frac{L \cdot \psi_{maks}}{v_n} + \frac{gh}{s}\right)}$$

2.1.1.3 Vertikalkurvatur

Raske endringer i vertikalkurvaturen kan gi en opplevelse av «sug i magen» ved at det fås en følelse av å lette over høybrekk og bli trykket ned i setet i lavbrekk på grunn av vertikalakselerasjon. Dette kan være ukomfortabelt, men vertikalkurver i jernbane har så store radier at dette ikke blir noe problem i lavbrekk så lenge radien er over 500m, som er minstekravet [11]. I høybrekk vil sentripetalakselerasjonen redusere tyngdeakselerasjonen, derfor finnes et krav om makshastighet over høybrekk. For eksisterende baner er dette kravet: [12]

$$v_{maks} = \frac{1}{3,6} \left(\frac{R}{20} - 25\right) \quad \text{for } R < 3125m$$

$$v_{maks} = \frac{1}{3,6} \left(\frac{R}{100} + 100\right) \quad \text{for } R > 3125m$$

2.1.1.4 Sporveksler

Sporveksler blir hardt belastet når tog kjører over, spesielt om de ligger i avvik fra primærspor slik at tog kan kjøre ut på sekundærspor. Det er derfor krav til makshastighet for gjennomkjøring av avvikspor [13]. Normalt er det ikke overhøyde i sporveksler, og maksimal hastighet i vekselen er da gitt som kjøring i en sirkelkurve uten overhøyde. Krav til maksimal ukompensert sideakselerasjon blir da dimensjonerende, men dette kravet settes som regel litt lavere fordi det i en normal sporveksel mangler overgangskurve, og på grunn av ekstra støt ved kjøring gjennom vekselen [14]. Sporsløyfer er en kombinasjon av to sporvekslere på et dobbeltspor som gjør det mulig for tog å skifte spor. Det er krav om at disse skal plasseres på rettlinje eller i kurver uten overhøyde [15].

2.1.1.5 Bakgrunn for komfortparametere gitt i Teknisk regelverk

Hensynet til komfort er dimensjonerende for hastighet i kurver. For sirkelkurver er dette ukompensert sideakselerasjon, og for overgangskurver er det rykk og rampestigningshastighet.

Tabell 2-1 gir en oppsummering av gjeldende regelverk knyttet til komfort i kurvatur på eksisterende baner.

Tabell 2-1 Komfortkrav i kurver på eksisterende baner.

	Konvensjonelt materiell	Plussmateriell
Manglende overhøyde	100 mm for $R < 290$ 130 mm for $290 \leq R \leq 600$ 150 mm for $R > 600$	130 mm for $R < 250$ (0,6R - 20) mm for $250 \leq R < 290$ 153 mm for $R \geq 290$
Rykk	80 mm/s	100 mm/s
Rampestigningshastighet	55 mm/s	69 mm/s

Jernbaneinfrastrukturforskriften gir krav til at jernbaneinfrastrukturen skal prosjekteres, bygges og testes i henhold til nasjonale og internasjonale standarder [16]. Det er ikke satt nærmere krav i forskriften til hvilken standard som skal benyttes. NS-EN 13803 er en europeisk standard som omhandler konstruksjonsparametere for justering av spor for sporvidder lik eller større enn den norske. Krav som følger av EU-regler (TSI INF) og nasjonale regler skal følges framfor denne standarden. Tabell 2-2 viser en sammenligning av grenseverdier i Teknisk regelverk og i NS-EN 13803. Som en følge av en kurverik jernbane i Norge, har det tradisjonelt vært ønskelig å ofre noe komfort for å kunne kjøre raskere. Dette kommer til uttrykk i grenseverdien for rykk, hvor verdien gitt i Teknisk regelverk er lik «exceptional limit» i NS-EN 13803. Grensen for manglende overhøyde var tidligere 160 mm for de største radiene, men ble senket til 153 mm slik at kravet samsvarer med det europeiske regelverket. NS-EN 13803 åpner for en høyere rampestigningshastighet dersom rykkverdien ikke samtidig er stor. Denne muligheten er ikke utnyttet i Teknisk regelverk.

Tabell 2-2 Sammenligning av komfortkrav i Teknisk regelverk og NS-EN 13803 på eksisterende baner for plussmateriell.

Dimensjonerende parametere for plussmateriell på eksisterende baner ($V \leq 200$ km/t og $I \leq 153$ mm)	Teknisk regelverk	NS-EN 13803	
		Normal limits	Exceptional limits
Manglende overhøyde (I)	130 mm for $R < 250$ (0,6R - 20) mm for $250 \leq R < 290$ 153 mm for $R \geq 290$	153 mm	
Rykk (dl/dt)	100 mm/s	55 mm/s	100 mm/s
Rampestigningshastighet (dh/dt)	69 mm/s	50 mm/s	70 mm/s 85 mm/s (dersom $dl/dt \leq 70$ mm/s)

Slik komfortkravene er satt er det kontroll med hvor stor andel av passasjerene som opplever at togets bevegelser er ubehagelige. På grunn av sidekreftene som oppstår i en kurve, vil vognkassen gjøre en rullende bevegelse som følge av mykheten i fjærene mellom vognkassen og understellet. I tillegg til denne rulling er variabler som ukompensert sideakselerasjon og rykk sentrale for komforten. Ulike land har utviklet forskjellige måter å måle komfort på, en anerkjent metode er bruk av P_{CT} -funksjonen. British Rail utviklet P_{CT} -funksjonen etter tester utført i 1949 og 1983-1984 for å kartlegge komfort ombord tog. Testpersoner ble kjørt gjennom ulike kurver med ulike hastigheter og tog, og ga fortløpende poeng etter hvordan de opplevde kurvene. På bakgrunn av omfattende testing ble P_{CT} -funksjonen utviklet for å kunne beregne empirisk hvor stor andel av passasjerene som ville føle ubehag ved gjennomkjøring av overgangskurver. Et funn som ble gjort var at kun kjøring opp overhøyeramper før sirkelkurver, og kjøring i overhøyeramper som øker overhøyden etter en sirkelkurve, ga utslag i ubehag hos passasjerene. Kjøring ned overhøyeramper ga ikke signifikante utslag i ubehag. En forklaring på dette kan være at passasjerer i en sirkelkurve forventer at kurven, og dermed sideakselerasjonen, snart skal opphøre. Når toget kjører ned overhøyerampen og sideakselerasjonen reduseres er dette forventet av passasjerene. På en rettstrekning har ikke passasjerene den samme forventningen til at sideakselerasjonen skal endres, og i tillegg er retningen ukjent. På samme måte vil kjøring inn i en overhøyerampe som øker overhøyden i stedet for å redusere den etter en sirkelkurve være ubehagelig, fordi det er en forventning om at sideakselerasjonen skal bli mindre, ikke større [17].

2.1.2 Sikkerhet

Sikkerhetskravene skal sørge for at sannsynligheten for alvorlige hendelser reduseres til et minimum. Sikkerhetskravene medfører hastighetsbegrensninger som reduserer risiko for avsporing til et minimum. Andre alvorlige hendelser som sammenstøt mellom tog og objekter på linja, for eksempel andre tog, ras og kjøretøy på planoverganger, skal også unngås.

2.1.2.1 Sirkelkurve

Oppfyllelse av komfortparameteren for sirkelkurve, maksimal ukompensert sideakselerasjon, medfører sikkerhet mot hastigheter som kan føre til sideforskyvning av sporet, avsporing og velt. Ses det på en forenklet momentbetraktning om ytterste sporstreng dannes et inntrykk av hvilke faktorer som påvirker før velt inntreffer, det vil si at moment $M > 0$:

$$M = \frac{v^2}{R} \cdot l - g \cdot \frac{s}{2} - gl \cdot \frac{h}{s} \geq 0$$

I tillegg til parameterne innført tidligere, finnes l i formelen. Denne parameteren er lengden fra hjulplanet opp til vognens tyngdepunkt, og vil variere avhengig av type rullende materiell.

I Teknisk regelverk er det gitt krav til maksimal horisontalkraft mellom hjul og skinne som følge av sentripetalakselerasjon i kurver, såkalte kvasistatiske krefter [18]. Disse kravene skal danne sikkerhet mot sideforskyvning av sporet, i tillegg til at unødvendig slitasje og degenerering av sporet skal unngås.

Ved for stor overhøyde vil langsomtgående godstog belaste nederste sporstreng for mye. For tog som kjører i en hastighet under likevektshastighet blir den manglende overhøyden negativ, dette kalles overskuddsoverhøyde. For å sikre at belastningen på nederste sporstreng ikke blir for stor, er det satt grenseverdier til overskuddsoverhøyde i hastighet for langsomtgående tog. Grenseverdiene kan være begrensende for overhøyden i en sirkelkurve og har ulik verdi om kurven har radius over eller under 600 m. Hastighet for langsomtgående tog er satt til 80 km/t [19].

Maksimal overhøyde, en parameter for å begrense belastningen på nederste sporstreng ved stillestående tog, er satt til 150 mm [19].

2.1.2.2 *Overgangskurve*

Komfortkravene knyttet til overgangskurver, rampestigningshastighet og rykk, vil også ivareta sikkerheten. Dette er fordi komfortkravene er strengere enn sikkerhetskravene. En parameter som derimot kan føre til avsporing før parameterne knyttet til komfort er nådd, er rampestigningen. Denne skiller seg fra rampestigningshastighet ved at den er uavhengig av togets hastighet, kun den faktiske rampestigningen, og vil bli dimensjonerende ved lave hastigheter. Når toget kjører ned en overhøyderampe med for stor rampestigning vil det være fare for avsporing. Ledende hjul i boggien blir avlastet fordi rampen representerer en vindskjevhet i sporet, og føringsegenskapene til hjulet blir svekket. Resultatet kan bli at ledende hjul klatrer på flensen. Dersom hjulet klatrer over skinnekanten, vil toget spore av [20]. Maksimal rampestigning er satt til 1:400 eller 2,5 promille [8].

2.1.2.3 *Kurvekombinasjoner uten overgangskurver*

En kombinasjon av to sirkelkurver, eller to sirkelkurver med rettlinje mellom, men uten overgangskurver, kan utløse krav til maksimal hastighet.

2.1.2.3.1 *Motsattrettede sirkelkurver uten mellomliggende rettlinje*

De enkelte sirkelkurvene og overgangskurvene hastighetsberegnes hver for seg. I tillegg kommer en formel til bruk som reduserer maksimal tillatt hastighet ved sirkelkurver med liten radius:

$$v = \frac{3}{3,6} \cdot \sqrt{\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}$$

2.1.2.3.2 *Motsattrettede sirkelkurver med mellomliggende rettlinje*

Som for motsattrettede sirkelkurver uten mellomliggende rettlinje, hastighetsberegnes sirkelkurvene og overgangskurvene hver for seg. Makshastigheten begrenses med følgende formel, hvor M er lengden av den mellomliggende rettlinjen:

$$v = \frac{10}{3,6} \cdot M$$

2.1.2.4 *Bremselengder før signal*

Tog bruker lang tid på å stoppe. Dette er på grunn av stor masse i bevegelse og begrenset adhesjon mot skinnen. Tog kjører ikke på sikt, og er avhengig av et signalsystem som sørger for at det er trygt å kjøre. For at tog skal klare å stoppe før et rødt hovedsignal benyttes forsignaler for å varsle om hva hovedsignal viser. Avstanden fra forsignal til hovedsignal er avhengig av bremselengden og dermed strekningens høyeste tillatte hastighet [21].

2.1.2.5 *Siktkrav fra planovergang*

Planovergangssignal med tilhørende forsignal brukes for å varsle om planoverganger med bom er sikret mot kryssing av veitrafikk [22]. Siktkrav til signal og forsignal gis i sekunder for raskeste tog. På strekninger hvor det er vanskelig å oppnå tilstrekkelig sikt kan det være at siktkrav blir dimensjonerende for hastigheten. For usikrede planoverganger er det krav om sikt fra kjøretøy til tog slik at kjøretøy kan rekke å komme seg over sporet. Siktavstanden avhenger av toghastighet og type kjøretøy som benytter overgangen, ettersom en personbil kommer seg raskere over planovergangen enn et vogntog [23]. Der det er dårlig sikt kan derfor toghastigheten måtte bli nedsatt for å oppnå siktkravet. Det er ikke tillatt med planoverganger på dobbeltsporede strekninger og der skiltet hastighet er over 160 km/t.

2.1.2.6 *Permanent nedsatt hastighet*

Det finnes strekninger som permanent har nedsatt hastighet fordi de har høyere sannsynlighet for sammenstøt eller avsporing. Dette kan være på grunn av rasfare. Ved å kjøre sakte til det er klart at strekningen er fri for ras, reduseres konsekvensen ved et eventuelt sammenstøt. På denne måten reduseres risikoen for ulykker på rasutsatte steder, men saktekjøringen går på bekostning av strekningens kapasitet [24].

2.1.3 *Dynamikk*

Dynamiske krefter er krefter som oppstår når noe er i bevegelse, til forskjell fra statiske krefter som kommer fra laster som er i ro [25]. En avart av dynamiske laster er i jernbanefaget kvasidynamiske laster som i all hovedsak innebærer sideakselerasjon som er behandlet tidligere under komfort og sikkerhet.

2.1.3.1 *Kontaktledningsanlegg*

Kontaktledningsanlegg blir utsatt for dynamiske krefter fra strømvaktakeren som presser opp og løper langs kontaktledningen. De dynamiske kreftene øker med hastigheten. Samvirke mellom strømvaktakeren og kontaktledningen bestemmer hvor godt energi overføres til toget, samtidig som det er viktig å sikre minst mulig vedlikehold samt ivareta sikkerhet mot sammenbrudd. Strømvaktakeren berører kontaktledningen gjennom et slepekull som presses opp. For å unngå ujevn slitasje på slepestykket går kontaktledningen i sikk-sakk.

Strømvaktakerens ferd langs kontaktledningen skaper bølger som gir problemer dersom toget nærmer seg hastigheten til disse bølgene. Bølgehastigheten er i hovedsak avhengig av kontakttrådens vekt og strekk [26]. I Norge bygges i hovedsak to typer kontaktledningsanlegg, system 20 og system 25, men det finnes eldre systemer som fortsatt er i bruk. Tabell 54 er en type kontaktledningsanlegg som ikke bygges lengre, men som er i bruk i stor utstrekning blant annet på Bergensbanen. Hovedforskjellen mellom system 20 og 25 er at system 20 kan klare en maksimal hastighet på 200 km/t, mens system 25 klarer opptil 250 km/t. Det finnes varianter av disse systemene til spesiell bruk, for eksempel i tunneler. Disse har lavere maksimal hastighet. Det er avgjørende for framføringshastigheten hvor mange strømvaktakere det kjøres med, og avstanden mellom disse. Med system 20A er maksimal hastighet 200 km/t kun dersom det benyttes én strømvaktaker, eller dersom det benyttes to strømvaktakere med mer enn 200 m mellom. Er avstanden mellom to strømvaktakere mindre enn 200 m er maksimal hastighet 160 km/t, en reduksjon på 20% [27]. Et kontaktledningsanlegg med tabell 54 tillater normalt en maksimal hastighet på 80 km/t. Dersom det kjøres med to strømvaktakere, synker tillatt hastighet til 70 km/t. Ved passering av disse grensene skjer ingenting dramatisk. Så lenge hastigheten til toget er under bølgehastigheten kan det derfor kjøres raskere enn 80 km/t, men da øker slitasjen. Et tabell 54-anlegg kan også oppgraderes, blant annet ved å øke strekket i kontaktledningen. Ved å gjøre oppgraderinger, samt å godta en høyere slitasje kan det kjøres i 130 km/t på et tabell 54-anlegg [28]. Refleksjon av bølger forårsaket av kontaktledningsanlegget, og jevnheten i elastisiteten til kontaktledningen er andre faktorer som påvirker dynamikken.

I Norge benyttes i dag strømvaktakere med bredde 1800 mm [29]. Med nye europeiske krav endres denne bredden til to standardbredder: 1600 mm eller 1950 mm. Blant annet fordi det er krevende å måtte endre bredden på sikk-sakken til kontaktledningen i hele Norge, vil en bredere strømvaktaker enn i dag være enklere å benytte enn en smalere [30].

2.1.3.2 Vertikal dynamisk hjullast

Hjulets ferd langs skinnen skaper krefter vertikalt mot sporet utover de statiske kreftene. Dette skjer fordi masse i bevegelse alltid vil motsette seg endring [31]. Sporet vil til stadighet prøve å endre retningen til det rullende materiell, og på denne måten oppstår vertikale dynamiske krefter.

Utmatting og degenerering av sporet skjer raskere med økende belastning. Det settes krav til maksimum vertikal dynamisk hjulkraft, og kravet varierer med hastighet og aksellast [18].

Overbygningsklasser deler ulike overbygningstyper i grupper etter styrke ut fra skinneprofil og svilleavstand. Ut fra hensyn til maksimum vertikal dynamisk hjulkraft, overbygningsklasse, nominell aksellast og type rullende materiell, finnes det grenser for tillatt hastighet [32].

2.1.3.3 Sporfeil

På grunn av ujevnheter i sporet oppstår dynamiske impuls- og vibrasjonskrefter. Disse kreftene øker sterkt med økende hastighet. Ujevnheter, og dermed de dynamiske kreftene, kan skyldes ujevn elastisitet i ballasten, ujevnheter i skinnehodets overflate (bølger og rifler), hjulslag, og elastiske egenskaper hos mellomleggsplaten mellom skinne og sville [33].

Sporfeil vil over tid alltid oppstå, derfor må sporets geometri justeres med jevne mellomrom. Denne justeringen innebærer at hver skinnes beliggenhet i ballasten korrigeres hver for seg og i forhold til hverandre. Dette for å sikre best mulig geometri og dermed god kvalitet på sporet. Spor av høy kvalitet gir minst belastning mellom hjul og skinne, og best komfort for passasjerer. I tillegg til sporjustering, er ballastrensing en operasjon som må gjennomføres med jevne mellomrom fordi ballasten gradvis vil knuses ned som følge av belastningen. Ballasten blir da rensed for finstoff og andre forurensninger før den blir ført tilbake til overbygningen. Sporjustering og ballastrensing fører til at ballasten blir pakket løsere enn den var før justeringen, derfor må ballasten konsolideres før full hastighet kan benyttes. Etter 100 000 bruttotonn har passert, anses sporet som helt stabilisert [34]. Dette tilsvarer passering av 485 persontog av type NSB 74/75 (Flirttog) [35]. Med 24 togpasseringer i døgnet gir dette 20 døgn før sporet er helt stabilisert. I denne perioden må tog kjøre med redusert hastighet, men det kan kjøres med full strekningshastighet etter passering av 50 000 bruttotonn, forutsatt normale temperaturforhold. Bruk av sporstabilisator eller ballastkomprimerer er tiltak som kan brukes for å øke konsolideringshastigheten slik at saktekjøringsperioden kan reduseres eller unngås [34].

2.1.4 Oppsummering av påvirkningsfaktorer

Tabell 2-3 Oppsummering av faktorer som påvirker tillatt kjørehastighet.

	Parameter	Banelement
Komfort	Ukompensert sideakselerasjon	Sirkelkurve
	Rampestigningshastighet	Overgangskurve
	Rykk	Overgangskurve
	Vertikalakselerasjon	Lav- og høybrekk
	Hastighet i sporveksel	Sporveksel og sporsløyfer
Sikkerhet	Ukompensert sideakselerasjon	Sirkelkurve
	Rampestigning	Overgangskurve
	Hastighet i krapp kurvatur uten overgangskurver	Kurvekombinasjoner
	Bremselengde	Alle
	Hastighet pga sikt til tog	Før planovergang
	Hastighet pga sikt fra tog	I rasutsatte områder
Dynamikk	Hastighet og antall strømvaktakere	Kontaktledningsanlegg
	Vertikal dynamisk hjullast	Alle
	Sporfeil	Alle

2.1.5 Hastighetsklasser

I Norge finnes det i dag tre hastighetsklasser som betegner hvilken makshastighet som tillates for ulike tog. Ut fra hastighetsklasse og kurveradius bestemmes hvor stor manglende overhøyde som tillates. Grunnhastighet gjelder for alle tog, pluss hastighet gjelder for moderne passasjertog, og krengetogshastighet gjelder for krengetog. I praksis gjelder grunnhastigheten for godstog, og pluss hastigheter for persontog. For persontog er det rullvinkelkoeffisienten som i hovedsak avgjør hastighetsklassen. Denne koeffisienten sier noe om hvor mye vognkassen lener seg over i kurver, altså stivheten til fjærene. Dersom vognkassen lener seg mye utover i kurver vil den ukompenserte sideakselerasjonen som passasjerer opplever i vognen øke [36]. For godstog er det boggitypen som avgjør hastighetsklassen [32]. Boggier som tillater pluss hastighet er uvanlig for godstog, og ettersom hele toget må ha boggier som tillater pluss hastighet for å kunne kjøre i pluss hastighet er resultatet at godstog kjører med grunnhastighet i Norge. Passasjertog som kjører med krenkning aktivert kan kjøre med krengetogshastighet, og da tillates større ukompensert sideakselerasjon fordi krenkning vil kompensere for den manglende overhøyden. Krengetogshastighet benyttes ikke i Norge i dag [37].

ERTMS definerer togkategorier som i praksis er det samme som hastighetsklasser. Det finnes 18 togkategorier som defineres ut fra bremsegruppe og tillatt manglende overhøyde, og påvirker høyeste tillatte hastighet for en togkategori på en strekning. Kurveradius er ikke begrensende for hvor stor manglende overhøyde som tillates, slik det er med dagens tekniske regelverk. Det finnes tre togkategorier for passasjertog, sju for krengetog og åtte for godstog. Ved å fordele dagens tog på flere togkategorier kan togene kjøre i flere ulike hastigheter enn de to hastighetsklassene som benyttes i dag [38].

2.2 Bremsler

For å kunne bremse i tide for stoppsignal er det nødvendig å kjenne togets bremseevne. Med dagens signalsystem er det krav til at et tog skal kunne stoppe på avstanden mellom forsignal og hovedsignal. På de fleste strekninger er denne avstanden 800 meter. For strekninger med høye hastigheter er denne avstanden minst 1200 meter opptil 160 km/t og minst 1500 meter over 160 km/t [39]. Når bremseevne og avstand mellom forsignal og hovedsignal er kjent vil tillatt hastighet for toget kunne fastsettes med hensyn til fastlagte sikkerhetsmarginer.

Ettersom det er forsignaler og stoppsignaler langs hele toglinjen, og det ikke skal kunne forventes at lokomotivfører vet når alle signalene kommer, betyr dette at et tog til enhver tid må kunne stoppe på strekningens gjeldende avstand mellom forsignal og hovedsignal [40]. Det kan også være satt ut manuelle signaler langs linjer, for eksempel rødt flagg, som betyr at lokomotivfører skal stoppe hurtigst mulig. Rødt flagg skal vises minst 800 meter før farepunktet [41]. Det å holde riktig hastighet i forhold til bremseevne er derfor viktig selv om lokomotivfører hadde visst hvor alle forsignaler og hovedsignaler står.

I jernbanen er det vanlig å benytte bremseprosent for å angi togets bremseevne. Bremseprosent forklares på en forenklet måte som bremset vekt dividert med togets bruttovekt multiplisert med 100. Bremset vekt er et tallmessig uttrykk for summen av bremseegenskapene hos lokomotivet og de vogner som er utrustet med bremsler. Bremseprosent angir med andre ord togets bremseevne i forhold til vekt, og er en «kunstig» størrelse som kan være på over 100%. Ved å se på fall og bremseprosent kan et togs tillatte maksimale hastighet, dersom ikke annet begrenser hastigheten, fastsettes ved hjelp av bremsetabeller som skal være i lokomotivet. I Norge brukes fire forskjellige bremsetabeller, som velges avhengig av bremsegruppe toget kjøres med samt maksimal tillatt hastighet på aktuell strekning. Som følge av bremseevne vil flere tog, både godstog og passasjertog, på strekninger med høy hastighet ikke kunne kjøre i maksimalt tillatt skiltet hastighet.

Blankett 7, figur 2-2, viser utregnet bremseprosent med tilhørende makshastigheter på befaringsstur på Bergensbanen. Hastighetene er hentet fra bremsetabell I og III, vedlegg F. Bremseprosent og bremsetabellene legger til grunn at skinnene er tørre.

Vogner	Ant. aksler	B. vekt	b. vekt	Bremse Prosent: $\frac{100 \times b}{B}$				
Lok	36	376	600	149%				
Sum	4	96	104					
	40	472	704					
Tillatt hastighet som følge av vognenes bremsler og hastighetsmerking (km/h):				160 km/t				
Tillatt hastighet (km/h) som følge av togets bremseprosent og fall på strekningen (fylles ut av fører):								
Bremse- tabell I	$\frac{0}{100}$:	0-8	9-14	15	16-20	21-24		
	Km/h:	125	120	115	110	105		
Bremse- tabell III	$\frac{0}{100}$:	0-1	2-6	7-12	13-16	17-22		
	Km/h:	160	155	150	145	140		
Bremse- tabell IV	$\frac{0}{100}$:							
	Km/h:							
Antall skivebremsede aksler (D) på vogner:				36				
Antall vogner med virksom magnetskinnebrems (MG):				4				
Kan toget fremføres med tilleggshastighet (sett kryss):				JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEI: <input type="checkbox"/>				
Toget kjøres i bremsegruppe (sett kryss):				R: <input checked="" type="checkbox"/> P: <input type="checkbox"/>				
Toglengde (meter): 251m		Togets R aksler: 40		Togets P aksler: —				

Figur 2-2 Blankett 7. Oppgave for togstørrelse, togvekt og bremsler mv.

G-P-R-kran, eller bremsegruppetilleren har tre ulike stillinger som regulerer bremsenes tilsetningstid og løsetid. Tilsetningstid er tiden det tar fra bremsene aktiveres til bremseklossene gir effekt. Løsetid er tiden det tar før bremsene ikke er aktive lenger. G innebærer en noe lengre tilsetningstid for lokomotivets bremsesammenlignet med P-stilling. Lengre tilsetningstid gir jevnere bremsing i hele toget. Dette gjelder særlig for lange godstog. Stilling R benyttes bare i persontog. Ved fullbremsing, når hovedledningstrykket senkes med 1,5 bar, skal tidene være innenfor følgende intervaller:

Tabell 2-4 Tilsetningstider for bremsetyper.

Bremsetype	Tid i sekunder	
	Tilsetning	Løsing
R-bremse	3-10	10-20
P-bremse	3-10	15-20
G-bremse	18-30	40-60

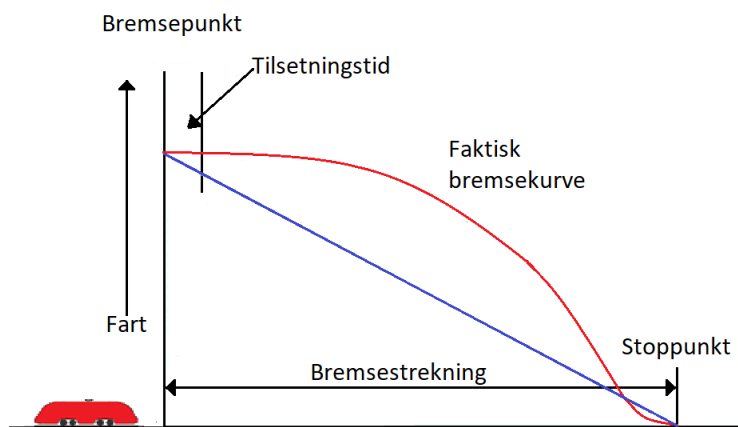
Togets hovedbremse er et automatisk virkende bremsesystem for hele toget, og er basert på trykkluft som distribueres til hele toget gjennom en hovedledning med 5 bar trykk. Trykkluften lades ved hjelp av en kompressor i lokomotivet. Kompressoren ettermater luft etter nedbremsing, og sørger for at trykket holdes konstant selv om det er små lekkasjer i bremsesystemet. Lokomotivføreren kan ved å sette førerbremseventilen i forskjellige stillinger senke trykket i hovedledningen, og luften vil ved hjelp av hjelpeluftbeholdere og styreventiler tilsette bremseklossene. Blant førerbremseventilens flere stillinger er fullbrems og nødbremse. Ved nødbremse tømmes lufttrykket i hovedledningen fullstendig. Dette er ikke en kraftigere bremsing enn fullbrems, men tilsetningen er raskere. Ved nødbremsing vil ikke ettermating av luft skje. Det finnes også en egen nødbremseventil som tømmer hovedledningen for luft, og denne gir en noe raskere bremsetilsetning enn nødbremsen på førerbremseventilen. At togets hovedbremse kalles automatisk skyldes at et raskt trykkfall eller brudd i hovedledningen automatisk vil føre til en like kraftig oppbremsing som en nødbremse. Vedlegg D viser figur av togets bremsesystem.

I tillegg til togets hovedbremse har lokomotivet en direktebremse og en elektrisk motstandsbremse. Lokomotivets direktebremse virker uavhengig av togets hovedbremse. Direktebremsen tilsettes ved hjelp av en separat bremsepak, direktebremseventilen, og virker direkte på lokomotivets ordinære bremses. Lokomotivets direktebremse brukes hovedsakelig ved fremføring av lokomotivet alene, men kan gi økt bremseeffekt i en nødsituasjon der det for eksempel er redusert bremseeffekt eller bremsevikt i deler av toget. Direktebremsen har ikke funksjonelt glidevern, så hjulene kan låse seg. Den elektriske motstandsbremsen (elektrodynamisk/ED-bremse) virker på drivmotoren til lokomotivet, og brukes for å regulere hastigheten. Motstandsbremsen er ingen stoppbremse, og den fungerer bare på lokomotivet [42].

2.2.1.1 Bremsekurver

En bremsekurve er en grafisk framstilling av togets hastighet med hensyn på strekning som følge av en nedbremsing. Dersom bremsekraften til et tog er kjent, kan bremsekurve og bremsestrekning beregnes ut fra start- og slutthastighet. Det kan regnes ut bremsekurver for både driftsbremse og nødbremse. Bremsestrekningen starter når føreren aktiverer bremsene, og deretter kommer det en tilsetningstid før hastigheten synker. Med en konstant bremsekraft vil hastigheten synke raskere når hastigheten går ned. Dette fordi toget har mindre energi som må stoppes. Hvis lokomotivføreren

holder konstant bremskraft til full stopp vil bremskurven bli helt vertikal mot slutten. Dette vil føre til en ukomfortabel bråstopp. Ved en normal oppbremsing vil det derfor være vanlig å slippe opp bremsen for å få en mykere stopp slik bremskurven i figur 2-3 viser.



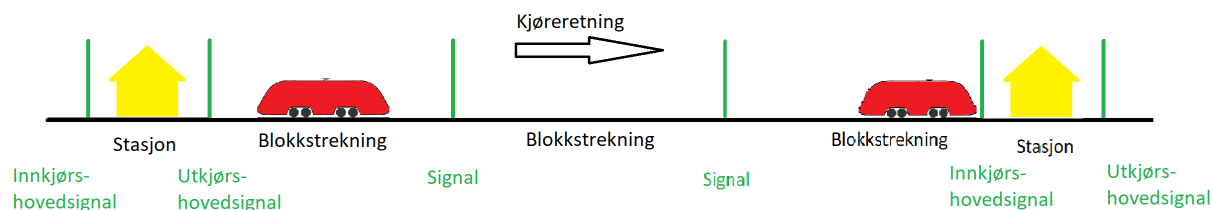
Figur 2-3 Bremskurve.

2.3 Jernbanesystemet i dag

2.3.1 Signalsystem

For å beskrive et signalsystem er det hensiktsmessig å starte med å forklare et par begreper. Linjen mellom to stasjoner kan deles opp i én eller flere blokkstrekninger. I hver blokk kan det til enhver tid bare finnes seg ett tog av gangen. Dette er en sikkerhet mot at etterfølgende tog ikke skal kjøre inn i et forankjørende tog, og at to tog ikke skal kunne møtes på samme spor.

Togvei er en definert "kjøreløype" gjennom spor og sporveksler.



Figur 2-4 Blokkstrekning.

Togene kjøres av en lokomotivfører som i dag får informasjon fra lyssignaler og faste signaler langs sporet. De faste signalene, skiltene, varsler om forhold som ikke endrer seg, slik som kjørehastighet, stigninger og fall, samt steder for å gi fløytesignal. Lyssignalene varsler om forhold som endrer seg. Det finnes mange typer lyssignaler, og her beskrives hovedsignal, blokksignal, og forsignal for å gi et innblikk i bruken av lyssignal. Hovedsignalet gir lokfører beskjed om toget kan kjøre forbi signalet eller ikke, og deles inn i innkjørshovedsignal og utkjørshovedsignal. Innkjørshovedsignal skal plasseres for å danne stasjonsgrense og vise signal for kjøring fra en blokkstrekning til en stasjon, og utkjørshovedsignal skal plasseres for å vise signal for kjøring fra en stasjon til en blokkstrekning. Hovedsignal skal også plasseres for å danne begynnelsespunkt og sluttspunkt for en togvei. Blokksignalet gir lokfører beskjed om toget kan kjøre inn i neste blokk der toget kjører fra en blokkstrekning til en annen.

Fordi det tar lang tid å bremse et tog, bortimot en kilometer for et godstog i normal drift, må lokomotivfører få et forvarsel om neste hovedsignals eller blokksignals signalbilde for å ha mulighet

til å kunne stanse. Til dette benyttes et forsignal som står i tilstrekkelig avstand til hovedsignal eller blokksignal. Tilstrekkelig avstand avhenger av fall og strekningens høyeste tillate hastighet, og er vanligvis minst 800 meter [21].

2.3.2 Siktkrav til lyssignal og skilt

Siktavstand til faste signaler og lyssignaler er en begrensning i dagens signalsystem, og det er forskjellige siktkrav til de ulike signalene. Siktavstand avhenger av strekningens høyeste tillate kjørehastighet, og for hovedsignal og forsignal også hvorvidt sikten er brutt eller ubrutt [21]. Sikten til skilt skal være slik at det er 5 sekunders ubrutt sikt [43]. Eksempelvis må lokomotivfører i 60 km/t ha ubrutt siktavstand på minst 83 meter, i 90 km/t minst 125 meter ubrutt siktavstand, og i hastigheter fra 130 km/t og oppover må lokomotivfører ha minst 183 meter ubrutt siktavstand til skiltet. Dersom det ved en nedsettelse eller økning av tillatt hastighet for eksempel er terreng eller vegetasjon som gjør at siktkravet ikke oppfylles, vil hastighetskiltene måtte flyttes til en plassering der siktkrav oppfylles. Flyttingen må skje i konservativ retning.

Siktkrav har også innvirkning på muligheten til å skilte forskjellige hastigheter gjennom en kurve. Det er vanlig at en slakere kurve vil ha høyere tillatt hastighet enn en krappere. Dersom et tog kjører i en kurve med maksimal tillatt hastighet 60 km/t, samt siktavstand til skilt lavere enn påkrevet, og kommer inn i en slakere kurve der hastigheten kunne vært høyere, vil det ikke være mulig å skilte en høyere hastighet før siktavstanden er tilstrekkelig. Dette til tross for at sporgeometri og alle andre forhold ligger til rette for en mye tidligere hastighetsøkning.

Det samme vil gjelde for nedsatt kjørehastighet. Det betyr at dersom toget kommer fra en slakk kurve og over i en krappere kurve vil toget måtte kjøre hele den slakke kurven i hastigheten til den krappe kurven dersom ikke siktkravene for å kunne skilte ny hastighet i kurvene er oppfylt.



Figur 2-5 Hastighetsnedsettelse ved Åmot. Foto fra befaring på Bergensbanen.

2.3.3 ATC

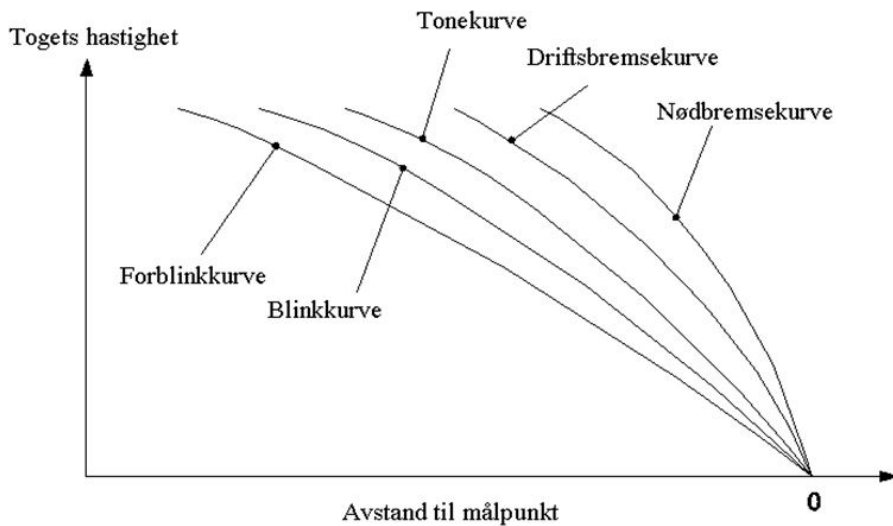
ATC, automatisk togkontroll, er et sikkerhetssystem for fremføring av tog. Det er en del av signalanlegget, og overvåker togets hastighet samt aktiverer togets bremsers dersom tillatt hastighet overstiges. Informasjon kommuniseres til toget gjennom baliser i sporet. Automatisk hastighetsovervåking finnes i to utbyggingsgrader, fullstendig hastighetsovervåking (FATC) og delvis hastighetsovervåking (DATC).

DATC overvåker at tog ikke kjører forbi signal «Stopp». DATC overvåker også hastighet over første sporveksel i innkjørstogveien, og i noen tilfeller også over sporveksel i utkjørtogvei, samt eventuelt til overvåking av midlertidige hastighetsnedsettinger. Ved FATC blir i tillegg alle

hastighetsbegrensninger overvåket, og det er ved plassering av signaler tatt hensyn til togets bremseegenskaper [39]. FATC skal benyttes der hastigheten er over 130 km/t, noe som gir DATC en hastighetsbegrensning på 130 km/t. FATC kan tillate hastigheter opp til 270 km/t. Det er også ønskelig med FATC der trafikken er stor, og på nye strekninger er det i dag et krav med FATC [44].

2.3.3.1 Hastighetsovervåkning med ATC

Når ATC-systemet får informasjon om hastighetsreduksjon, beregner det indikerings- og bremsekurver basert på togets hastighet og avstand til målpunkt.



Figur 2-6 ATC-bremsekurver.

Når toget passerer en balisegruppe som gir restriktiv hastighetsinformasjon får lokomotivfører informasjon om dette i førerpanelet. Dersom hastigheten ikke reduseres vil ATC-systemet gi varslere når forblinkkurve, blinkkurve, og tonekurve passerer. Dersom disse tre kurvene passerer uten at hastigheten reduseres vil driftsbremsekurven utløses og senke hastigheten til målhastighet. Ved hastighetsovervåking med ATC fås akustisk varsel ved maksimal tillatt hastighet + 5 km/t, og inngripen med driftsbremse ved maksimal tillatt hastighet + 10 km/t. Om togets hastighet er lik eller høyere enn maksimal tillatt hastighet + 15 km/t utløses nødbremse [45]. ATC regner driftsbremsekurven som den sikre bremsekurven. Nødbremsekurven er ikke beregnet, men kan oppfattes som en fallskjerm som utløses to sekunder etter driftsbremse dersom driftsbremse ikke gir tilstrekkelig trykksenkning i hovedledningen [46].

2.3.4 Skilting av hastighet

Hastighetsangivelser gis i dag med skilter langs sporet. Skiltene plasseres som regel på høyre side av sporet, i enten åk, lyssignal, eller stolpe.

Det er flere forskjellige typer skilt som angir hastighet, og hastigheten angis også på forskjellige måter avhengig av togets hastighetsklasse. Hastighetene er oppgitt i km/t. Ettersom grenseverdier for komfortparametre ikke må overstiges, og hastigheten oppgis i hele 5-ere, blir resultatet at skiltet hastighet avrundes nedover til nærmeste hele 5-er fra dimensjonerende hastighet.



Figur 2-7 Signal 68
Nedsatt kjørehastighet.



Figur 2-8 Signal 68B Økt
kjørehastighet.



Figur 2-9 Signal 68C
avvikende/nedsatt
kjørehastighet.



Figur 2-10 Signal 68D
Markeringsmerke.

Skilt for nedsatt og økt hastighet er trekantet, og peker henholdsvis ned eller opp. Skiltet angir høyeste tillatte kjørehastighet på linjen og i hovedspor. Skiltet for økt kjørehastighet gjelder fra der skiltet står. Skiltet for nedsatt kjørehastighet skal settes opp så langt foran det punktet hastighetsnedsettelsen gjelder fra at den kan gjennomføres. Der hastighetsnedsettelsen gjelder fra står signal 68D, markeringsmerke. Signal 68C, avvikende nedsatt/økt kjørehastighet, gjelder første avvikende sporveksel/sporvekselgruppe, og angir kjørehastigheten dersom den er en annen enn 40 km/t. For disse hastighetsskiltene gjelder at høyeste tillatte hastighet er tallet på skiltet multiplisert med 10. Et lite 5-tall øverst eller nederst, avhengig av skiltets utforming, til høyre for det store tallet betyr 5 km/t høyere hastighet enn hva det store tallet alene tilsier [47].

Ved hastighetsreduksjon på grunn av kurve er markeringsmerket plassert ved overgangskurvens begynnelse. Begrunnelsen for at markeringsmerket står ved begynnelsen av overgangskurven og ikke ved begynnelsen av sirkelkurven skyldes at det ønskes en sikkerhet for at målhastighet er oppnådd før toget kjører inn i sirkelkurven. Oppskilting av hastighet skjer der overgangskurven etter sirkelkurven slutter. Dette skyldes praktiske hensyn i at det kan brukes baksiden av stolpen markeringmerket står på [48].



Figur 2-11 Gult underskilt:
Signal 68F
Tilleggshastighet.



Figur 2-12 Blått underskilt:
Signal 68G Hastighet for
krengetog.



Figur 2-13 Signal 69A
Midlertidig nedsatt
hastighet.



Figur 2-14 Signal 69B
Midlertidig
kjørehastighet
opphører.

Det gule underskiltet, 68F, oppgir tilleggshastighet til skiltet det står under, og gjelder for togmateriell som er tillatt fremført med slik hastighet, plussmateriell. Det blå skiltet angir høyeste tillatte hastighet for krengetog. Disse to skiltene skal *ikke* multipliseres med 10. Signal 69A angir at kjørehastigheten midlertidig skal settes ned til hastigheten skiltet angir, multiplisert med 10. Det skal settes opp så tidlig at hastighetsnedsettelsen kan gjennomføres, og gjelder fra signal 68D, markeringsmerke. Signal 69B angir at midlertidig kjørehastighet opphører, og at høyeste tillatte hastighet er tallet på skiltet multiplisert med 10 [47].

2.3.4.1 Trappetrinnregel

For strekninger uten hastighetsovervåkning skal hastighetsreduksjoner større enn eller lik 50 km/h der utgangshastigheten er høyere enn eller lik 100 km/h gjøres i to trinn. Det kan eventuelt settes opp et repeterskilt, et skilt som repeterer hastigheten, men nedtrapping er mest benyttet.

2.3.5 Krysningsspor

Dersom to tog kjørende mot hverandre på en strekning med enkeltspor kommer samtidig til en stasjon vil det oppstå ventetid fordi de normalt ikke kan kjøre inn på stasjonen samtidig. Stasjonen vil ha ett eller flere krysningsspor, og det ene toget vil få lov til å kjøre inn på et krysningsspor først. Når hele dette toget har passert et gitt punkt ved krysningssporets begynnelse vil det måtte bekreftes at det har stoppet og ikke trillet ut igjen i hovedsporet der det andre toget skal kjøre. Denne bekreftelsen gjøres av togekspeditør på de bemannede stasjonene. På fjernstyrte stasjoner gjøres denne bekreftelsen ved at det detekteres om toget passerer et punkt på vei ut av stasjonen. Bekreftelse fra togekspeditør tar ikke lang tid, men på de fjernstyrte stasjonene må det gå 50-70 sekunder, avhengig av kryssingssporets lengde, fra toget kjører inn på krysningssporet til det kan slås fast at det ikke har trillet forbi krysningssporet. Denne tiden kalles krysningsslåsetid. Når toget som har kjørt inn først er bekreftet stoppet får toget nummer to signal om å kjøre inn på stasjonen [49]. I dag løses denne situasjonen med en kostbar ombygging til signal- og sporløsninger kalt samtidig innkjør. Samtidig innkjør beskrives ikke nærmere i denne oppgave.

2.4 Europeiske krav til samtrafikkeve

Motivet for å bygge ut jernbane har endret seg mye gjennom historien. Da dampmaskinen ble funnet opp skjøt også utviklingen av jernbanen fart, og var en viktig del av den industrielle revolusjonen. Godstransport ble enklere, og råvarer som malm og kull kunne transporteres til fabrikker i store mengder [50]. Jernbanen har historisk sett vært nasjonale prosjekter hvor hvert land har utviklet sin teknologi. Militære interesser har også ført til at det ikke har vært ønskelig å benytte de samme teknologiske løsninger som naboland. Truslene om invasjon veide tyngre enn fordelene med samtrafikk, og barrierer ble bygget mellom nasjonenes jernbane.

Jernbanens rolle har gått fra å nesten utelukkende frakte gods, som var motivasjonen for å bygge jernbane i starten, til i økende grad å fungere som persontransport. Samtidig har EU bidratt til økte fordeler med handelsfrihet, og truslene om invasjon fra naboland har blitt mindre relevant. Mye gods fraktes i dag på vei, og mange steder har jernbanen ubrukt kapasitet. EU ønsker gjennom ulike jernbanepakker å legge til rette for at jernbanen skal bli mer konkurransedyktig uten at det går på bekostning av sikkerheten. Ved hjelp av et felleseuropeisk regelverk skal det blant annet være enklere å få markedstilgang for nye selskap, og å kjøre på tvers av landegrenser. Barrierene som tidligere ble bygget opp mellom land skal nå bygges ned, med bedre samtrafikk som mål [51].

2.4.1 Internasjonale aktører

2.4.1.1 ERA

Det europeiske jernbanebyrået, European Union Agency for Railways (ERA), er et EU-organ for samtrafikk og jernbanesikkerhet. Formålet med opprettelsen av ERA i 2004 var å sikre jernbaneteknisk og sikkerhetsfaglig ekspertise [52]. I forbindelse med EUs fjerde jernbanepakke går ERA fra kun å være et rådgivende organ til å få en formell beslutningsmyndighet. I løpet av 2019 får organet enda flere oppgaver, og blir blant annet en overnasjonal myndighet i saker som omhandler samtrafikk, sikkerhet og sertifisering av førere [53].

2.4.1.2 EIM

European Rail Infrastructure Managers (EIM) ble etablert for å ivareta interessene til europeiske infrastrukturforvaltere i EU og EØS som følge av EUs liberalisering av jernbanesektoren. EIM er en nonprofit-organisasjon, og er en av ti organisasjoner som representerer jernbanesektoren i EU. EIM bidrar i ERAs arbeid gjennom ulike arbeidsgrupper og har en plass i ERAs styre [53].

2.4.2 Norske aktører

2.4.2.1 Samferdselsdepartementet

Samferdselsdepartementet er en del av regjeringen, og har en egen seksjon for bane som er underlagt Kollektivtransport- og baneavdelingen (KBA). Baneseksjonen skal ivareta eierinteressen i statseide selskaper som Vygruppen AS og Bane NOR SF, og skal behandle og gjennomføre jernbanepolitiske saker, blant annet knyttet til strategi, plan og budsjett. Etatstyring av Jernbanedirektoratet og Statens jernbanetilsyn, fastsetting av rammevilkår for jernbanesektoren og internasjonale jernbanespørsmål er også arbeidsoppgaver til seksjonen [54].

2.4.2.2 Jernbanedirektoratet

Jernbanedirektoratet er direkte underlagt Samferdselsdepartementet. Direktoratet skal være departementets jernbanefaglige rådgiver, og bestille tjenester innen infrastruktur og persontrafikk. Et av direktoratets hovedoppgaver er å bidra til utarbeidelse av forslag til Nasjonal transportplan (NTP) sammen med de øvrige transportetatene. Når Stortinget har behandlet NTP utarbeider Jernbanedirektoratet handlingsprogrammet for jernbanesektoren, både for togtilbud og infrastruktur [55].

2.4.2.3 Statens jernbanetilsyn

Statens jernbanetilsyn (SJT) er også underlagt Samferdselsdepartementet. SJT er en pådriver for sikkerhet i togbransjen og fører tilsyn med at regelverket følges. Markedsovervåkning er en annen oppgave, hvor målet er et jernbanemarked med sunn konkurranse. SJT er nasjonal sikkerhetsmyndighet (NSA), og skal fremme norske interesser i europeisk regelutvikling samt følge opp internasjonalt regelverk for samtrafikk slik at dette blir implementert i nasjonale regler [56].

2.4.2.4 Infrastrukturforvalter

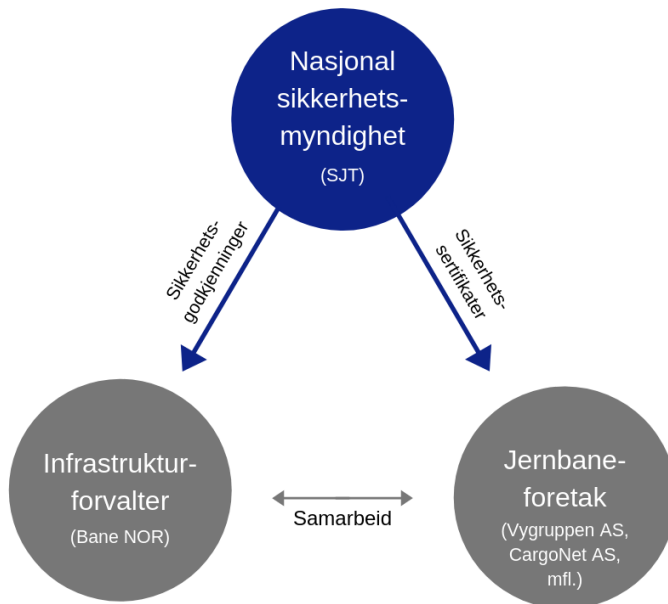
Infrastrukturforvalter er den som er ansvarlig for å opprette og vedlikeholde jernbaneinfrastrukturen. Jernbaneforetakene skal tilbys fungerende jernbaneinfrastruktur, og infrastrukturforvalter har ansvar for at den er sikker og tilgjengelig for trafikk. Etter loven kan jernbanenettet deles mellom flere infrastrukturforvaltere, men i Norge er det kun Bane NOR som er infrastrukturforvalter på det nasjonale jernbanenettet [57].

2.4.2.5 Jernbaneforetak

Jernbaneforetak er offentlige eller private foretak som har som hensikt å tilby tjenester for transport av gods og/eller passasjerer med jernbane [58]. I Norge er Vygruppen AS det klart største jernbaneforetaket for persontransport med 65,1 millioner passasjerer i 2017 [59], en markedsandel på 88% [60]. Andre aktører med tillatelse til persontransport på deler av jernbanenettet er Flytoget AS, Vy Gjøvikbanen AS og SJ AB. Norsk jernbanemuseum har tillatelse til persontrafikk med museumstog på hele jernbanenettet, og i tillegg finnes flere museumsbaner som drives av andre aktører. Innen godstransport er CargoNet AS den største aktøren, etterfulgt av Green Cargo AB. Andre aktører er Grenland Rail AS, Hector Rail AB, LKAB Malmtrafik AB og Tågåkeriet i Bergslagen AB [61].

2.4.3 Ansvarsfordeling

Sikkerhetsdirektivet og TSI OPE (drift og trafikkstyring) regulerer hvordan ansvar skal fordeles mellom infrastrukturforvaltere, jernbaneforetak og nasjonal sikkerhetsmyndighet [53]. Ansvaret for sikker drift er plassert hos infrastrukturforvaltere og jernbaneforetak ved at de er forpliktet til å gjennomføre nødvendige tiltak for risikohåndtering, eventuelt i samarbeid med hverandre. Den nasjonale sikkerhetsmyndigheten, Statens jernbanetilsyn, er dermed helt fritatt for ansvar for sikker drift og risikohåndtering på jernbanen [62]. En av oppgavene til den nasjonale sikkerhetsmyndigheten er utstedelse og fornyelse av sikkerhetsgodkjenninger og sikkerhetsattestater for henholdsvis infrastrukturforvalter og jernbaneforetak [63].



Figur 2-15 Ansvarsfordeling definert ut fra sikkerhetsdirektivet og TSI OPE.

2.4.4 Jernbanepakker

EU ønsker å fremme konkurranse i jernbanen for å redusere kostnadene til jernbanetransport, og øke kvaliteten. Jernbanepakkene er samlebetegnelser på samlinger av direktiver som gradvis har blitt og blir innført for å oppnå en økt harmonisering slik at konkurranse blir enklere. I dag finnes fire jernbanepakker som regulerer ulike deler av jernbanen. De to første jernbanepakkene omhandler i all hovedsak godstransport, og klargjør i tillegg forholdet mellom infrastrukturforvalter og jernbaneforetak. Jernbanepakke tre omhandler persontransport og sertifisering av lokførere. Den fjerde jernbanepakken skal fullføre det indre markedet på jernbane. Harmoniserte tekniske bestemmelser skal legge til rette for konkurranse innen persontransport. Implementeringen til norsk rett av den fjerde jernbanepakken kan skje i juni 2019 [64].

2.4.5 TSler

Tekniske spesifikasjoner for samtrafikkveier, TSler, er spesifikasjoner av delsystemer og tekniske krav med sikte på å oppfylle samtrafikkveien i det transeuropeiske jernbanesystemet. Innføring av ulike TSler er en av måtene jernbanepakkene implementeres på. TSler bestilles av EU-kommisjonen fra European Union Agency for Railways (ERA), som sammen med andre aktører utarbeider et forslag. Dette forslaget behandles i EUs Rail Interoperability and safety Committee (RISC) og publiseres i Europeisk Journal om TSlen blir vedtatt. Samferdselsdepartementet vurderer konsekvensene etter

høring, og TSlen tas inn som vedlegg til EØS-avtalen. Til slutt tas innholdet i TSlen inn i norsk rett ved forskrift fastsatt av Statens jernbanetilsyn [65].

Samtrafikkforskriften lister opp hvilke delsystemer jernbanen består av, tabellen under gir en oversikt over hvilke TSler som gjelder for de ulike delsystemene.

Tabell 2-5 Oversikt over delsystemer og tilhørende TSler [66] [67].

	Delsystemer	Forskrift	Område
Strukturbetingede områder	Infrastruktur	TSI INF	Infrastruktur
	Energi	TSI ENE	Elektrifiseringssystemet
	Styring, kontroll og signal langs sporet	TSI CCS	Kontroll og signal på jernbanenettet
	Styring, kontroll og signal om bord		
	Rullende materiell	TSI LOC & PAS	Lokomotiver og rullende materiell for passasjertrafikk
		TSI WAG	Godsvogner på det nasjonale jernbanenettet
Funksjonsbetingede områder	Drift og trafikkstyring	TSI OPE	Drift og trafikkstyring på det nasjonale jernbanenettet
	Vedlikehold	Innbakt i flere TSler	
	Telematikkapplikasjoner for person- og godstrafikk	TSI TAP	Telematikkapplikasjoner for passasjertransport i det transeuropeiske jernbanesystemet
		TSI TAF	Telematikkapplikasjoner for godstransport
TSler som inngår i flere delsystemer	TSI PRM	Tilgjengelighet for funksjonshemmede og bevegelseshemmede personer	
	TSI SRT	Sikkerhet i jernbanetunneler	
	TSI NOISE	Delsystem for rullende materiell og støy	

De viktigste TSlene når det kommer til beregning av hastighetsprofiler er TSI CCS, TSI INF og TSI OPE.

2.4.5.1 TSI CCS

TSI CCS setter krav til hvordan styring, kontroll og signal skal foregå både ombord det rullende materiell og langs sporet. Gjennom blant annet ETCS og GSM-R som sammen danner ERTMS, ivaretar denne TSlen hvordan signal og kontroll skal harmoniseres i det transeuropeiske jernbanesystemet [68]. I TSI CCS finnes en liste over ulike subset som gir konkrete tekniske krav. Subset-026 kapittel 3 beskriver systemprinsippene for både ombordutrustning og infrastruktur, og beskriver blant annet hvordan de ulike bremsekurvene i ETCS framkommer.

2.4.5.2 TSI INF

TSI INF setter krav til utforming av jernbaneinfrastruktur for å sikre samtrafikkvevnen. Laster på broer og andre konstruksjoner, utforming av plattformer, sporveksler og grenseverdier for sporgeometriske feil er blant annet omfattet av denne TSlen. Viktigst for hastighetsprofilen er spor- og traséparametre og sporets motstand mot laster [69].

2.4.5.2.1 Trafikkoder og ytelsesparametere

TSI infrastruktur deler jernbanenettet i ulike trafikkoder etter hvilken ytelse strekningen har. Det er definert fem parametere som ytelsen måles etter:

- Minste tverrsnitt
- Aksellast
- Strekningshastighet
- Plattformlengde (persontog)
- Toglengde (godstog)

Ulike trafikkoder er definert i TSI INF ut fra tilhørende minimumsverdier for ytelsesparametere. Minste tverrsnitt og tillatt aksellast må tilfredsstilles på hele strekningen, resterende parametere kan ha lavere verdi enn hva trafikkoden skulle tilsi. Trafikkodene for persontrafikk og godstrafikk er ulike, derfor angis linjekategori på strekninger med blandet trafikk med både en persontrafikkode og en godstrafikkode. For ulike strekninger vil forskjellige parametere være dimensjonerende for valg av trafikkode. Det kan dermed risikeres at en strekning får satt ned tillatt strekningshastighet på grunn av en enkelt tunnel som har begrenset tverrsnitt [69].

2.4.5.2.2 Grunnleggende infrastrukturkrav

Grunnleggende krav er blant annet parametere knyttet til trasé og profil, spor, sporveksler, sporets motstand mot laster, grenseverdier for sporgeometriske feil, og plattformer. Disse grunnleggende kravene i TSI INF er i all hovedsak basert på etablert praksis og europeiske standarder. Ettersom Bane NORs tekniske regelverk bygger på den samme bakgrunnen, var det allerede før innføringen av TSI INF stor grad av samsvar mellom Teknisk regelverk og TSI INF.

Avvik mellom TSI-krav og eksisterende krav er i stor grad knyttet til plattformutforming, hvor det i Norge benyttes andre plattformhøyder enn hva som var standarden i de fleste europeiske land. De to høydene som har vært i bruk i Norge gir et avvik på 20 og 60 mm i forhold til TSI-kravet [69].

Kravet til maksimal ukompensert sideakselerasjon, også kalt manglende overhøyde, har tradisjonelt vært mindre strengt i Norge enn i resten av Europa. Tidligere var kravet til maksimal manglende overhøyde 160 mm, men dette ble i 2015 endret til 153 mm for å tilpasse seg de europeiske reglene [70]. Differansen i tillatt kjørehastighet med de to ulike kravene øker med radiusen, men med økende radius øker også tillatt hastighet, og når radius er 1600 m eller mer er tillatt hastighet over 140 km/t uansett overhøyde. Ved denne radiusen er hastighetsforskjellen mellom de to kravene

rundt 2,5-3 km/t, avhengig av overhøyden. Det er derfor sannsynlig at det aldri vil være snakk om en reduksjon av hastighet på mer enn 3 km/t. Konsekvensene av endringen av ukompensert sideakselerasjon var dermed små, og endringen ble akseptert og innlemmet i Teknisk regelverk i tråd med TSI INF [71].

2.4.5.3 TSI OPE

TSI OPE er en angivelse av minstekrav for å oppnå samtrafikkevne innenfor delsystemet «drift og trafikkstyring». I dette ligger det bestemmelser om klargjøring, togframføring, trafikkplanlegging og trafikkstyring, både under normal og redusert drift, i tillegg til krav til faglige kvalifikasjoner.

I hovedsak knytter innholdet i denne TSlen seg til hvordan ansvar fordeles mellom nasjonal sikkerhetsmyndighet, jernbaneforetakene og infrastrukturforvalter. TSI OPE er tatt inn i norsk rett som en følge av sikkerhets- og samtrafikkdiriktivet [72]. TSI OPE er blant annet den TSlen som beskriver de 18 nye togkategoriene som skal erstatte dagens tre hastighetsklasser [38].

2.4.5.4 Verifiseringsordninger

En uavhengig tredjepart, et teknisk kontrollorgan, verifiserer at krav i TSler blir fulgt. Disse organene omtales som NoBo (Notified Body), og attesterer gjennom sertifikatutgivelse at krav er oppfylt. Organene i Norge er utpekt av nasjonal sikkerhetsmyndighet (SJT), men det kan også benyttes internasjonale NoBoer. På samme måte som at NoBoer verifiserer TSI-krav, kontrollerer organ betegnet DeBo (Designated Body) at nasjonale krav i jernbaneregelverket blir fulgt [73].

2.5 Jernbanesystemet med ERTMS

ERTMS (European Rail Traffic Management System) er en felles europeisk standard for kommunikasjon mellom signalanlegg og tog, og skal i framtiden erstatte alle nasjonale signalanlegg i Europa. Systemet ble lansert i 1995 [74].

ERTMS består av tre deler:

- European Train Control System, ETCS, for hastighetsovervåking og signalanlegg
- GSM-R for kommunikasjon mellom signalanlegg og tog
- Felles europeiske trafikkregler

I Norge har Jernbaneverket besluttet å innføre ERTMS samtidig som dagens signalanlegg fornyes grunnet høy gjennomsnittsalder. ERTMS er valgt på grunn av kravet om samtrafikkevne over grensene, samt at det er det mest kostnadseffektive alternativet. Systemet vil gi økt sikkerhet grunnet kontinuerlig hastighetsovervåking [3].

Det er TSI CCS som setter krav til hvordan styring, kontroll og signal skal foregå i infrastruktur og tog. TSI CCS er delt opp i «Styring, kontroll og signal langs sporet», og «Styring, kontroll og signal om bord».

2.5.1 ETCS i infrastruktur

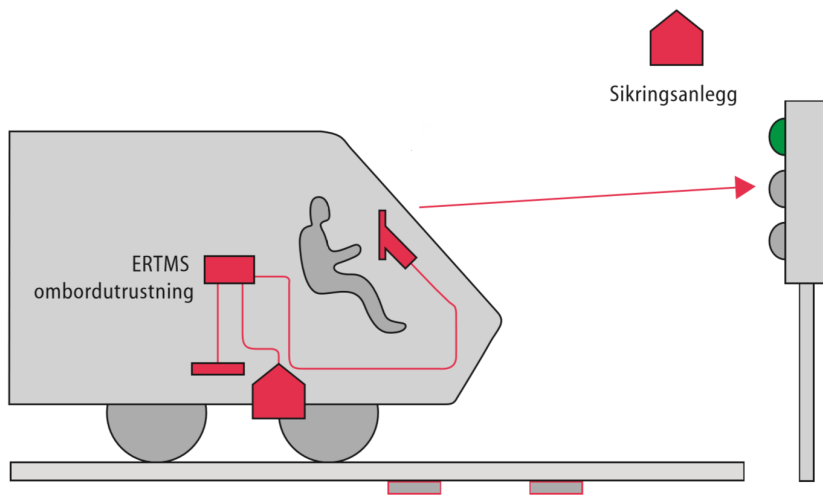
ETCS kan bygges ut på 3 forskjellige nivåer, og innenfor de forskjellige nivåene kan det finnes ulike utbyggingsgrader. I Norge innføres ETCS nivå 2 baseline 3 på både gamle og nye baner, det er derfor dette nivået oppgaven dreier seg om.

Med nivå 1 beholdes signaler langs sporet, men togfører får i tillegg informasjon om kjøretillatelse, hastighet og strekningsinformasjon i ETCS-førerpanelet [3]. Toget må passere Eurobaliser i sporet for å kunne motta kjøretillatelser sammen med informasjon om ruten, så dataoverføringen blir

punktvis, og ikke kontinuerlig. Dette kan imidlertid løses med ekstra Eurobaliser, infill baliser, eller EuroLoop, som er en forlengelse av Eurobalisen. En trådløs versjon av Euroloopen finnes også via GSM-R-nettet. Eurobalisene får informasjon om kjøretillatelser fra signalsystemet langs strekningen via signaladaptore. ETCS-datamaskinen i toget monitorerer og kalkulerer kontinuerlig maksimal hastighet samt bremsekurver fra dataene den får fra balisene.

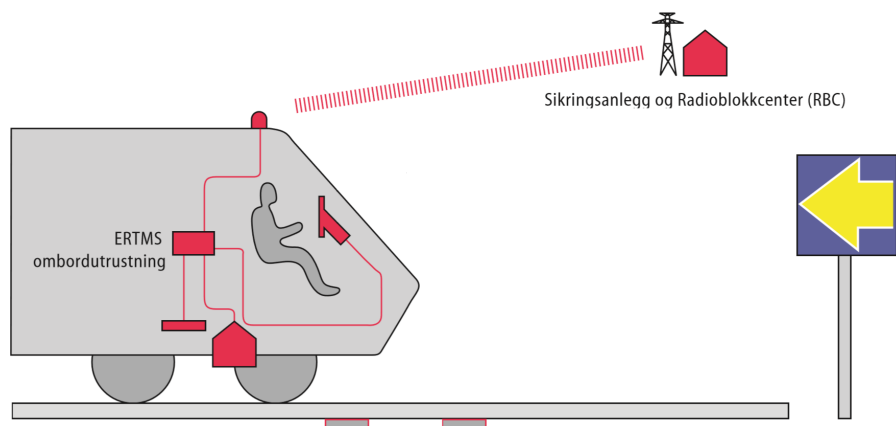
Nivå 1 har flere utbygningsgrader. ETCS L1 Full Supervision (FS) krever at det er overvåking ved hvert eneste signal, mens ETCS L1 Limited Supervision (LS) bare krever at en del av signalene inkluderes. Nivå 1 kan også bygges med Euroloop- eller GSM-R-infill. Med dette kan kostnadene holdes nede ved at det bare bygges ut full overvåking der økt funksjonalitet kan forsvares kostnadsmessig.

Uten overvåking ved alle signaler vil ikke lokfører få informasjon om signaler i førerpanelet sitt, og førerpanelet viser bare gjeldende hastighet. Lokomotivfører må derfor følge med på skilt og signaler langs toglinjen slik det gjøres i dag. Dette gir ikke like høy sikkerhet som om alle signalene var med, og fordrer derfor at lokomotivfører ser og agerer på signalene slik det gjøres i dag [3]. Å kjøre med ETCS L1 LS blir i praksis likt som å kjøre med dagens DATC [75], og er valgt i blant annet Sveits på de jernbanestrekningene som ikke er høyhastighetsbaner [76]. Å kjøre med ETCS L1 FS kan sammenlignes med å kjøre med dagens FATC [75].



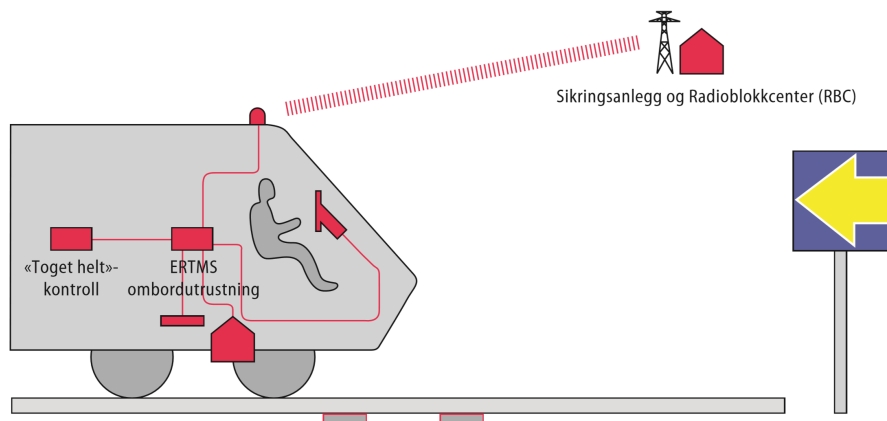
Figur 2-16 ERTMS nivå 1 [44].

ETCS nivå 2 er et digitalt, radiobasert signalsystem hvor toget får informasjon fra sikringsanlegget via GSM-R. Signaler og hastighetsmerker langs sporet kan fjernes fordi lokomotivfører mottar informasjon om hastighet og kjøretillatelse direkte i togets førerpanel. Denne informasjonen kommer fra radioblockcenter (RBC). Systemet overvåker maksimalt tillatt hastighet, og hvor langt kjøretillatelsen gjelder. Akseltellere eller sporfelt detekterer hvor tog befinner seg, og tog melder i tillegg inn sin egen kjøretretning og posisjon til signalanlegget. Eurobalisene som ligger i sporet har faste telegrammer, og benyttes som referanse for posisjonering.



Figur 2-17 ERTMS nivå 2 [44].

ETCS nivå 3 fungerer på samme måte som nivå 2, med unntak av at togdeteksjon ikke benyttes. Togene må derfor ha et system som sier ifra hvis det har mistet én eller flere vogner.



Figur 2-18 ERTMS nivå 3 [44].

Ved overgang til ERTMS nivå 2 i Norge kan alle hastighetsskilt for hastigheter over 40 km/t fjernes. Skilting for hastigheter under 40 km/t må beholdes. Forsignal fjernes, og hovedsignal byttes ut med stoppskilt. Stoppskiltene har som funksjon å vise lokomotivføreren akkurat hvor det skal stoppes, da dette er lettere enn å følge med på førerpanelet som teller ned meter for meter. Stoppskiltene skal også ha en ID som lokfører skal oppgi til togleder for å få tillatelse å kjøre dersom toget av ulike årsaker ikke er innmeldt i ETCS [46].

Alle sikkerhetsmarginer er lagt inn i ERTMS. Dersom det i dag er lagt inn ytre sikkerhetsmarginer i infrastruktur eller lignende, vil det være hensiktsmessig å fjerne disse. Ved å ha doble sikkerhetsmarginer kan det risikeres at hastighet og kapasitet reduseres unødvendig. Sikkerhetsmarginer i infrastruktur kan for eksempel være at det noen steder er skiltet litt lav hastighet i forhold til sporgeometri der denne er begrensende faktor.

2.5.2 ETCS i toget

Ved overgang til ERTMS må alle tog utrustes med ETCS. En datamaskin kalt European Vital Computer (EVC) overvåker kontinuerlig togets hastighet. Et radiomodem for kommunikasjon mot GSM-R benyttes for å kunne motta kjøretillatelser fra RBC i nivå 2 og 3, mens hjulomdreiningssensor og radar brukes for å vite hvor toget er i forhold til siste passerte Euro-balise. På førerpanelet vil

lokomotivfører se informasjon om kjøretillatelse og hastighet, og det er her det gjøres innstillinger om nødvendige togdata [3].

ETCS har 17 forskjellige kjøremodi [77]. Kjøremodi er driftstilstander som bestemmer hvilken informasjon systemet skal ta imot, og hvilke av systemets funksjoner som skal være aktive, passive eller avstengt. Ved ordinær togkjøring benyttes full supervision, FS. Her overvåkes det at toget holder alle tillatte hastigheter, og at toget stoppes ved slutt punkt for kjøretillatelse [78].

2.5.2.1 Viktige parametere ved ERTMS i toget

Norsk jernbane har mange knekkpunkter i vertikalgeometrien og hastighetsendringer.

Hastighetsendringene skyldes hovedsakelig krappe kurver i horisontalgeometrien. Knekkpunktene skyldes topografi, krav til massebalanse under anleggsperioden før i tiden, samt tidligere begrensninger hos det rullende materiell. Materiellet hadde ofte ikke nok kraft til å komme seg opp en ideell stigning, en jevn stigning fra et punkt til et annet, så det måtte lages gjentatte intervaller av varierende stigning, og også fall, når summen av grunnmotstand, kurvemotstand og stigningsmotstand ble for høy. Disse intervallene ble laget ved å redusere stigningen med kurvemotstanden, slik at lengdeprofilen ble brukket i de horisontale kurvepunktene [19].

ETCS tillater 31 hastighetsendringer, og 31 endringer i vertikalgeometrien i løpet av en kjøretillatelse. En kjøretillatelse kan ikke være kortere enn én blokkstrekning. Som ved skilting og ATC er hastigheten oppgitt i hele 5-ere. Toglengde oppgis i hele meter, i motsetning til hele 100 meter som ved ATC [79]. For ERTMS er maksimal toghastighet 600 km/t [79].

2.5.3 Bremskurver med ERTMS

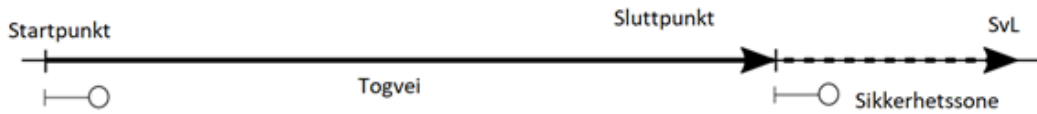
Bremsekurven relatert til nedbremsing på grunn av nødbremse kalles nødbremsekurve. ETCS-datamaskinen (EVC) i toget beregner denne basert på karakteristikken til både aktuelt tog og strekning, samt avstand til hastighetsreduksjon eller stopp. En nødbremsekurve på en gitt strekning vil med andre ord variere etter nødbremseeffekten til togene som kjører der. Ut ifra bremsekurven og toghastighet regner EVC flere ganger i sekundet ut nødvendig distanse for å stoppe eller retardere toget fra punktet der ETCS nødbremse skal gripe inn. Denne distansen beregner et punkt der ETCS vil overstyre lokomotivføreren. Det er utarbeidet nasjonale verdier for å kunne beregne ETCS-bremsekurver for norske tog [80].

Til forskjell fra ATC regner ERTMS nødbremse som den sikre bremsekurven. I ERTMS er det mulighet for at driftsbremsekurven kan fjernes, noe som betyr at dersom toget kjører for fort går det rett i nødbremse. Det er gjennom nasjonale verdier det bestemmes om det tillates å benytte driftsbremse i hastighetsovervåkingen. Dersom det tillates vil det medføre at det kan bli tog både med og uten driftsbremse i hastighetsovervåking på norske skinner. Dersom driftsbremse i hastighetsovervåkingen ikke tillates gjennom nasjonale verdier vil ingen tog i Norge kunne bruke det. For lokomotivføreren vil fjerning av driftsbremsekurven bety at hastigheten kan opprettholdes lengre før nedbremsing starter. Bane NOR har på grunn av dette argumentert for at driftsbremsekurven skal fjernes. Dersom det blir et bremseinngrep vil dette imidlertid være av nødbremsen, og konsekvensen er en hardere bremseeksjon enn ved driftsbremse [46].

2.5.3.1 SvL

En togvei er «en del av et spor, som er bestemt for å kjøre tog/skift, avgrenset av et startpunkt og et slutt punkt» [81]. I praksis er en fastlagt togvei en sikret togvei hvor det er kontrollert at alle betingelser for trygg togframføring på den fastlagte togveien er tilstede -betingelser for

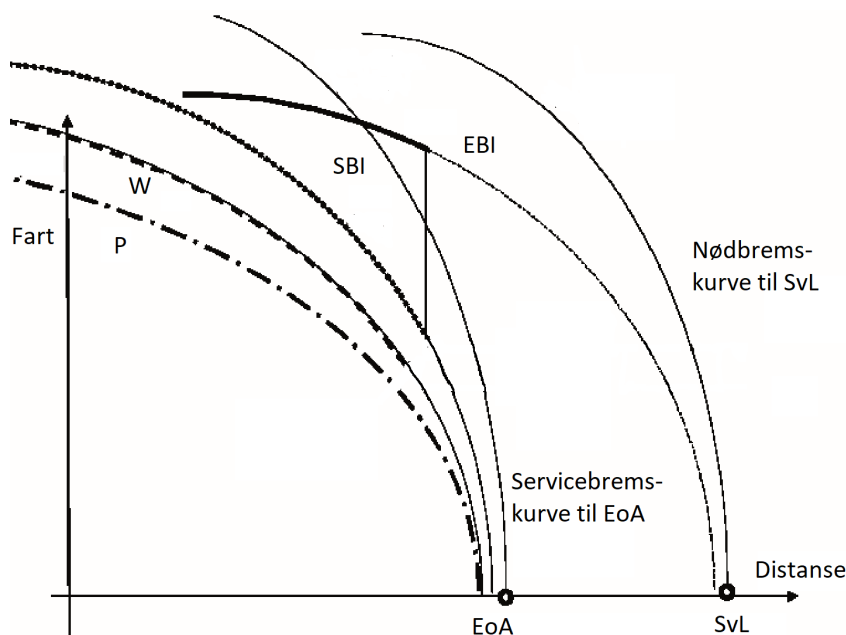
kjøretillatelse, og for kjøring med full overvåkning er oppfylt [81]. Betingelser for sikker togframføring kan for eksempel være at sporvekslere ligger rett for togets kjøring samt at sporet er fritt. Sikkerhetssonen er det området et tog trygt kan kjøre inn i dersom det ikke får stoppet før slutt punkt for kjøretillatelse (End Of Authority (EOA)) [3].



Figur 2-19 Togvei

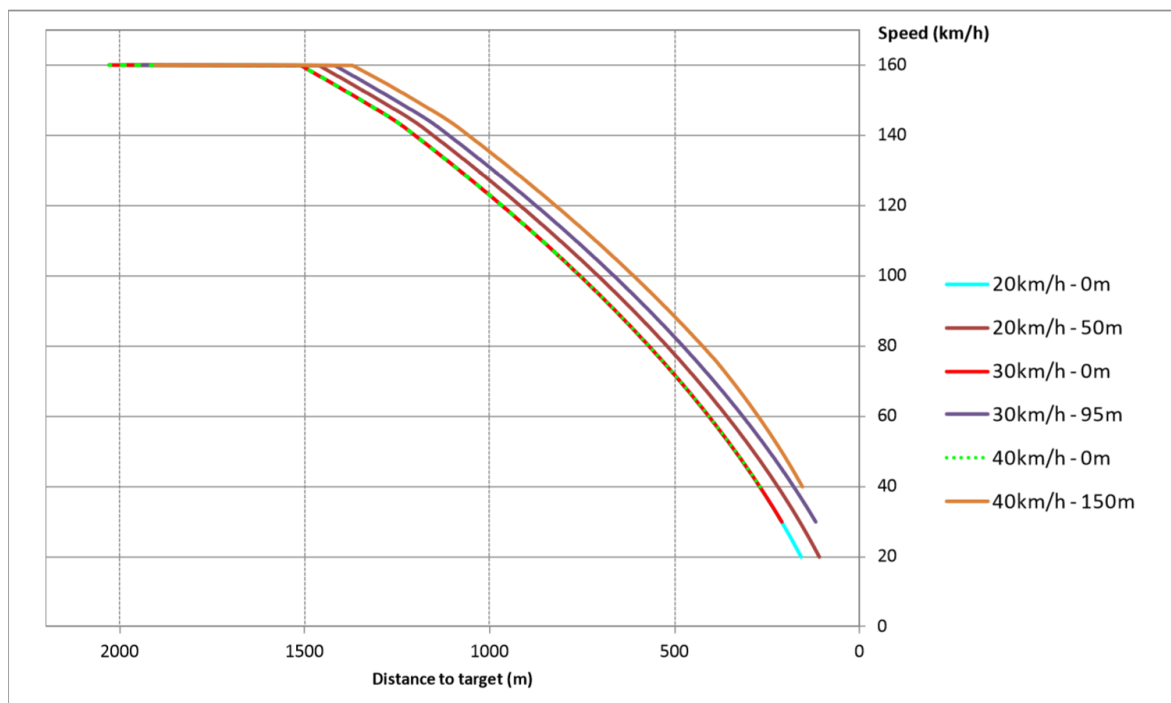
Supervised Location (SvL) er det kritiske farepunktet hvor det potensielt kan bli et sammenstøt. Måten togveier og sikkerhetssoner prosjekteres på, gjør at SvL sammenfaller med enden av sikkerhetssonen. EOA overvåkes som det punktet toget skal klare å stoppe ettersom det er det operasjonelle stoppunktet, mens SvL overvåkes som punktet toget må stoppe for å ikke komme ut i et område hvor det er fare for sammenstøt. Det er med andre ord mulig å definere to målpunkt – ett operasjonelt og ett sikkerhetskritisk.

På prøvestrekningen Østfoldbanen Østre Linje er SvL satt på samme sted som EOA. I en funksjonsutredning for nasjonal implementering er det anbefalt at SvL legges 150 meter etter EOA så lenge denne lengden ikke fører til andre begrensninger. Med dette oppnås at nødbremsekurven (EBD) kan ende i SvL, og toget kan nærme seg EOA raskere. Release speed (frislipp hastigheten) er bestemt av lengden på sikkerhetssonen. Release speed er en hastighetsverdi som tillater et tog å nærme seg EoA der det at tillatt hastighet går mot 0 blir for restriktivt i forhold til at tilbakelagt distanse er unøyaktig. Release speed er altså nødvendig for å tillate toget å kjøre mot balisen for oppdatering ved stoppunktet. Figur 2-20 viser plassering av EoA og SvL. I figuren er driftsbremse brukt i hastighetsovervåkingen.



Figur 2-20 SvL plassert etter EoA.

Figur 2-21 viser eksempel på resulterende bremsekurve for forskjellige plasseringer av SvL. Hensikten er å vise hva forskjellige plasseringer av SvL har og si for hvor tidlig det må bremses ved stoppsignal. SvL sin plassering varierer i eksempelet mellom å være ved stoppskilt og ved enden av sikkerhetssonen. Avstand fra stoppskilt til enden av sikkerhetssonen henger sammen med release speed, og er 50 m, 95 m og 150 m. For utarbeidelse av grafene er det tatt utgangspunkt i et Flirt-tog på 105 meter med bremseprosent 160.



Figur 2-21 Forskjellige plasseringer av SvL.

Her er det lagt til grunn at lokomotivfører følger kurvene nøyaktig fra 1800 m til kjøremodusen bytter til release speed supervision (frislipp hastighetsovervåkning), at det bremses med $0,8 \text{ m/s}^2$, at lokomotivfører kjører med 90% av release speed, og at det stoppes nøyaktig på 0 m.

Tidene i Tabell 2-6 Kjøretid ved forskjellige plasseringer av SvL viser tiden det tar å kjøre fra 1800 m før stoppskilt til stoppskilt ved forskjellige plasseringer av SvL.

Tabell 2-6 Kjøretid ved forskjellige plasseringer av SvL.

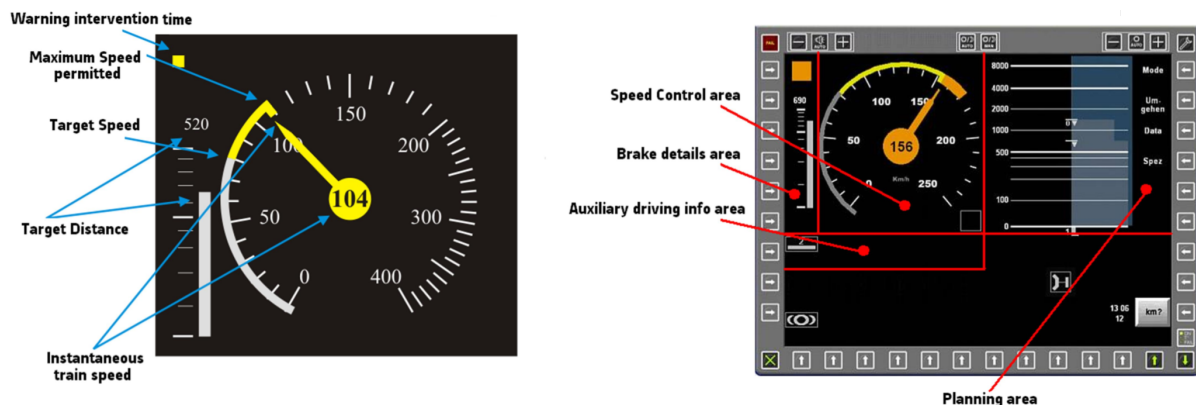
Release speed	Sikkerhetssone	SvL ved signal	SvL ved enden av sikkerhetssone	Tid spart
20 km/t	50 m	101 s	93 s	8 s
30 km/t	95 m	92 s	82 s	10 s
40 km/t	150 m	86 s	78 s	8 s

Resultatet av dette eksempelet viser at det spares mellom 8 og 10 sekunder kjøretid ved å plassere SvL ved enden av sikkerhetssonen [Vedlegg E].

2.5.4 Hastighetsovervåkning med ERTMS

Før kjøring av tog med ERTMS kan starte, må lokomotivfører logge seg inn i EVC og legge inn forskjellige data om toget. Disse dataene er for eksempel bremseegenskaper, toglengde og maksimal

hastighet. Når alle togdata er lagt inn kan lokomotivfører be om kjøretillatelse fra togleder. Togleder stiller så togvei for toget ved hjelp av fjernstyringssystemet, og informasjon om «grønt lys» sendes til togets førerpanel. Når informasjonen er mottatt kan lokomotivfører starte toget, og kjøre i henhold til hastighets- og signalinformasjon som gis i førerpanelet [3].



Figur 2-22 Førerpanel.

- *Instantaneous speed* viser togets hastighet
- *Warning intervention time* er en vertikal, krympende strek som viser tiden lokomotivfører har igjen til å reagere.
- *Maximum speed permitted* vises med en øvre grense på speedometeret.
- *Target speed* viser hastigheten toget skal ha i målmerket. Denne er vist med en annen farge enn *maximum speed*.
- *Target distance* er avstanden mellom tog og målmerke, og vises både som tall og en krympende, vertikal strek.

Figuren viser førerpanel med ulike farger på informasjonen. Fargene forteller lokomotivfører prioriteten til informasjonen.

Tabell 2-7 Prioritering av informasjon i førerpanel.

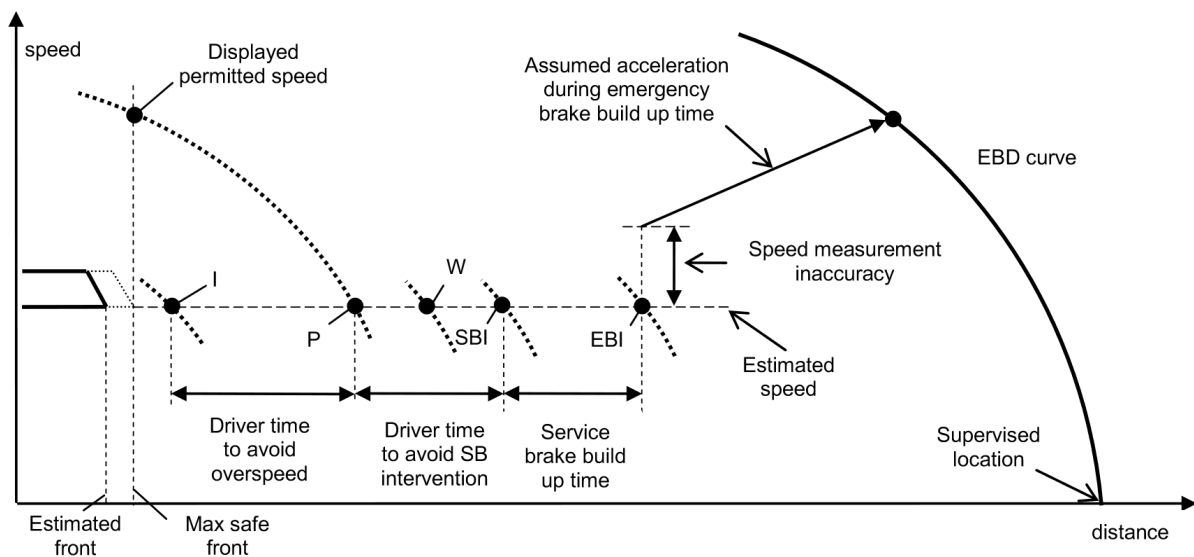
Prioritet	Farge	Påkrevet reaksjon
Lav prioritet	Grå	Ingen reaksjon nødvendig
Medium prioritet	Gul	Reaksjon er nødvendig, for eksempel bremsing
Høy prioritet	Oransj	En umiddelbar reaksjon er nødvendig, for eksempel sterkere bremsing
Veldig høy prioritet	Rød	Nødvendig reaksjon uteble, systemet har reagert

Med dette skal ETCS hjelpe lokomotivføreren å kjøre komfortabelt innenfor hensiktsmessige grenser. Disse grensene er *Indication (I)*, *Permitted speed (P)*, *Warning (W)*, og *Service Brake Intervention (SBI)*. Når toget passerer disse grensene vil lokomotivfører få visuelle og etter hvert akustiske varsler om dette fra førerpanelet.

Grensene er til for at:

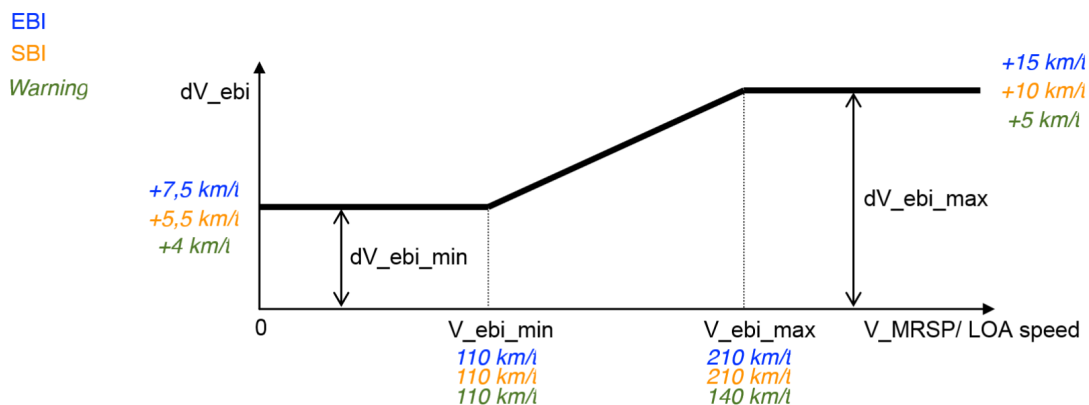
- For I: Lokomotivfører skal ha tid til å bremse toget med driftsbremser slik at tillatt hastighet ikke overstiges, selv når tillatt hastighet senkes.
- For P: Lokomotivfører, ved høy hastighet, skal få ytterligere tid til å bremse slik at ikke ETCS griper inn med bremsene.
- For W: Lokomotivfører skal få et akustisk varsel etter at permitted speed er overskredet.
- For SBI: Driftsbremser har en viss tilsetningstid, og disse må få mulighet til å virke før en nødbremse inntreffer. Dette er viktig for å hindre hyppige nødbremser som vil være ødeleggende for både spor og rullende materiell [82].

EBI-kurven (Emergency Brake Intervention Curve) angir på hvilken hastighet nødbremsen skal gripe inn i forhold til SvL. EBI-kurven tar hensyn til reaksjonstiden til nødbremsen samt usikkerheten rundt eksakt hastighet og eksakt posisjon.



Figur 2-23 Bremskurve med reaksjonstider [83].

Erfaringer fra Østfoldbanen viser at lokførerne kjører 5 km/t under tillatt hastighet for å unngå at de får slitsomme, akustiske varsler fra førerpanelet dersom de kjører litt over tillatt hastighet. Dette varselet får de allerede ved 1 km/t hastighetsoverskridelse. Dagens automat (cruisecontrol) er ikke nøyaktig nok til at den klarer å holde en gitt hastighet innenfor marginene for overvåkingen. Verdiene for overvåkingen er satt av ERA, og kan ikke enkelt endres. Grensen for varsel er imidlertid endret fra 1 km/t overskridelse i baseline 2 [46], til 4-5 km/t overskridelse, avhengig av hastigheten, i baseline 3 [84].



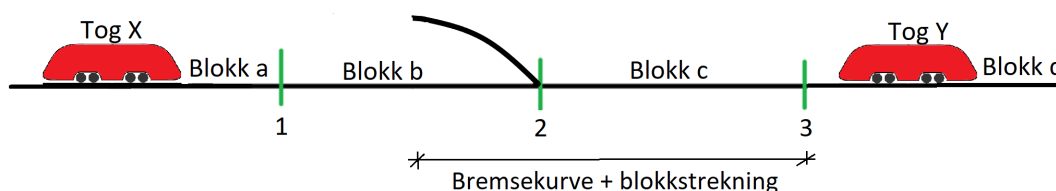
Figur 2-24 Grenser for når warning, SBI og EBI inntreffer. Y-aksen viser hastighetsoverskridelse, X-aksen viser tillatt hastighet.

Ved kjøring med ATC har det vært vanlig at lokomotivførere har drevet med såkalt kjentmannskjøring. Dette er ikke «villkjøring» som går utover sikkerheten, men gir lokomotivfører mulighet til å utnytte det hastighetspotensialet som ikke er utnyttet i skilting for å ta inn forsinkelser. Dette kan for eksempel være å kjøre litt fortere enn skiltet hastighet på en rettstrekning. Eller det kan være at lokomotivføreren vet at en kurve som tåler 104,97 km/t er skiltet 100 km/t, og at det er helt trygt å kjøre 105 km/t. Med innføringen av ERTMS fås en strengere kontinuerlig hastighetsovervåkning hvor kjentmannskjøring ikke vil være mulig.

ETCS kan i motsetning til ATC kun håndtere én bremsekurve av gangen. Ved flere hastighetsnedsettelse etter hverandre vil hastighet overvåkes mot første målpunkt til dette er passert, deretter overvåkes hastigheten mot neste målpunkt. Dersom to hastighetsnedsettelse kommer tett etter hverandre, kan bremsekurven mot andre målpunkt være mer begrensende for hastigheten enn bremsekurven mot første målpunkt. Dette håndteres av ETCS ved at det blir et hopp til en lavere tillatt hastighet ved passering av første målpunkt.

2.5.5 Togfølgetid med ERTMS

Med dagens signalprosjektering blir det kortere togfølgetid som følge av ERTMS, fordi det ikke er nødvendig med punktsignaler lengre. For at et tog skal få grønt i både hovedsignal og forsignal ved konvensjonell signalering må blokk b og c være ledig. Se figur 2-25. Dersom tog X før passering av signal 1 får forsignal om at signal 2 er rødt vil togfører holde igjen i påvente av grønt i signal 2 også. Dersom toget har passert signal 1 med forsignal om at signal 2 er rødt vil ikke togfører få ny informasjon om signal 2 før toget har begynt å bremse mot signalet. Med ERTMS er ikke toget avhengig av forsignal 1 for å kunne kjøre inn i blokk b i maksimal tillatt hastighet. Toget mottar fortløpende informasjon, og dersom det må stoppe ved signal 2 får det beskjed om når hastighetsreduksjonen må starte. Togfølgetid med ERTMS er altså én blokkstrekning i tillegg til en bremsekurve, mens det ved ATC er to blokkstrekninger.



Figur 2-25 Togfølgetid.

ATC kan kun gjennomsignalere to strekninger foran seg. I figur 2-25 betyr det at signal 1 bare kan vise hva signal 2 viser. I tillegg har ATC en funksjon som kan vise hva signal 3 viser. Dette er nyttig der togene kjører fort, og blokkstrekningene er korte. Denne begrensningen finnes ikke i ERTMS. Med ERTMS kan det kjøres 50 m lange blokkstrekninger dersom det er akseltellere nok. Dette har ikke noe for seg på høyhastighetsbaner, men gir mulighet til å pakke togene tettere sammen der hastigheten er lav. For eksempel i byområder [46].

3 Metode

Metoden er redskapet som trengs i møte med noe som skal undersøkes, og forteller noe om framgangsmåten for å skaffe eller etterprøve kunnskap. Metoden hjelper altså med å samle inn den informasjonen som trengs for å svare på problemstillingen i oppgaven. Det skilles mellom kvantitative og kvalitative metoder, men ofte er det hensiktsmessig å bruke en blanding av disse [85]. Her presenteres kort de metodene som er vurdert for oppgaven, samt en begrunnelse for valgt metode.

3.1 Kvantitative metoder

Kvantitative metoder gir data i form av kvantifiserbare størrelser, altså målbare enheter. Disse dataene kan regnes på, og systematiseres ved hjelp forskjellige statistiske metoder. Ved kvantitative metoder vil data være forankret til spesifikke variabler, og metoder for innsamling av data kan være ekspertvurderinger, intervju, observasjon eller formell testing [86]. Ved kvantitative metoder ser forskeren fenomenet utenfra, og tilstreber nøytralitet og avstand. Ettersom tall og statistikk ikke er selvforklarende, er fortolkning viktig i kvantitativ forskning [85].

3.2 Kvalitativ metode

Kvalitative metoder brukes for å fange opp meninger og opplevelse som ikke kan tallfestes eller måles. Ved denne metoden samles det systematisk inn informasjon fra samtaler, observasjoner og skriftlig tekst. I motsetning til kvantitative metoder som går i bredden går kvalitative metoder i dybden. Forskeren ser fenomenet innenfra, og erkjenner påvirkning og delaktighet [85].

3.3 Blandet metode

Det kan være hensiktsmessig å blande kvalitative og kvantitative metoder. Noen nødvendige data kan finnes og framstilles med det ene metoden, mens andre viktige data til oppgaven må finnes og framstilles med den andre metoden. En blanding av metodene vil derfor kunne føre til et bedre svar på oppgaven enn det som kan oppnås ved å velge kun én av metodene. Det er ingen krav til vektlegging av kvantitative og kvalitative metoder i blandet metode [85].

3.4 Eksempelstudie

Eksempelstudie, på engelsk *case study*, er en forskningsmetode der det studeres én enhet eller ett tilfelle. Metoden brukes som oftest til å belyse mange viktige fenomener basert på en dyptgående undersøkelse og inngående beskrivelse av det aktuelle tilfellet. Eksempelstudier brukes ofte til å trekke deskriptive konklusjoner eller kaste lys over om et fenomen vil føre til noe annet [87]. En eksempelstudie kan inneholde både kvalitative og kvantitative data [88].

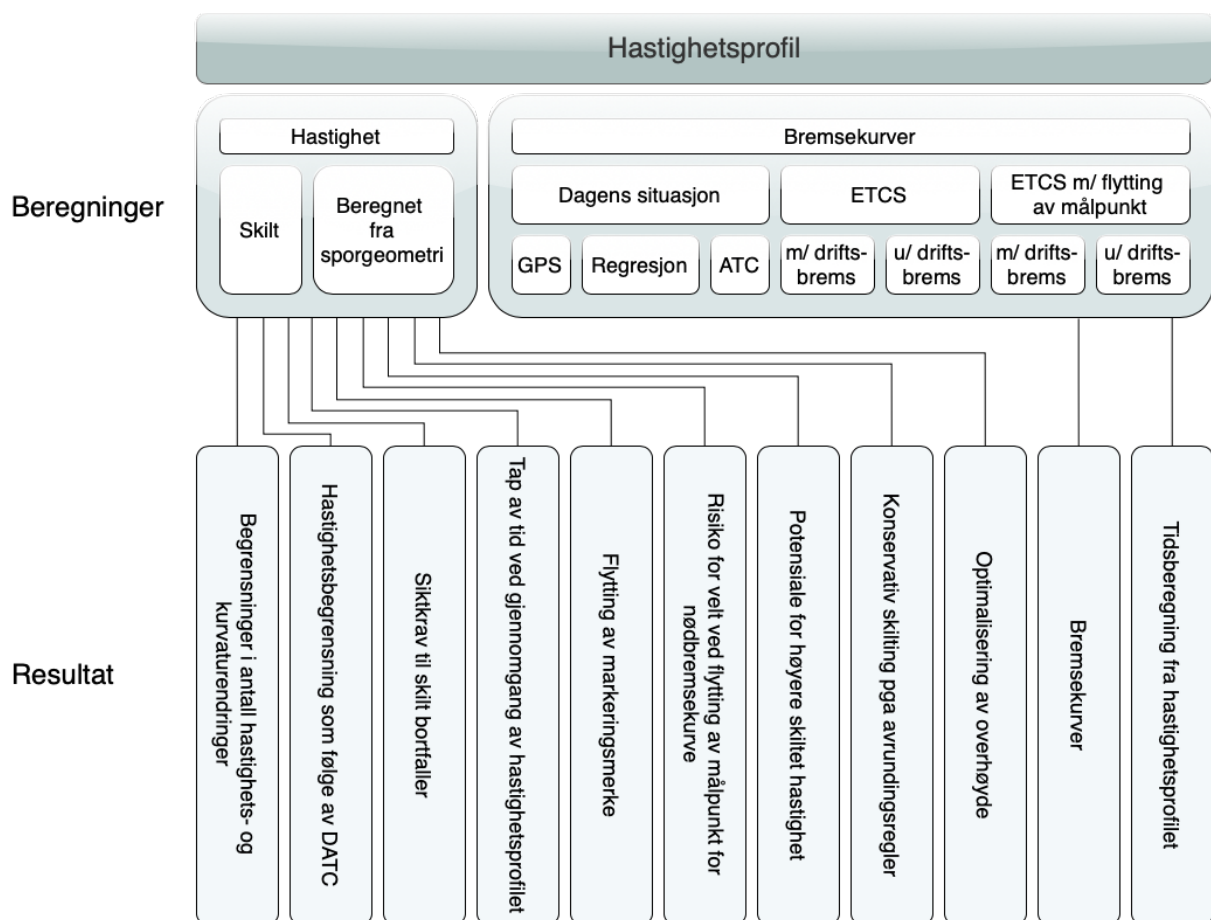
3.5 Valgt metode

I oppgaven vil det studeres ett tilfelle dyptgående for så å belyse viktige fenomener samt trekke konklusjoner ut ifra dette. Oppgaven anses derfor å være en eksempelstudie.

Oppgaven vil innebære innsamling av materiale fra rapporter, fagpersoner og observasjon, men også beregninger og statistikker basert på data fra togtur og Bane NOR sine databaser. Det vil med andre ord være nødvendig å benytte både kvalitative og kvantitative data.

3.5.1 Eksempelstudie – analyse av en strekning

For å kunne finne ut i hvilken grad innføring av ERTMS påvirker hastighet og kapasitet i jernbanen, og hvordan kapasiteten kan forbedres, er en konkret banestrekning analysert. Bergensbanen, begrenset til Hønefoss-Ål, er valgt som en representativ strekning som også er tidlig ut i utbyggingen av ERTMS. Målet med denne eksempelstudien er å finne eksempler på hvordan hastighet og kapasitet blir påvirket gjennom innføring av ERTMS, samt å foreslå forbedrende tiltak som også kan være relevante for andre strekninger. Bremskurveberegninger har vært sentralt for å se på hvordan kjøretiden endres. Tiltakene som foreslås for å forbedre kapasiteten kommer i all hovedsak fra hastighetsprofilen som framkommer av skiltet hastighet og beregnet hastighet ut fra sporgeometrien. Metodene og beregningene som er benyttet for å komme fram til hvordan ERTMS påvirker hastighet og kapasitet, samt hvilke tiltak som er vurdert for å forbedre kapasiteten, er utførlig beskrevet i neste kapittel.



Figur 3-1 Sammenheng mellom beregninger og resultat.

4 Beregninger

Gjennom denne oppgaven er målet blant annet å svare på hvordan innføring av ERTMS påvirker hastighet og kapasitet på jernbanen. Kapasiteten blir påvirket av hastigheten ved at evnen til å transportere øker med hastigheten fordi antall tog per tidsenhet, togfrekvensen, kan økes. Ved å gjøre en sammenligning av hastighetsprofilen med dagens situasjon og med ERTMS er det mulig å se hvordan hastigheten, og dermed kapasiteten, blir påvirket. Det er mange faktorer som påvirker hastighet, og i denne oppgaven lar det seg ikke gjøre å gi et komplett bilde. Oppgaven søker å finne de største påvirkningsfaktorene ved innføring av ERTMS, og gi forslag til konkrete tiltak som forbedrer kapasiteten. Disse tiltakene munner ikke nødvendigvis ut i en konkret tidsbesparelse på hele strekningen, men enkeltteksempler er vurdert for å gi et bilde av hvor nyttige tiltakene er. Unntaksvis er hele strekningen vurdert der hvor dette er hensiktsmessig for det enkelte tiltak.

En av de største endringene med ERTMS sett i forhold til dagens situasjon er mer restriktive bremsekurver. Det er derfor naturlig at denne oppgaven fokuserer mye på dette. Dette er gjort ved at tidsforskjellen ved hastighetsnedsettelse mellom dagens situasjon og etter innføring av ERTMS er beregnet for hele strekningen. Tidsforskjellen er regnet ut fra bremsekurver i hastighetsprofilen. Hvert resultatkapittel er behandlet med hvert sitt beregningskapittel som angir hvordan resultatene har framkommet.

4.1 Valg av strekning

Nasjonal signalplan [89] viser i hvilken rekkefølge de ulike banestrekningene skal bygges ut med ERTMS. Nordlandsbanen og Gjøvikbanen er de to første strekningene, og skal stå ferdig i 2022. Året etter skal Bergensbanen og Østfoldbanen stå klar. Nordlandsbanen er ikke elektrifisert, og er dermed ikke spesielt representativ for det norske jernbanenettet.

I følge oversikt over kurvefordelingen etter radius på alle strekninger i Norge [90], består 8% av strekningene av kurver med radius mindre eller lik 300 m, noe som er svært krappe kurver. Andelen krappe kurver kan brukes som indikator på hvor god sporgeometrien er, slik at en strekning som har en mest mulig representativ sporgeometri kan velges. Både Nordlandsbanen og Gjøvikbanen har en sporgeometri som avviker fra det normale, men til hver sin ende av skalaen. På Nordlandsbanen består 3% av strekningen av kurver med radius under 300 meter, og på Gjøvikbanen er det samme tallet 20%. Østfoldbanen har ganske lik kurvefordeling som Nordlandsbanen og blir heller ikke representativ for det norske jernbanenettet. Bergensbanen har derimot kurver med radius mindre eller lik 300 meter på 12% av strekningen, som er nærmere landssnittet, derfor ble denne strekningen valgt. De andre lengste banene, Dovrebanen, Rørosbanen og Sørlandsbanen har andel krappe kurver på henholdsvis 8%, 7% og 12%.

En annen grunn til at Bergensbanen ble valgt er at den er lett tilgjengelig for befarer fra Oslo. For å begrense datamengden, er strekningen som analyseres valgt til Hønefoss-Ål, en strekning på 138 km.

På Bergensbanen er avstander mellom hastighetsskilt og markeringsmerke nylig gjennomgått. Avstanden er satt slik at toget når målhastighet ved markeringsmerket dersom det etter en reaksjons- og tilsetningstid på 8 sekunder etter hastighetsskilt bremses med $0,7 \text{ m/s}^2$. Dette gjør at den valgte strekningen er optimalisert for dagens system, og derfor er en sammenligning mellom dagens system og ERTMS veldig relevant akkurat på denne strekningen.

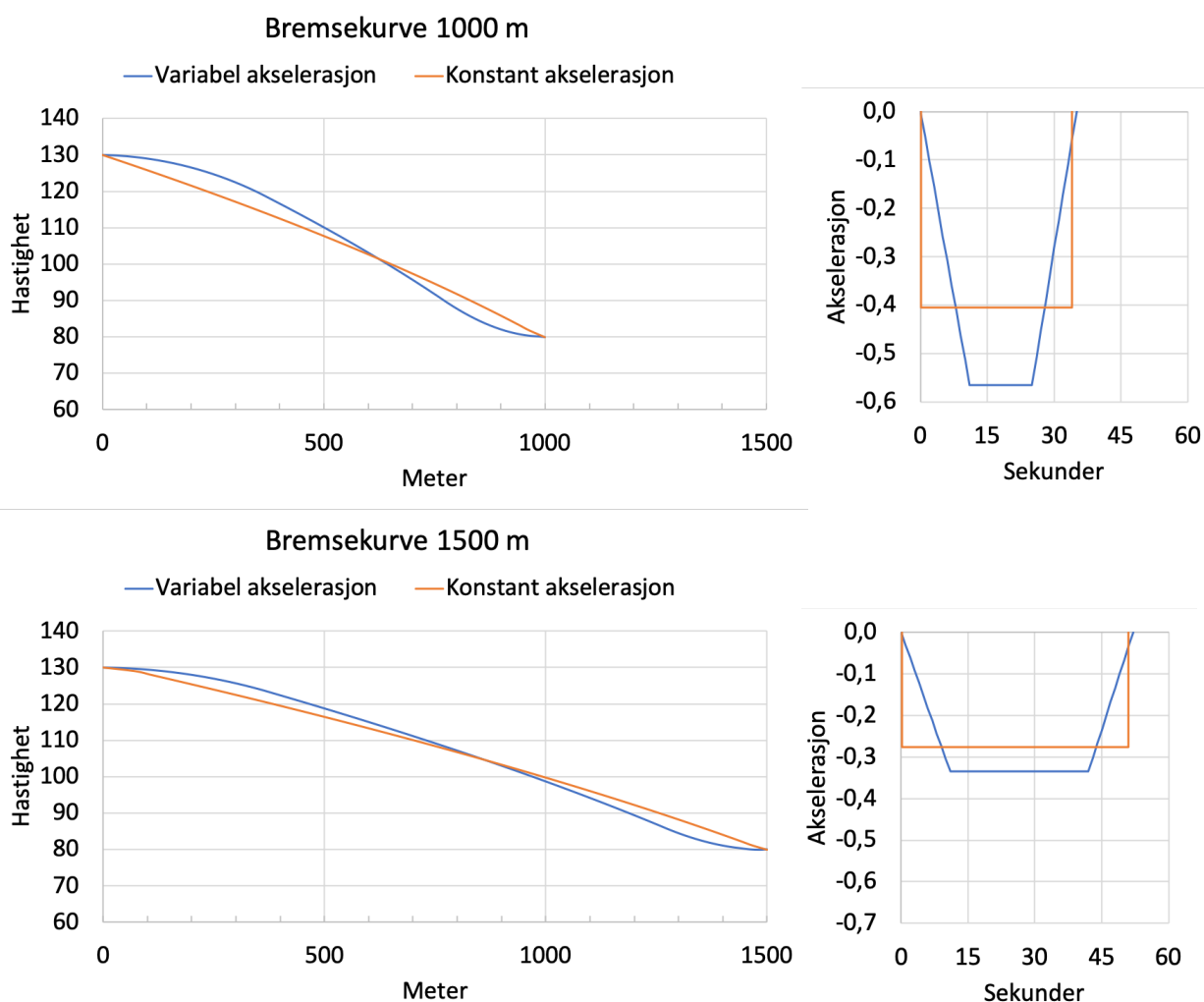
4.2 Grunnlag for hastighetsprofil

4.2.1 Avgrensning

Det er mange ulike parametere som påvirker hvordan et hastighetsprofil ser ut. I tillegg til makshastighet gitt ut fra horisontalgeometri, har stigning og fall, avstand mellom forsignal og signal, kontaktledningsanlegg, hastighetsklasse for tog, overbygningsklasse og siktkrav fra planoverganger noe å si for hastigheten som kan holdes. De fleste av disse parameterne endres ikke med ERTMS, men en generell oppfatning er at bremsekurvene blir mer restriktive. Ved analyse av hastighetsprofilen mellom Hønefoss og Ål er det derfor valgt å fokusere på bremsekurvene ved hastighetsnedsettelse. Dette for å til slutt kunne si noe om hvorvidt innføringen av ERTMS vil påvirke reisetiden, og dermed gjennomsnittshastigheten på strekningen. Ettersom det er viktigere for persontransporten enn godstransporten å redusere reisetiden, er det valgt å avgrense hastighetsprofilen til å kun omfatte pluss-hastighet.

4.2.2 Forutsetninger

For å kunne benytte bevegelsesligningene til å beregne sammenhengen mellom fart, strekning, tid og akselerasjon må det antas at akselerasjonen er konstant. ETCS-bremsekurvenes retardasjon avtar i størrelsesorden $0,1 \text{ m/s}^2$ i løpet av en bremsekurve. Det er grunn til å tro at beregninger gjort med konstant retardasjon som en gjennomsnittsverdi vil gi lite avvik i tidsberegningen. For de faktiske bremsekurvene målt med GPS er ikke retardasjonen konstant av flere grunner. For det første har lokomotivfører mulighet til å justere bremsekraften underveis i nedbremsingen slik at denne ikke vil være konstant. Ulike bremsesystemer kan også benyttes parallelt. For eksempel kan den elektriske motstandsbremsen benyttes i starten av nedbremsingen, og bremsekraften kan økes ved bruk av driftsbremse i tillegg. Ettersom det antas at akselerasjonen er konstant når den ikke er det, vil ikke tidsberegningene for nedbremsing automatisk være korrekt. Det kan antas at toget får en gradvis overgang fra ingen retardasjon til konstant retardasjon, og etterhvert en gradvis overgang til ingen retardasjon. I figur 4-1 vises en mulig bremsekurve i blått for et tog basert på foregående antagelse og en kurve med konstant akselerasjon i oransje. I figuren under er det antatt at denne overgangen tar 10 sekunder. Med en slik tilnærming vil toget i starten kjøre litt raskere enn bremsekurven for konstant akselerasjon, og på slutten litt saktere. Tiden som vinnes i starten brukes opp mot slutten. Dette gjør at tilnærmingen med konstant akselerasjon blir relativt korrekt. Uansett er det ikke nøyaktig tidsbruk i en bremsekurve som er interessant, men forskjellen i tidsbruk mellom de ulike bremsekurvene. Så lenge det kun sammenlignes kurver med konstant akselerasjon er det grunn til å anta at tidsdifferansen mellom de ulike bremsekurvene ligger nært opp til sannheten slik tabell 4-1 viser.



Figur 4-1 Sammenligning av bremsekurver med variabel og konstant akselerasjon over 1000 og 1500 meter.

Tabell 4-1 Tidsavvik mellom bremsekurver med variabel og konstant akselerasjon over 1000 og 1500 meter.

	Variabel aks. (sek)	Konstant aks. (sek)	Avvik (sek)
1000 m	35	34	1
1500 m	52	51	1
Differanse	17	17	0

4.2.3 Kurver i hastighetsprofil

Hastighetsprofilen viser kontinuerlige kurver for beregnet og skiltet hastighet, og ulike bremsekurver for hver hastighetsnedsettelse. Hastighetsprofilen er utarbeidet som et diagram i Excel på bakgrunn av dataserier som er nærmere forklart i de neste avsnittene.

4.2.3.1 GPS-sporing

De faktisk kjørte bremsekurvene er generert med data fra GPS-måling utført på tog 61, «morgenekspressen», Oslo-Bergen. Det var ut i fra målingene ikke mulig å gjengi et komplett hastighetsprofil på strekningen da GPS signalet falt ut relativt ofte, blant annet i tunneller. På grunn av dette oppgir GPS-en at strekning mellom Hønefoss og Ål har vært 10 km kortere enn det kilometreringsen langs sporet viser. Alle bremsekurver fra GPS har derfor fått feil plassering i forhold

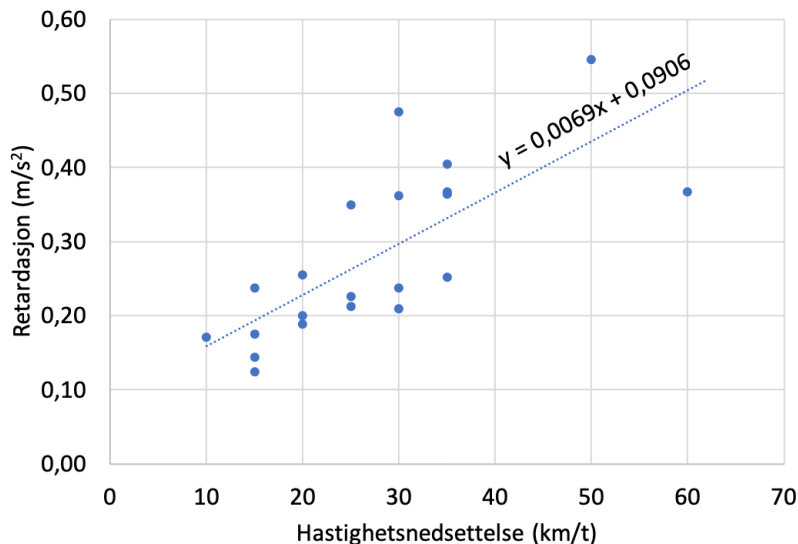
til virkelig distanse. Det ble på turen notert tidspunkt for passering av alle skilt for hastighetsnedsettelse og markeringsskilt. Basert på dette har det derfor likevel vært mulig å plassere bremsekurvene riktig i hastighetsprofilen. Det har ikke vært ønskelig å konstruere data der tilfredsstillende data mangler, og det mangler derfor noen bremsekurver.

Det er flere potensielle feilkilder i denne datainnsamlingen. Unøyaktighet i GPS-posisjon og skiltplassering, at tidspunkter er avlest av en person, og at det kun er utført én tur er viktige feilkilder. I tillegg er bremsekurvene plassert i hastighetsprofilen ut ifra posisjonen til markeringsskiltet og tidspunktet for passering av dette, fordi kilometreringsmerket på GPSen hadde store avvik fra faktisk kilometring. Det vil også ligge variasjoner i kjørestil til lokomotivførerne, bremseprosent og adhesjon. Det er likevel rimelig å anta at togturen som ble logget er representativ for kjøreadferden på strekningen, og at det på bakgrunn av dette er grunnlag nok til å kunne si noe om hvordan nedbremsing foregår i dag i sammenlignet med etter utbygging av ERTMS.

4.2.3.2 Regresjonsanalyse basert på GPS-sporing

Ut fra kurven generert av data fra GPS-sporing kan det ses hvordan toget i realiteten bremses ned, men det er vanskelig å benytte disse dataene direkte for å sammenligne tidsforskjellen mot ETCS. Toget som GPS-dataene stammer fra, holdt ikke nøyaktig skiltet hastighet i det nedbremsingen startet, og det holdt heller ikke akkurat ny skiltet hastighet ved markeringsskiltet. I tillegg varierer retardasjonen for hver nedskilting av hastighet. Plotting av GPS-dataene viser en tendens til at retardasjonen øker med størrelsen på hastighetsnedsettelsen. Hvorvidt toget er i rute spiller også en rolle for hvordan lokomotivføreren kjører toget, og dermed hvordan nedbremsingen foregår. Om toget er etter oppsatt rutetid vil lokomotivfører bruke sin lokalkunnskap og gjøre raskere akselerasjoner og retardasjoner der det er mulig, og dermed utnytte sporgeometrien for å kjøre inn tid. For å kunne si noe om hvordan tidsbruken endres med innføring av ERTMS er det ønskelig å generere en kurve for dagens situasjon på samme premiss som ETCS-bremsekurven, det vil si en forenklet kurve med konstant akselerasjon. For å komme fram til bremsekurver som kan være beskrivende for dagens situasjon er data fra GPS-sporingen studert, og en retardasjon er regnet ut for hver hastighetsnedsettelse det foreligger GPS-data for. Dette er gjort ved å se på hastigheten toget holdt ved markeringsskiltet, hastigheten til toget ved nedbremsingens start, og hvor lang strekning før markeringsskiltet nedbremsingen startet. Bevegelsesligninger er deretter benyttet for å beregne en konstant akselerasjon mellom disse to punktene. Når det kommer til nedbremsingens start er det vanskelig å si nøyaktig når denne inntreffer. Dels fordi unøyaktigheter i GPS-dataene fører til at hastighetskurven ikke er en glatt kurve, og dels fordi nedbremsingen ofte skjer som en blanding av å rulle av fart i stigning, elektrisk motstandsbrems og driftsbrems. Ingen av nedbremsingsteknikkene har momentan virkning på retardasjonen, derfor vil heller ikke dette vises tydelig i hastighetsprofilen. En mulighet for å finne en tilnærming av punktet for nedbremsing ville vært å la en algoritme glatte kurven og definert punktet for nedbremsing som det punktet den deriverte er over en viss verdi. Dataene inneholder store variasjoner, og det er ikke alle bremsekurver som er representative som en nedbremsing fordi lokfører har god tid i henhold til rute, og ikke bremses ned, men lar toget rulle av seg fart. Det må derfor uansett gjøres en manuell vurdering av hver bremsekurve. Det er sannsynlig at en manuell plassering av startpunkt for nedbremsing er like presist som at en algoritme skulle gjøre dette, og fordi det er relativt få bremsekurver er dette en overkommelig jobb. En fordel med å gjøre dette manuelt er at det fås et bedre inntrykk av hvor presis akselerasjonen som beregnes er, og hvilke vurderinger som ligger til grunn. Det er valgt å legge startpunktet for nedbremsing mot konservativ side, det vil si lavere

retardasjon, der det er tvil. Retardasjon for alle hastighetsnedsettelse er plottet mot størrelsen av hastighetsnedsettelsen, og lineær regresjon er benyttet for å gi en sammenheng mellom disse to variablene. Denne sammenhengen, som er vist i figur 4-2, er benyttet for å kunne beregne forenklede bremsekurver med konstant akselerasjon, også for de hastighetsnedsettelsene det ikke foreligger GPS-data for. I det ferdige hastighetsprofilen framkommer både data fra GPS-springen og de forenklede bremsekurvene basert på GPS-dataene. Det er derfor lett å se om den beregnede akselerasjonen virker rimelig. Dette vil uansett ikke være noe eksakt vitenskap, og er bare ment å gi et inntrykk av dagens situasjon basert på en enkelt togtur, da det statistiske grunnlaget er for svakt for å gi noe mer enn en indikasjon.



Figur 4-2 Sammenheng mellom retardasjon og hastighetsnedsettelse basert på GPS-data. Funksjon fra lineær regresjon er tegnet inn.

4.2.3.3 ATC-bremsekurve

Avstand mellom hastighetsskiltet og markeringsmerket på en ATC-strekning bestemmes ut fra en tidsforsinkelse og en retardasjon. Tidsforsinkelsen er sum av reaksjonstid og tilsetningstid, og retardasjonen er satt til $0,7 \text{ m/s}^2$, med et fratreck dersom det er fall på strekningen. Fratrekket avhenger av størrelsen på fallet. Dersom det er stigning økes ikke retardasjonen, men beholdes lik $0,7 \text{ m/s}^2$. Nylig er skiltavstander gjennomgått på Bergensbanen, og det er kontrollert at avstanden er større enn minstekravet som framkommer av tidsforsinkelsen og retardasjonen. ATC-bremsekurven i hastighetsprofilen er beregnet ut fra akselerasjonene som benyttes for å finne avstanden mellom hastighetsskilt og markeringsmerke [91]. ATC-bremsekurven som her er beskrevet må ikke forveksles med en bremsekurve ved bremseaksjon fra DATC eller FATC. Det er kun retardasjonsverdien som ligger til grunn for prosjektering av skiltavstand som er bakgrunn for bremsekurven.

4.2.3.4 Forenklet ETCS-bremsekurve med driftsbremser

ETCS-bremsekurvene er beregnet med bremsekurve-regneark utarbeidet av ERA. Dette regnearket genererer ETCS-bremsekurver basert på parametere som hastighet før og etter nedbremsing, stigning og fall der nedbremsingen skjer, bremseprosent, og gitte nasjonale og internasjonale verdier. En komplett oversikt over inngangsparametere brukt i regnearket, og noen kommentarer til disse, finnes i vedlegg A. Inngangsparametere er hentet fra Subset-026, nasjonale verdier, samt bremseprosent og toglengde lik toget det ble foretatt GPS-sporing av. Vertikal sporgeometri og

skiltet hastighet er hentet fra BaneData Innsyn 13. februar. I hastighetsprofilen er det bremsekurven for permitted speed som framkommer. Dette fordi det er denne hastighetskurven lokomotivførerne vil tilstrebe å følge. Det er en pågående diskusjon om hvorvidt driftsbrems skal inkluderes i hastighetsovervåking med ERTMS. Derfor er bremsekurver både med og uten driftsbrems beregnet for å kunne belyse konsekvensene av valget. ETCS-bremsekurvene fra regnearket til ERA er forenklet ved å anta at akselerasjonen er konstant mellom punktet hvor kurven for permitted speed starter retardasjonen og punktet hvor ny hastighet nås. ETCS-bremsekurver når målhastighet et stykke før punktet som defineres som målpunkt for bremsekurven. Dette framkommer på hastighetsprofilen som en horisontal linje fram mot målpunktet.

4.2.3.5 Forenklet ETCS-bremsekurve uten driftsbrems

Denne kurven er beregnet på samme måte og med samme forutsetninger som ETCS-bremsekurve med driftsbrems, med eneste forskjell at driftsbrems-kurven er utelatt fra hastighetsovervåkingen. Dette fører til at permitted-kurven ender nærmere nødbremsekurven, ettersom det spares tid fordi det unngås at driftsbrems først skal ha tid til å virke før nødbremsekurven slår inn.

4.2.3.6 Forenklet ETCS-bremsekurve med driftsbrems og flytting av målpunkt

Ettersom ERTMS regner nødbremsekurven som den sikre bremsekurven, er det denne som har målpunktet sitt i dagens markeringsmerke. Permitted-kurven får derfor sitt målpunkt et stykke før dagens markeringsmerke. Det er derfor interessant å se hvordan en slik bremsekurve vil se ut dersom målpunkt for nødbremsekurve ble flyttet inn i horisontalkurven slik at toget når målhastighet nærmere dagens markeringsmerke. Retardasjonsdelen av bremsekurven er identisk med den forenklete ETCS-bremsekurven med driftsbrems som framgår av 4.2.3.4 Forenklet ETCS-bremsekurve med driftsbrems. Dersom driftsbrems blir tillatt i hastighetsovervåkingen fås en situasjon der noen tog kjører *med* og noen *uten* driftsbrems i hastighetsovervåkingen. Dette fordi tog uten driftsbrems i hastighetsovervåkingen ikke kan nektes å kjøre på strekningen. Avstanden det i forkant av målpunktet kjøres med målhastighet øker for bremsekurver hvor driftsbrems inkluderes sammenlignet med hvor driftsbrems ikke inkluderes. Bremsekurven som er plottet i hastighetsprofilen tilsvarer bremsekurven for et tog som kjører med driftsbrems i hastighetsovervåkingen under forutsetning av at det nasjonale valget for om driftsbrems skal inkluderes i hastighetsovervåkingen settes til tillatt. Målpunkt for nødbremsekurven kan derfor ikke flyttes mer enn at tog som kjører uten driftsbrems i hastighetsovervåkingen får en permitted-kurve som når målhastighet før dagens markeringsmerke. Flytting av målpunkt inn i horisontalkurven fører til at delen av bremsekurven med målhastighet i forkant av målpunktet reduseres til differansen mellom bremsekurven med og uten driftsbrems med et tillegg. Grunnen til tillegget er at avstanden mellom målpunktet og punktet hvor toget når målhastighet vil variere noe fra tog til tog. Ved å endre ulike parametere i bremsekurvemodellen er det forsøkt å se sammenhenger om hvordan denne avstanden endres. Ut fra testing med bremsekurvemodellen observeres at godstog har en lengre avstand med målhastighet i forkant av målpunkt sammenlignet med persontog. Det observeres også at avstanden øker med målhastighet og økende bremseprosent. Stigning og fall har tilnærmet ingenting å si. Det kreves nøyere studier for å sette en riktig verdi for tillegget. Det er i denne oppgaven antatt en lengde på 10 % av den opprinnelige lengden med målhastighet på bremsekurven uten driftsbrems. Det viktigste med denne kurven i hastighetsprofilen er at målpunkt for nødbremsekurven flyttes inn i horisontalkurven, samt at permitted-kurven ikke flyttes helt til dagens markeringsmerke.

4.2.3.7 Forenklet ETCS-bremsekurve uten driftsbrems og med flytting av målpunkt

Denne bremsekurven framkommer på samme måte som 4.2.3.6 Forenklet ETCS-bremsekurve med driftsbrems og flytting av målpunkt, men med den forskjellen at det nå antas at driftsbrems i hastighetsovervåkningen ikke tillates. Det fås da en situasjon hvor alle tog kjører uten driftsbrems i hastighetsovervåkningen, og det unngås en situasjon der noen kjører med og noen uten. Det vil da være mulig å flytte målpunkt for nødbremsekurve så langt inn at permitted-kurven når målhastighet rett før dagens markeringsmerke. Av samme grunn som for forrige kurve reduseres delen av bremsekurven med målhastighet i forkant av målpunktet til 10 % av opprinnelig lengde.

4.2.3.8 Skiltet hastighet

Kurve for skiltet hastighet er plottet på bakgrunn av data om skiltet pluss hastighet og plassering av skilt hentet fra BaneData Innsyn 13. februar. Ved hastighetsøkning er plassering av skilt brukt som posisjon for hastighetsendring i hastighetsprofilen, og for hastighetsnedsettelse er markeringsmerket brukt som posisjon for hastighetssenkning.

4.2.3.9 Hastighetsbegrensning ut fra sporgeometri

For å få et bilde av hvor stor hastighet det er mulig å kjøre i de ulike kurvene på strekningen Hønefoss-Ål, og dermed se om skiltet hastighet er rimelig, er hastighet for alle kurver og overgangskurver beregnet. Dette innebærer beregning av 731 elementer etter krav i Teknisk regelverk. For rettlinjier er ingen hastighet regnet ut, ettersom ingen sporgeometriparametre er dimensjonerende for rettlinje.

4.2.3.9.1 Rettlinje

Overbygningsklasse og kontaktledningsanlegg kan være dimensjonerende for hastighet på rettlinje. Bergensbanen har overbygningsklasse C [92], som begrenser hastigheten for personvogner til 160 km/t så lenge aksellast er under 18 tonn. Alle personvogner i Norge har aksellast 10-12 tonn [93]. Maksimal aksellast for lokomotiv i persontog er 22,5 tonn. Lokomotivet, EL18, som benyttes på strekningen Hønefoss-Ål har aksellast på 22,1 tonn, noe som er innenfor kravet. Det er ikke knyttet en hastighetsbegrensning til lokomotivet i persontog slik det er for vognene. 160 km/t blir dermed dimensjonerende hastighet ut fra overbygningsklasse [32]. Kontaktledningsanlegget på strekningen består i hovedsak av det eldre systemet tabell 54, med kortere strekninger av det nyere system 20A og 20B. De to sistnevnte har en maksimal hastighet med én strømvaktaker på henholdsvis 200 og 160 km/t [94]. Strekningen er utbygd med DATC og dette begrenser maksimal hastighet til 130 km/t, selv om kontaktledningsanlegg og overbygningsklasse tillater høyere hastighet. Med ERTMS vil denne begrensningen bortfalle. Tabell 54 har i utgangspunktet en maksimal hastighet på 80 km/t, men tåler 130 km/t dersom det godtas noe mer slitasje. Ut fra mastetabell i BaneData innsyn kommer det fram at deler av strekningen Hønefoss-Ål har spesifisert tillatt hastighet med tabell 54 på 130 km/t. Andre deler av strekningen har ingen slik hastighet skrevet i tabellen. Etter råd fra ekspertise på kontaktledningsanlegg [28] er det antatt i denne oppgaven at det for hele strekningen kan kjøres i 130 km/t der det er tabell 54 kontaktledningsanlegg dersom ingen andre parametre er begrensende. Togavhengige hastighetsbegrensninger, som for eksempel begrensninger gitt av bremsetabeller, er ikke tatt med her. For strekningen Hønefoss-Ål er maksimal hastighet i hastighetsprofilen på rettlinje satt til 130 km/t der kontaktledningsanlegget er tabell 54, ettersom det er mindre enn 160 km/t som er den største tillatte hastigheten ut fra overbygningsklassen. Der hvor kontaktledningsanlegget er system 20A og 20B er maksimal hastighet satt til 160 km/t fordi hastighet ut fra overbygningsklassen da blir dimensjonerende.

4.2.3.9.2 Kurver

For sirkelkurver er grenseverdier for manglende overhøyde benyttet, for overgangskurver er grenseverdier for rampestigningshastighet og rykk benyttet. Utrekningene ble gjort med Bane NORs eget program, Maksfart, på bakgrunn av data for horisontal sporgeometri og skiltet hastighet hentet fra BaneData Innsyn 13. februar. Programmet genererer feilmeldinger der det ikke klarer å regne ut dimensjonerende hastighet. Feilmeldinger er gjengitt i vedlegg G. Dette er blant annet på grunn av feil i løfteskjema som danner grunnlag for data om horisontalgeometri brukt i Maksfart, feil i programvare ved beregning av FKP, og overgangskurver hvor lengden av overgangskurven og rampen ikke sammenfaller. Programmet genererte feilmeldinger som førte til endringer på 58 elementer. Feilmeldingene ble behandlet ved at hastigheter ble regnet ut manuelt basert på øvrig informasjon i løfteskjema, samt en del antagelser. Antagelser bygger på konservative valg, hvor det valget som fører til lavest dimensjonerende hastighet er benyttet.

4.3 Tidsberegning av hastighetsprofiler

Tidsberegningene er basert på data utarbeidet i forbindelse med kurvene i hastighetsprofilen. Til å gjøre beregningene er regneark benyttet. Hvordan data framkommer er beskrevet for hver enkelt kurve under 4.2.3 Kurver i hastighetsprofil. Hastighet og posisjon ved bremsekurvenes start og slutt danner grunnlag for beregningene som er gjort under forutsetning av konstant akselerasjon mellom disse punktene. Konstant akselerasjon er antatt for å kunne bruke bevegelseslikningene der hastigheten ikke er konstant. Posisjonene er angitt i forhold til dagens plassering av markeringsmerket. For å sikre at alle bremsekurvene kan sammenlignes, uansett lengde, er kjøretiden de siste 1500 meterne før markeringsmerket beregnet. 1500 meter er valgt fordi det er lengre enn lengste bremsekurve. Kjøretiden disse 1500 meterne sier i seg selv ikke så mye, men differansen i kjøretid kan brukes til å illustrere de ulike bremsekurvene.

4.4 Bremsekurver

Oppsummering av funn gjort under beregning av bremsekurver er basert på data utarbeidet i forbindelse med bremsekurvene i hastighetsprofilen. Hvordan data framkommer er beskrevet for hver enkelt kurve under 4.2.3 Kurver i hastighetsprofil. Retardasjonsberegningene er gjort for hver enkelt hastighetsnedsettelse og for alle bremsekurvetypene. Retardasjonene er basert på posisjon og hastighet ved bremsekurvenes start og slutt. Konstant akselerasjon er antatt for å kunne benytte bevegelseslikninger.

4.5 Andre beregninger

4.5.1 Optimalisering av overhøyde

Optimalisering av overhøyde er gjort med et regneark hvor dimensjonerende hastighet er regnet ut basert på komfortkriteriene for alle overhøyder. Hele kurvekombinasjonen med to overgangskurver med mellomliggende sirkelkurve er vurdert sammen. Første økning i overhøyde som fører til økt skiltet hastighet er valgt. Ettersom skiltet hastighet oppgis i hele 5-ere må dimensjonerende hastighet økes til en verdi høyere enn neste heltall delelig på fem for at skiltet hastighet skal kunne økes. Tillatt hastighet i sirkelkurver øker med økende overhøyde. For overgangskurver må både rampestigningshastighet og rykk vurderes. Med hensyn på rampestigningshastigheten synker tillatt hastighet med økende overhøydeendring. For rykk øker tillatt hastighet med økende

overhøydeendring. Dimensjonerende hastighet for rykk må beregnes i en iterativ prosess fordi hastighet inngår i formelen.

Grenseverdi for overskuddsoverhøyde er sjekket ved at likevektshastighet er regnet ut for den aktuelle overhøyden, og denne er lavere enn dimensjonerende hastighet for de langsomtgående tog. De langsomtgående tog kjører dermed med manglende overhøyde og ikke overskuddsoverhøyde.

Tidsbruk er beregnet ut fra en forutsetning av at tog holder nøyaktig skiltet hastighet og at retardasjon og akselerasjon mellom skiltede hastigheter er $0,5 \text{ m/s}^2$. Tidsbruk er beregnet med bevegelsesligninger der det er akselerasjon og retardasjon. Ved konstant hastighet er formel for hastighet, strekning og tid benyttet. Tidsbruk er beregnet fra 1 km i forkant av hastighetsnedsettelsen til 1 km i etterkant av hastighetsøkningen slik at referansepunktene for beregning med ny og gammel overhøyde blir lik. Data for skiltet hastighet og dimensjonerende hastighet, samt posisjoner for hastighetsendringer, er hentet fra hastighetsprofilen. Nærmere beskrivelse av hvordan kurvene framkommer finnes i 4.2.3 Kurver i hastighetsprofil. Tidsbesparelsen er differansen i total tidsbruk mellom de to referansepunktene med nåværende og økt skiltet hastighet.

4.5.2 Konservativ skilting pga avrundingsregler

Dimensjonerende hastighet i sirkelkurver og ukompensert sideakselerasjon er beregnet med formel for ukompensert sideakselerasjon. Tidsbruk er beregnet på samme måte som beskrevet 4.5.1 Optimalisering av overhøyde.

4.5.3 Potensiale for høyere skiltet hastighet

Målevognsbilder fra Bane NOR er kontrollert for å se etter sporveksler, planoverganger, bruer eller andre elementer som kan være årsak til hastighetsnedsettelse. Sporgeometriskjema fra interne systemer er også kontrollert for å se etter sporfeil som kan være årsak til nedsettelsen i hastighet. Tidsbruk er beregnet på samme måte som beskrevet i 4.5.1 Optimalisering av overhøyde.

4.5.4 Tap av tid ved gjennomgang av hastighetsprofilen

Hastighetsprofilen er benyttet for lokalisering av steder hvor skiltet hastighet er over dimensjonerende hastighet i kurveelementer samt for avlesing av skiltet hastighet. Formel for beregning av manglende overhøyde er benyttet for å verifisere at dimensjonerende hastighet i hastighetsprofilen er riktig for de aktuelle sirkelkurvene. Tidsbruk er beregnet på samme måte som beskrevet i 4.5.1 Optimalisering av overhøyde.

4.5.5 Risiko for velt ved flytting av målpunkt for nødbremsekurve

Velteberegninger er gjort som en momentbetraktning om ytre sporstreng. Data for horisontal sporgeometri og skiltet hastighet er hentet fra BaneData Innsyn 13. februar. Beregning av maksimal overhastighet uten at nødbrems slår inn er basert på TSI CCS Subset-026 [84].

4.5.6 Flytting av markeringsmerket

Tidsbruk er beregnet på samme måte som beskrevet i 4.5.1 Optimalisering av overhøyde.

4.5.7 Siktkrav til skilt bortfaller

Posisjon til markeringsmerker og økt kjørehastighet-skiltene er sammenlignet med start og slutt for overgangskurver ut fra hastighetsprofilen. Nærmere beskrivelse av hvordan kurvene i hastighetsprofilen framkommer finnes i 4.2.3 Kurver i hastighetsprofil. Målevognsbilder fra Bane NOR er deretter vurdert for hvert enkelt tilfelle for å se om det kan være noe annet enn siktkrav som

er årsak til plassering av skilt. Tidsberegning er gjort ved å se på tidsforskjellen på kjøretid med og uten flytting av markeringsmerket eller økt kjørehastighet-skilt til riktig plassering av skiltet. Til dette er den grunnleggende formelen for hastighet, strekning og tid benyttet.

4.5.8 Hastighetsbegrensning som følge av DATC

Oversikt over kontaktledningsnett i form av mastetabell er hentet fra Banedata Innsyn 18. mars. Overbygningsklasse er hentet fra Bane NORs nettsider [92]. Liste over planoverganger er hentet fra Banedata Innsyn 6. mai. Målevognsbilder fra Bane NOR er kontrollert for å se etter begrensende faktorer, som for eksempel broer og sporveksler, med tanke på økt hastighet med ERTMS.

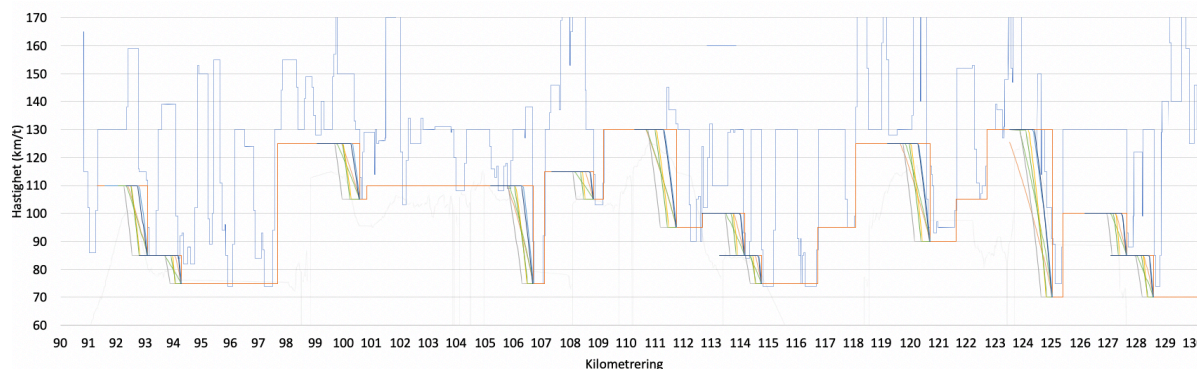
Tidsbruk er beregnet ut fra en akselerasjon på $0,5 \text{ m/s}^2$ fra punkt for hastighetsøkning, og tilsvarende retardasjon på $0,5 \text{ m/s}^2$ slik at målhastighet nås ved dagens markeringsmerke. Bevegelsesligninger er benyttet til utregningene der hastigheten ikke er konstant.

4.5.9 Begrensninger i antall hastighets- og vertikalkurvaturendringer

Informasjon om stasjoner og blokkposter er hentet fra Banedata Innsyn 4. april. Hastighetsendringer og vertikalgeometri er hentet fra Banedata Innsyn 13. februar. Data er deretter flettet sammen i Excel, og antall hastighets- og vertikalkurvaturendringer per blokkstrekning er hentet ut.

5 Resultat

I denne delen av oppgaven presenteres alle resultater det er kommet fram til. Resultatenes effekt og betydning for kapasitet og hastighet diskuteres i oppgavens diskusjonsdel.



Figur 5-1 Utdrag av de 40 første kilometerne av det 139 km lange hastighetsprofil for strekningen Hønefoss-Ål. Hastighetsprofilen finnes i sin helhet i vedlegg I.

5.1 Tidsberegning fra hastighetsprofil

På strekningen Hønefoss-Ål er det beregnet ulike bremsekurver for alle reduksjoner i skiltet hastighet. For å kunne sammenligne de ulike bremsekurvene på en god måte er det valgt å beregne forskjellen i tidsbruk mellom de ulike kurvene for et tog som følger bremsekurvene eksakt. Det er beregnet tidsbruk for to kurver for dagens situasjon og fire kurver for situasjonen etter ERTMS er innført. Det er vanskelig å gi et korrekt bilde av dagens situasjon gjennom en bremsekurve ettersom denne blant annet vil variere med tog, lokfører og adhesjonsforhold. Det har derfor vært ønskelig å la to kurver representere dagens situasjon, en med høy og en med lav retardasjon. Som uttrykk for den høye retardasjonen er det valgt en retardasjon som benyttes i ATC-prosjektering. Dette er en fast verdi som reduseres noe ved fall på strekningen. Som uttrykk for bremsekurven med lav retardasjon er det valgt en modell basert på en regresjonsanalyse utført på GPS-data fra én togtur på strekningen Hønefoss-Ål. Dette er et svakt statistisk grunnlag fordi det ikke er gjennomført flere målinger og det på flere deler av strekningen var såpass dårlig GPS-dekning at enkelte målinger mangler. Likevel antas disse dataene å gi et godt bilde på hvordan nedbremsing ble gjennomført den aktuelle dagen, og at det igjen gir et sannsynlig bilde på situasjonen med dagens signalsystem.

Situasjonen etter ERTMS avhenger i stor grad av om driftsbrems inkluderes i hastighetsovervåkingen eller ikke. Det er derfor beregnet bremsekurver både med og uten driftsbrems. Ettersom permitted-kurven når mål hastighet et stykke før målpunkt er det også interessant å se hvordan flytting av målpunkt inn i horisontalkurvene påvirker tidsbruken. Det er derfor også beregnet bremsekurver med og uten driftsbrems hvor målpunkt er flyttet inn i kurvene. Tabell 5-1 viser resultatet fra tidsberegningene både som summe på hele strekningen og som gjennomsnittsverdier for hver hastighetsnedsettelse. Fullstendig oversikt over tidsbruk med de ulike bremsekurvene for hver enkelt hastighetsnedsettelse finnes i vedlegg C.

Tabell 5-1 Beregningene viser at kjøretid ved hastighetsnedsettelse på strekningen Hønefoss-Ål øker ved innføring av ERTMS sammenlignet med dagens situasjon. Tabellen viser kjøretidsøkning som sum og gjennomsnitt for alle hastighetsnedsettelsene.

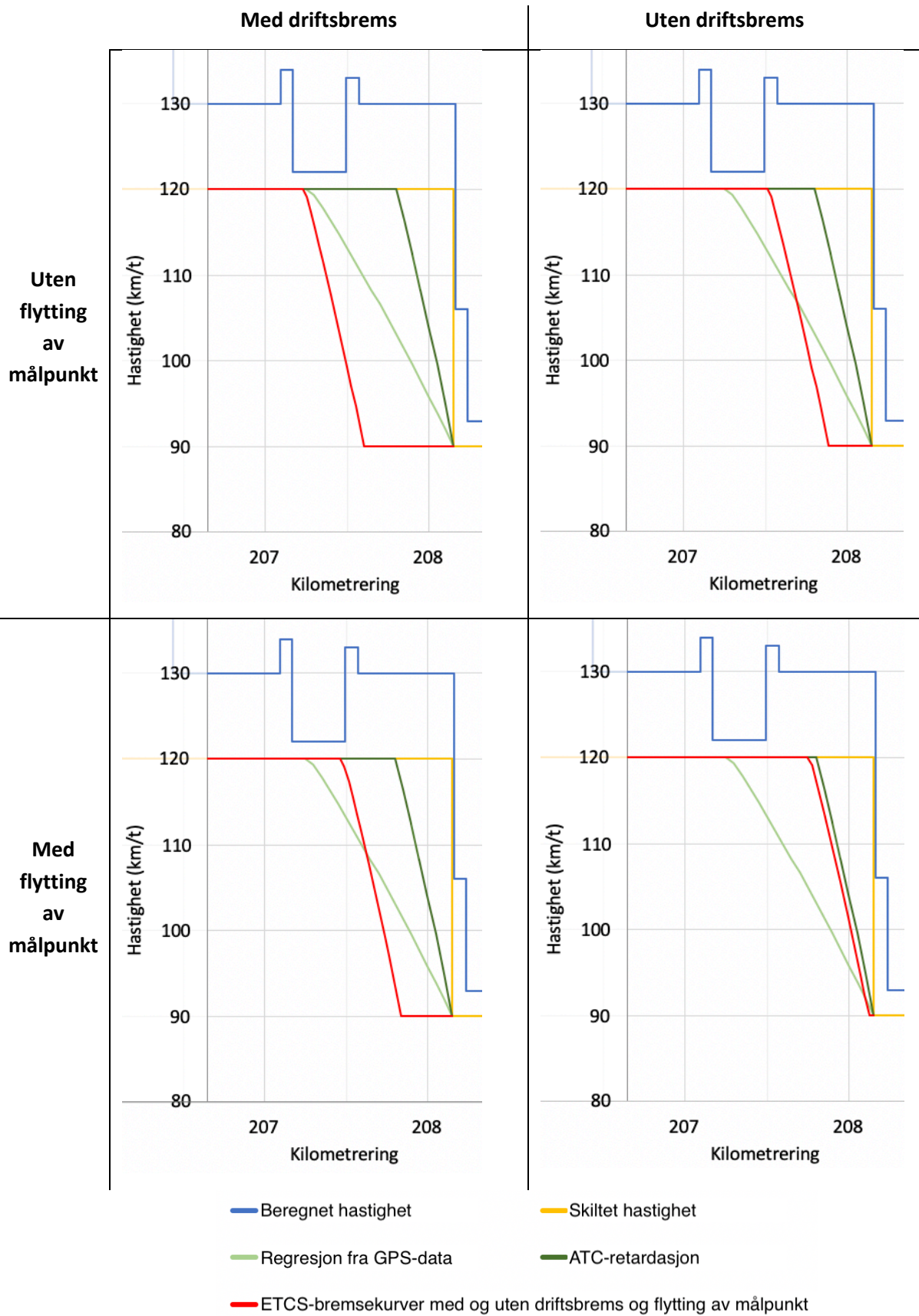
Bremsekurver sammenlignet		Økt kjøretid med ERTMS ved alle hastighetsnedsettelse (Hønefoss-Ål)	
ERTMS	Dagens situasjon	Sum (sek)	Gjennomsnitt (sek)
ETCS m/ driftsbrems	GPS-regresjon	111	3,0
	ATC	167	4,5
ETCS u/ driftsbrems	GPS-regresjon	27	0,7
	ATC	82	2,2
ETCS m/ driftsbrems Målpunkt flyttes	GPS-regresjon	38	1,0
	ATC	93	2,5
ETCS u/ driftsbrems Målpunkt flyttes	GPS-regresjon	-47	-1,3
	ATC	8	0,2
Med/uten driftsbrems			
ETCS m/ driftsbrems	ETCS u/ driftsbrems	85	2,3

5.2 Bremsekurver

Ulike bremsekurver har ulike retardasjoner og når mål hastighet i ulik avstand før målpunkt. Tabell 5-2 viser gjennomsnittsverdier for de ulike bremsekurvene ved hastighetsnedsettelse på strekningen Hønefoss-Ål. En utfyllende tabell for alle hastighetsnedsettelse finnes i vedlegg H. GPS-regresjon og ATC-kurver gir et bilde på dagens situasjon, og viser målt retardasjon på en togtur og retardasjonen det tas utgangspunkt i ved utregning av skiltavstand. Beregning av skiltavstand med ATC innebærer en tidsforsinkelse før en konstant retardasjon med målpunkt i markeringsmerket. De ulike variantene av ETCS-bremsekurvene skal gi et bilde på hvordan situasjonen blir både dersom driftsbrems inkluderes og ekskluderes fra hastighetsovervåkingen. Målpunkt for nødbremsekurve er plassert på samme sted som dagens markeringsmerke for de kurvene det ikke er spesifisert at målpunktet er flyttet. Det er observert en sterk korrelasjon mellom mål hastighet og avstanden fra målpunkt for nødbremsekurve til punktet hvor permitted-kurven når mål hastighet. Bremsekurver hvor målpunkt for nødbremsekurve er flyttet inn i kurven er også tatt med fordi dette kan være et aktuelt tiltak for å gjøre situasjonen etter innføring av ERTMS mer lik dagens situasjon.

Tabell 5-2 Gjennomsnittsverdier for bremsekurver ved alle hastighetsnedsettelse på strekningen Hønefoss-Ål.

	Bremsekurve	Retardasjon (m/s ²)	Avstand fra markeringsmerket (m)	
			Bremsekurve start	Bremsekurve slutt
Dagens situasjon	GPS-regresjon	0,25	645	0
	ATC	0,68	260	0
ERTMS	ETCS m/ driftsbrems	0,57	797	495
	ETCS u/ driftsbrems	0,70	512	252
	ETCS m/ driftsbrems og flytting av målpunkt	0,57	570	268
	ETCS u/ driftsbrems og flytting av målpunkt	0,70	285	25

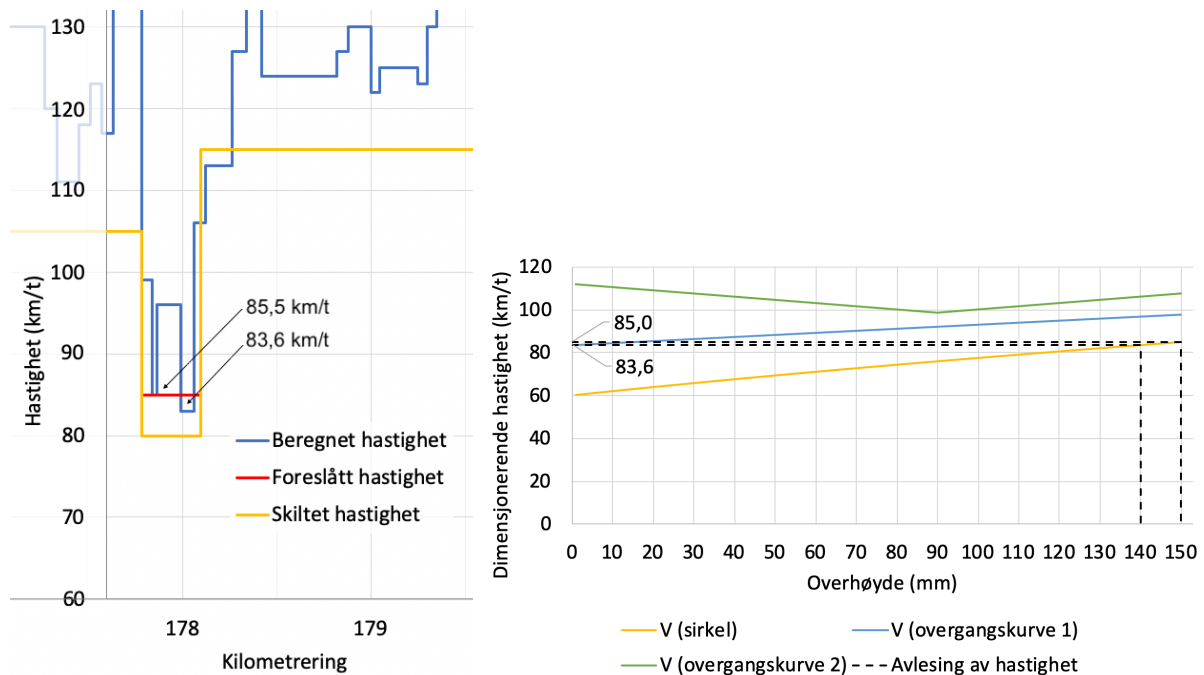


Figur 5-2 Sammenligning av bremsekurver i dag og med ERTMS. Eksempel er hentet fra km 208. Rød ETCS-bremsekurve endres i figurene, og varierer med om driftsbremser er inkludert og om målpunkt flyttes.

5.3 Optimalisering av overhøyde

Ved km 177,785 senkes skiltet hastighet fra 105 til 80 km/t, før den ved km 178,100 økes til 115 km/t. Slik hastighetsprofilen i figur 5-3 viser er det to sirkelkurver som har en dimensjonerende hastighet som kan begrense skiltet hastighet. Den første har beregnet hastighet 85,5 km/t og den andre har beregnet hastighet 83,6 km/t. Dermed er kun den siste sirkelkurven begrensende for skiltet hastighet. Radien i denne kurven er 284 m og overhøyden er 140 mm. Dersom overhøyden i sirkelkurven økes til 150 mm, som er maksimal tillatt overhøyde, øker dimensjonerende hastighet til 85,0 km/t og det kan skiltes 85 km/t i stedet for 80 km/t.

Rampestigning er kontrollert for overgangskurvene i tilknytning til sirkelkurven hvor overhøyden økes og funnet innenfor kravet. Ved en overhøyde på 150 mm er likevektshastighet 60,1 km/t i denne sirkelkurven. Dimensjonerende hastighet for de langsomtgående tog er 80 km/t. Ettersom denne hastigheten er over likevektshastigheten kjører godstog med manglende overhøyde, ikke overskuddsoverhøyde. Grenseverdien for overskuddsoverhøyde som kunne begrenset overhøyden kommer derfor ikke til bruk. Økningen i skiltet hastighet gir 2,2 sekunder i spart tid.

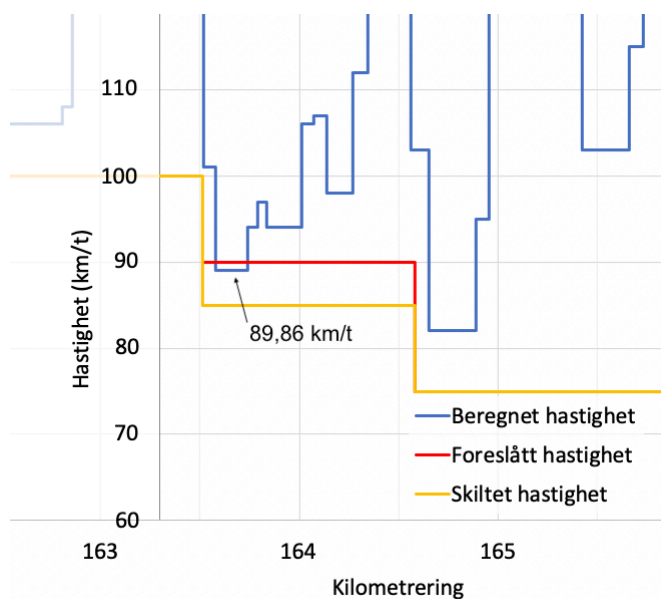


Figur 5-3 Til venstre sees utdrag av hastighetsprofilen som viser kurven hvor overhøyden foreslås endret. Til høyre visualiseres beregningene av dimensjonerende hastighet i kurven. En økning i overhøyde fra 140 til 150 mm fører til at kurven kan gjennomkjøres i 85,0 i stedet for 83,6 km/t.

5.4 Konservativ skilting pga avrundingsregler

Fra km 163,513 gjelder skiltet hastighet 85 km/t, en nedsettelse fra 100 km/t. Ved km 163,577 starter en sirkelkurve med radius 349 m og overhøyde 120 mm. Denne sirkelkurven er slik figur 5-4 viser dimensjonerende for skiltet hastighet 85 km/t. Beregning av den aktuelle sirkelkurven gir en dimensjonerende hastighet på 89,86 km/t. Dersom kurven ble gjennomkjørt i 90 km/t gir dette en ukompensert sideakselerasjon på 1,006 m/s², eller en manglende overhøyde på 153,8 mm. Grenseverdien på 153 mm manglende overhøyde satt i Teknisk regelverk gir en maksimal

ukompensert sideakselerasjon på $1,001 \text{ m/s}^2$. Dersom det ble skiltet 90 km/t i stedet for 85 km/t, medfører dette en tidsbesparelse på 3,3 sekunder.



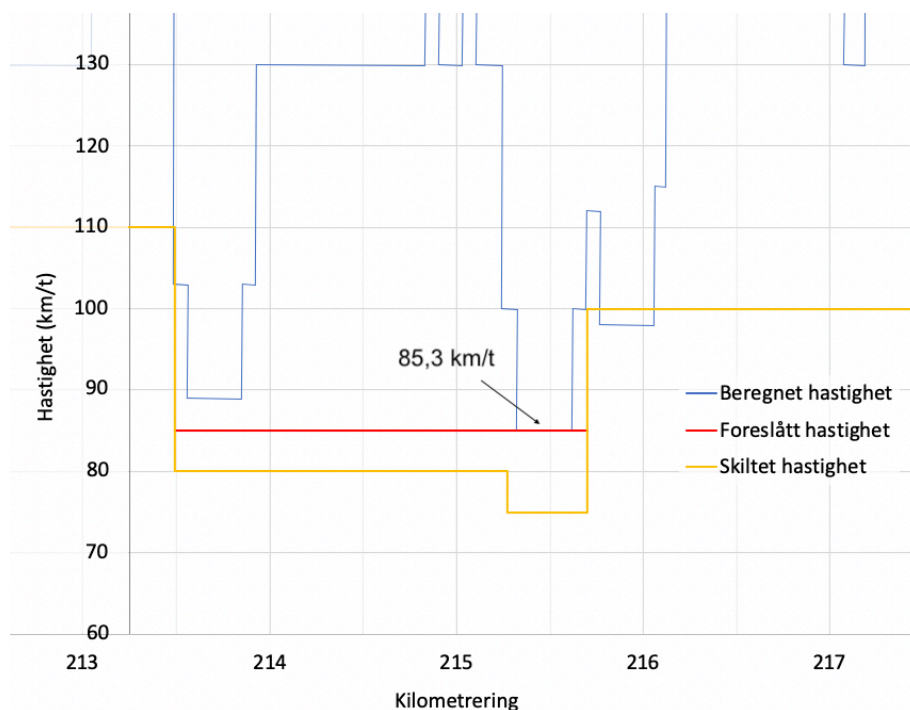
Figur 5-4 Mindre konservative avrundingsregler fører til høyere skiltet hastighet.

5.5 Potensiale for høyere skiltet hastighet

Flere steder i hastighetsprofilen er det avvik mellom beregnet hastighet fra sporgeometrien og skiltet hastighet. Det kan være andre grunner enn begrensninger i sporgeometrien som gjør at hastigheten skiltes ned. Store ujevnheter i sporet, rasfare, planoverganger, sporveksler og bruer er eksempler som kan være årsak til hastighetsnedsettelse. Avvikene mellom utregnet hastighet og skiltet hastighet varierer i størrelse og lengde. Noen avvik gjelder korte hastighetsnedsettelse på grunn av en enkelt kurve, andre strekker seg over flere kilometer. Førstnevnte gjør at toget bruker mer tid fordi det tar tid å bremse og akselerere, sistnevnte gjør at toget bruker mer tid fordi gjennomsnittsfarten på lengre strekker blir lavere enn hva den kunne vært.

Fra km 213,490 settes skiltet hastighet ned til 80 km/t, ved km 215,270 blir hastigheten satt ytterligere ned til 75 km/t, før den ved 215,700 km blir økt til 100 km/t. Den sirkelkurven som er begrensende på denne strekningen har en dimensjonerende hastighet på 85,3 km/t, det vil si at det vil være mulig å skilte 85 km/t i stedet for 80 og 75 km/t dersom ikke noe annet er begrensende for hastigheten. Figur 5-5 viser beregnet hastighet i kurver, dagens skiltet hastighet samt mulig ny skiltet hastighet. I starten av denne strekningen er det to korte bruer/kulverter, men disse er ikke begrensende for hastigheten. Det er ingen rasfare, planoverganger eller sporveksler på strekningen. Sporgeometriskjema er kontrollert for å se etter sporfeil som kan være årsak til hastighetsnedsettelse, men ingenting utenfor grenseverdiene ble observert.

Dersom hastigheten ble skiltet 85 km/t ville det blitt spart 14,4 sekunder sammenlignet med dagens situasjon.

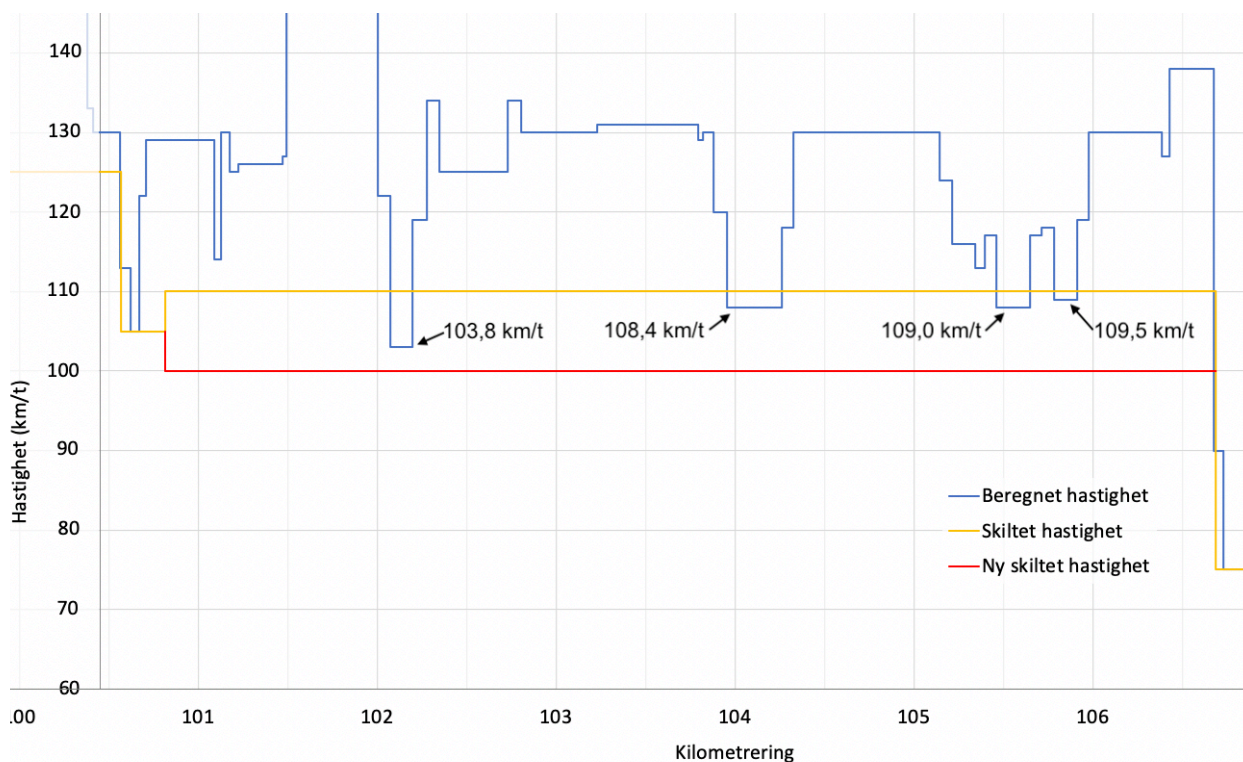


Figur 5-5 Potensiale for høyere skiltet hastighet.

5.6 Tap av tid ved gjennomgang av hastighetsprofil

Flere steder i hastighetsprofilen er skiltet hastighet høyere enn dimensjonerende hastighet for kurveelementene. Dersom hastighetsprofilen gjennomgås med hensikt å følge regelverket vil dette være steder det tapes tid ettersom tillatt hastighet må senkes.

Fra km 102 til 106 finnes fire sirkelkurver som har dimensjonerende hastighet under skiltet hastighet 110 km/t. Dimensjonerende hastighet for kurvene er angitt i Figur 5-6. Dersom tog kjører i skiltet hastighet på denne strekningen vil grenseverdiene for ukompensert sideakselerasjon og manglende overhøyde overstiges. Kjøretiden på denne strekningen ville økt dersom skiltet hastighet var 100 km/t i stedet for 110 km/t. 100 km/t er et naturlig valg ettersom laveste dimensjonerende hastighet er 103,8 km/t. Økningen i tidsbruk ville blitt på 21,6 sekunder. I utregningen er skilt plassert på samme sted som i dag, selv om dette ikke nødvendigvis er hensiktsmessig.



Figur 5-6 Skiltet hastighet er høyere enn dimensjonerende hastighet. Ny skiltet hastighet basert på mest begrensende sirkelkurve er tegnet inn.

5.7 Risiko for velt ved flytting av målpunkt for nødbremsekurve

Vedlegg B viser en oversikt over de ulike hastighetsnedsettelsene på strekningen Hønefoss-Ål, og om det er fare for velt dersom målpunktet flyttes inn i kurven. Det er i beregningene lagt til grunn at toget, før nødbremse slår inn, er i første sirkelkurve i første kurvekombinasjon som er årsak til hastighetsnedsettelsen. Tabellen viser velte hastighet i første sirkelkurve, i tillegg til den høyeste hastigheten det vil være mulig å holde uten at nødbremse slår inn på grunn av for høy hastighet i forhold til tillatt hastighet. Det er lagt til grunn i beregning av overhastighet at hastighetsovervåkingen inkluderer driftsbremse. Dette er det tilfellet som kan gi høyest overhastighet ettersom nødbremse griper inn på en høyere hastighet. Beregningene for velte hastighet tar ikke hensyn til sporfeil, krenning av vognkasse, eller andre faktorer som kan påvirke. Beregningen gir likevel en god indikasjon på om det er fare for velt eller ikke. Sentralt i velteberegningen er tyngdepunktshøyden i vognene. Denne varierer noe avhengig av vogntype, og om vognen er tom eller fullastet. I rapport fra togavsporing ved Nykirke i 2012 [95] er det en oversikt over tyngdepunktshøyder for ulikt materiell. NSB Type 5, 70, 72 og 74 er vurdert, og høyeste verdi har NSB Type 5 som i fullastet tilstand har en tyngdepunktshøyde på 1644-1767 mm. Høyeste verdi for tyngdepunktshøyde, 1767 mm, er benyttet i utregningen. Beregningene gjelder kun vogner i persontog. Det er sannsynlig at motorvognsett etterhvert vil erstatte lokomotiv og vogner, kanskje allerede ved innføring av ERTMS. Ettersom type 70, 72 og 74 er motorvognsett som alle har lavere tyngdepunkt enn det beregningene tar utgangspunkt i, anses resultatet som gyldig også når motorvognsett i fremtiden trafikkerer Bergensbanen. Vedlegg B viser at det ved én hastighetsnedsettelse vil oppstå velting, og at det i tre tilfeller vil være nær velt ved at kurven gjennomkjøres i over 90 % av velte hastighet. I sirkelkurven hvor det vil oppstå velt reduseres skiltet hastighet fra 130 til 70 km/t, en reduksjon på 60 km/t. I henhold til Teknisk regelverk [96] skal

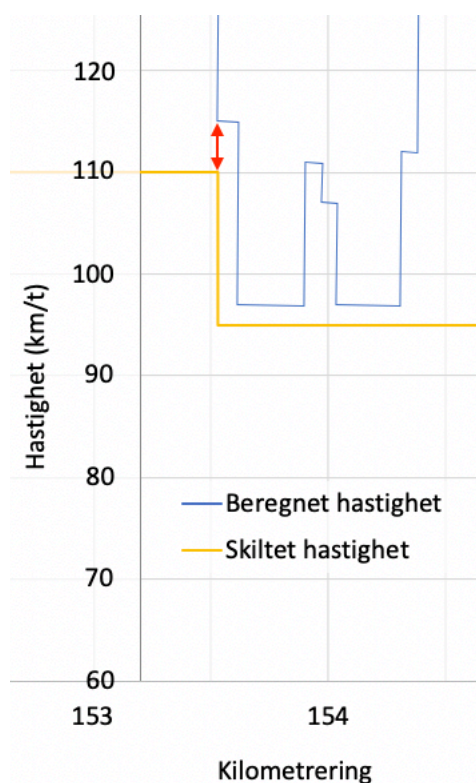
hastighetsreduksjon større eller lik 50 km/t fra utgangshastighet på 100 km/t eller mer, trappes ned i to trinn eller det skal settes opp et repeterskilt. I følge målevognsbilder er det ikke repeterskilt på dette stedet. Dersom hastighetsreduksjonen ble trappet ned i henhold til regelverket ville ikke velting vært et problem. Det er også funnet et annet tilfelle på strekningen hvor reduksjonen i hastighet er større enn Teknisk regelverk tillater, men i det tilfellet var det ikke fare for velt.

Etter beregningene ble utført, og Bane NOR ble gjort oppmerksom på de to nedskiltingene som ikke er i tråd med Teknisk regelverk, har skiltet hastighet blitt endret slik at denne trappes ned i to trinn. Maksimal hastighet i sirkelkurvene før nødbrems slår inn reduseres dermed som følge av nedtrappingen. Ved det første tilfellet er makshastigheten redusert fra 108,9 til 76,4 % av velte-hastigheten, og ved det andre tilfellet er makshastigheten redusert fra 80,1 til 67,7 % av velte-hastigheten.

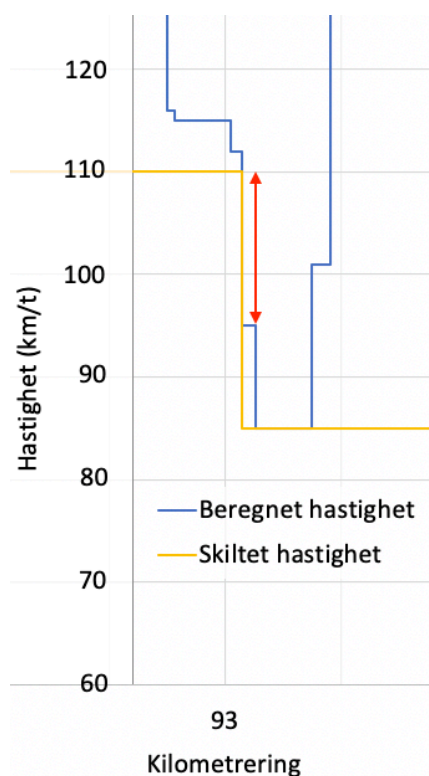
5.8 Flytting av markeringsmerket

Når toget kommer til en kurve som begrenser hastigheten, må hastigheten skiltes ned. Både overgangskurver og sirkelkurver kan være begrensende for hastigheten, men det vanligste er at sirkelkurven er mest begrensende. I dag er det vanlig praksis å plassere markeringsmerket ved begynnelsen av overgangskurven, selv om denne i seg selv ikke er begrensende for hastigheten. Plassering av markeringsmerket knyttet til denne praksisen kan deles i to:

- Type 1: Hastighetsnedsettelse hvor første overgangskurve tillater skiltet hastighet før nedskilting
- Type 2: Hastighetsnedsettelse hvor dimensjonerende hastighet for overgangskurven ligger mellom skiltet hastighet før nedskilting og dimensjonerende hastighet for sirkelkurven.



Figur 5-7 Overgangskurve av type 1.

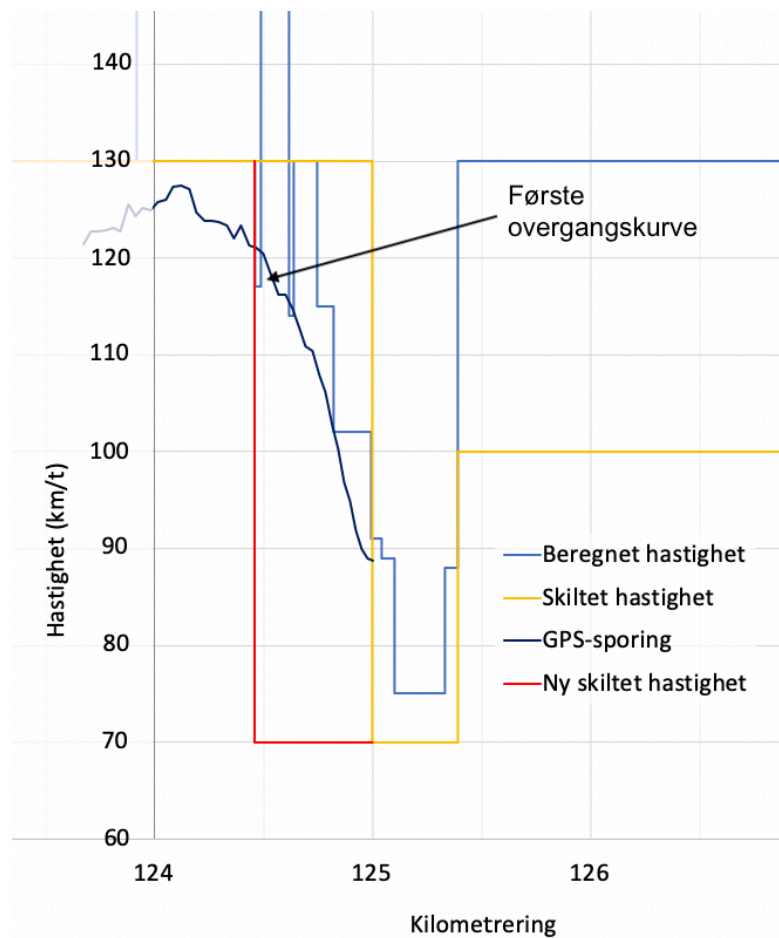


Figur 5-8 Overgangskurve av type 2.

Dersom markeringsmerket ble flyttet til starten av sirkelkurven ville det blitt spart tid sammenlignet med dagens situasjon. Tidsbesparelsen som oppnås ved å kunne opprettholde hastigheten lenger før nedbremsing er for eksempelet ved km 153,530 0,4 sekunder og 0,6 sekunder ved km 93,071. Tidsbesparelsen øker med lengden av overgangskurven og størrelsen på hastighetsnedsettelsen.

På samme måte som ved nedskilting skjer oppskilting av hastighet først etter siste overgangskurve, uavhengig av hva som er dimensjonerende hastighet i overgangskurven.

Flere steder i hastighetsprofilen er ikke markeringsmerket plassert ved inngangen til overgangskurven før første begrensende sirkelkurve. Figur 5-9 viser et eksempel hvor markeringsmerket er plassert mye senere enn første begrensende kurveelement. Det ser ut til at markeringsmerket er plassert etter skjønn, slik at toghastigheten i praksis vil holde seg under beregnet hastighet for kurveelementene. Kurven fra GPS-sporing illustrerer dette. I teorien vil det imidlertid være tillatt å kjøre i en vesentlig høyere hastighet enn sporgeometrien tillater i kurveelementene rett før markeringsmerket slik det står i dag. Dersom markeringsmerket hadde stått ved første kurveelement som er begrensende for skiltet hastighet (overgangskurve ved km 124,460) ville dette gitt en forsinkelse på 12,8 sekunder.



Figur 5-9 Ny skiltet hastighet dersom markeringsmerket hadde stått før første overgangskurve.

5.9 Siktkrav til skilt bortfaller

Ved hastighetsendring på grunn av kurver er markeringsmerker plassert der overgangskurve før sirkelkurve starter. Oppskilting av hastighet skjer der overgangskurve etter sirkelkurve slutter. Det er 37 nedskiltinger og 40 oppskiltinger av hastighet på strekningen Hønefoss-Ål. Av disse står tre markeringsmerker for tidlig og ett oppskiltingsskilt for sent på grunn av siktkrav. For tidlig defineres her som at markeringsmerket står mer enn 50 m før første overgangskurve i kurvekombinasjonen, og for sent defineres som at oppskiltingsskilt står mer enn 50 m etter siste overgangskurves slutt. Tabell 5-3 og tabell 5-4 viser hvor skiltene står langs linjen, hvor mye faktisk plassering avviker fra riktig plassering, og hvor mye tid som tapes på avvikende plassering. Med *tapt tid* menes den tiden toget bruker ekstra på å kjøre i en lavere hastighet enn det kunne gjort dersom det var mulig å plassere skiltene riktig. Tapt tid grunnet siktkrav er en tidsgevinst med ERTMS ettersom siktkrav bortfaller.

Tabell 5-3 Tilfeller der markeringsmerket står for tidlig grunnet siktkrav.

Markeringsmerke (km)	Riktig plassering (km)	Differanse (m)	Skiltet hastighet (km/t)		Tapt tid (s)
			Før markeringsmerke	Etter markeringsmerke	
94,275	94,348	73	85	75	0,4
128,570	128,659	89	85	70	0,8
156,600	156,672	72	95	75	0,7
				Totalt:	1,9

Tabell 5-4 Tilfeller der økt hastighet-skiltet står for sent grunnet siktkrav.

Oppskiltingsskilt (km)	Riktig plassering (km)	Differanse (m)	Skiltet hastighet (km/t)		Tapt tid (s)
			Før oppskiltingsskilt	Etter oppskiltingsskilt	
97,660	97,580	80	75	125	1,5
				Totalt:	1,5

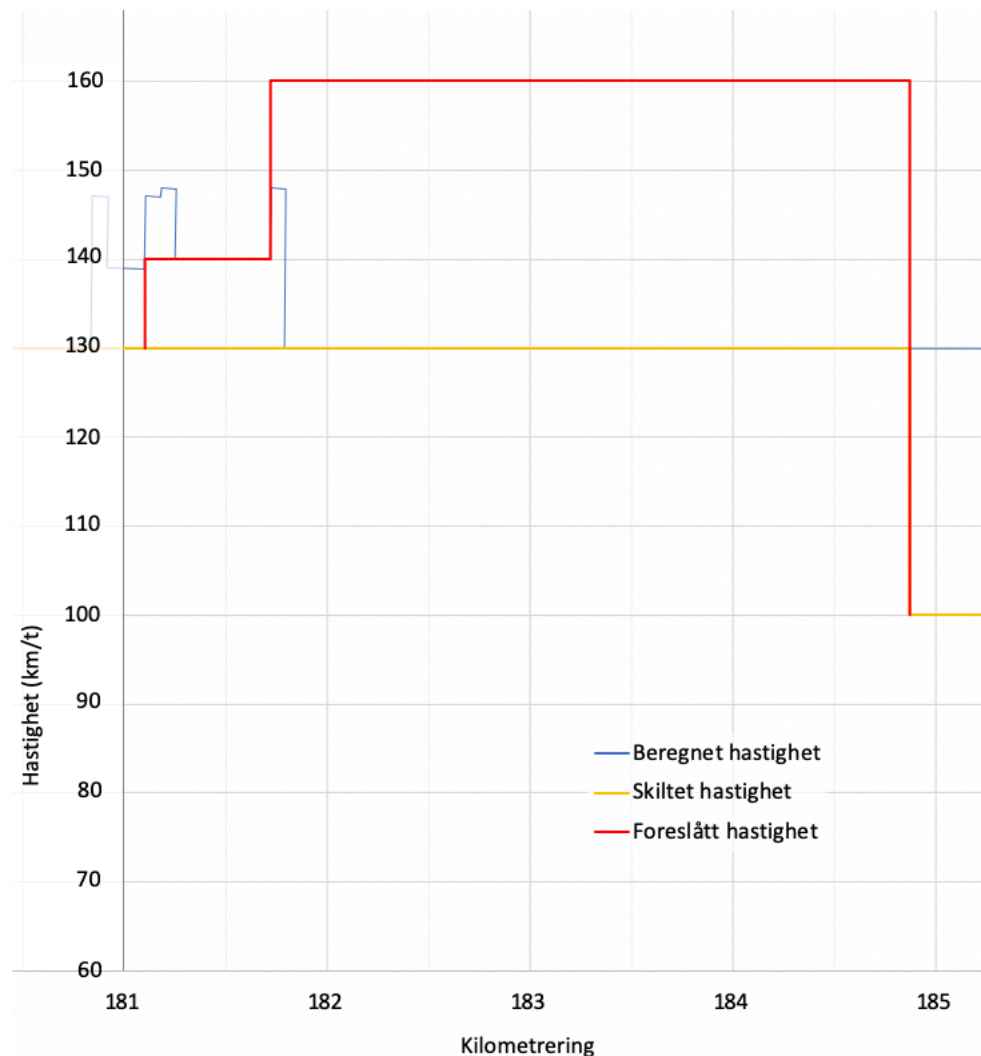
5.10 Hastighetsbegrensning som følge av DATC

I hastighetsprofilen er det tre delstrekninger hvor kontaktledningsanlegget er byttet fra det eldre tabell 54 til de nyere 20A og 20B. Ved en av disse strekningene, fra km 180,699 til km 185,012, er ikke sporgeometrien begrensende for hastigheten på størstedelen av strekningen.

Kontaktledningsanlegget er her av type 20A som har en maksimal hastighet på 200 km/t ved bruk av én strømvaktaker eller to strømvaktaker med avstand større enn 200 m. Dersom det benyttes to strømvaktaker med avstand mellom 73 og 200 m er maksimal hastighet 160 km/t.

Overbygningsklassen er C, som gir en maksimal tillatt hastighet for personvogner på 160 km/t. På strekningen med nytt kontaktledningsanlegg er det ingen planoverganger. Dersom det hadde vært planoverganger ville det ikke vært begrensende for hastigheten fordi planoverganger er tillatt så lenge det er enkeltspor og hastigheten er 160 km/t eller lavere. På strekningen med nytt kontaktledningsanlegg finnes to kulverter ved km 180,88 og km 182,22. Begge har ballast og er dermed ikke begrensende for hastigheten. Nesbyen stasjon ligger rett etter strekningen med nytt kontaktledningsanlegg tar slutt. Perrongen starter på km 185,3, og i forkant av stasjonen ved km

184,9 finnes et sporveksel. Sporveksel er ikke begrensende for hastigheten så lenge de ikke ligger i avvik. Ettersom det i dag er DATC på strekningen begrenses hastigheten til 130 km/t. Denne begrensningen faller bort med ERTMS. I tidsberegningen er det lagt til grunn at skiltet hastighet økes to ganger, først til 140 km/t, deretter til 160 km/t slik figur 5-10 viser. Dette gjøres fordi sporgeometrien er begrensende på første del av strekningen. Hastighetsøkningen til 160 km/t er satt til enden av sirkelkurven fordi overgangskurven har en dimensjonerende hastighet som toget ikke vil overskride dersom akselerasjonen starter ved utgang av sirkelkurven. Tidsbesparelsen ved den foreslåtte hastigheten blir 10,4 sekunder.



Figur 5-10 Hastighet kan økes til over 130 km/t fordi begrensninger med DATC bortfaller med ERTMS.

5.11 Begrensning i antall hastighets- og vertikalkurvaturendringer

Tabell 5-5 viser at det maksimalt er åtte hastighetsendringer på en blokkstrekning. Tabellen viser også at det på 10 av 15 blokkstrekninger er for mange knekkpunkt i vertikalgeometrien.

Tabell 5-5 Oversikt over antall hastighets- og vertikalkurvaturendringer per blokkstrekning mellom Hønefoss og Ål. Tall i rødt overskrider maks antall ERTMS kan håndtere.

Posisjon blokkpost/stasjon etter blokkstrekning (km)	Blokkstrekning	Antall hastighetsendringer	Antall knekkpunkt i vertikalkurvaturen
100,450	Hønefoss st. - Veme st.	5	40
112,092	Veme st. - Sokna st.	6	58
120,095	Sokna st. - Rallerud bp.	6	37
129,239	Rallerud bp. - Trolldalen st.	7	36
140,780	Trolldalen st. - Gulsvik st.	8	51
152,000	Gulsvik st. - Flå st.	7	45
160,891	Flå st. - Austvoll bp.	5	45
169,970	Austvoll bp. - Bergheim st.	5	40
176,835	Bergheim st. - Støe bp	4	32
185,348	Støe bp. - Nesbyen st.	4	28
193,750	Nesbyen st. - Svenkerud bp.	5	24
202,280	Svenkerud bp. - Gol st.	3	23
210,720	Gol st. - Rotneim bp.	5	17
217,865	Rotneim bp. - Torpo st.	5	20
228,115	Torpo st. - Ål st.	8	36

6 Diskusjon

I denne oppgaven er hensikten å se på i hvilken grad innføring av ERTMS påvirker hastighet og kapasitet i jernbanen. Med bakgrunn i resultatene det er kommet fram til vil det i dette kapitlet diskuteres fordeler og ulemper med ERTMS, samt tiltak for å forbedre kapasiteten.

6.1 Fordeler og ulemper med ERTMS

Når algoritmer skal styre menneskers adferd i større grad enn tidligere oppstår en del utfordringer. Innføring av nytt signal- og hastighetsovervåkningssystem fører også til mange forbedringer. I de neste avsnittene søkes det å belyse de viktigste fordelene og ulempene innføring av ERTMS i Norge fører med seg.

6.1.1 Reisetid med ETCS-bremsekurver

Resultatet av tidsberegningene i tabell 5-1 viser at ETCS-bremsekurvene både med og uten driftsbremse fører til økt reisetid ved innføring av ERTMS sammenlignet med dagens situasjon. Dette gjelder både ved sammenligning mot lavt og høyt estimat av retardasjonsverdier illustrert ved GPS-regresjon og ATC. Det er viktig å huske at retardasjonen som ligger til grunn for ETCS-bremsekurvene er mye større enn det som ligger til grunn fra GPS-regresjonen, og likevel vil tidsbruken øke både dersom driftsbremse inkluderes og ekskluderes fra hastighetsovervåkingen. Dette skyldes at ETCS-bremsekurvene når målhastighet før målpunktet, noe som øker kjøretiden. Dette betyr altså at selv om det kjøres med mye større retardasjoner på strekningen enn det som gjøres i dag vil det ikke være mulig å bruke like kort tid ved hastighetsnedsettelse. Dersom permitted-kurven følges fører altså innføring av ERTMS til dårligere komfort og lengre kjøretid. Ved kjøring med samme retardasjoner som i dag vil kjøretiden øke ytterligere. Beregningene viser også at dersom driftsbremse utelates fra hastighetsovervåkingen, reduseres reisetiden med 85 sekunder i forhold til om driftsbremse inkluderes. Dette er likevel ikke nok til at kjøretiden ikke øker sett i forhold til dagens situasjon.

6.1.2 Målhastighet nås tidligere

ERTMS beregner nødbremsekurven som den sikre bremsekurven og de andre bremsekurvene regnes tilbake fra denne. På grunn av tidsforsinkelser som tilsetningstid og reaksjonstid, vil målhastighet for permitted-kurven nås et stykke før målpunkt for nødbremsekurven. Med ERTMS er all sikkerhet i systemet innbakt i bremsekurvene, og dette er grunnen til at målhastighet nås tidligere enn målpunkt for nødbremsekurven. Slik tabell 5-2 viser vil bremsekurver med driftsbremse i hastighetsovervåkingen i gjennomsnitt nå målhastighet 495 m før målpunkt for nødbremsekurven som i denne beregningen er plassert i dagens markeringsmerke. Dersom driftsbremse ekskluderes blir avstanden kortet ned til 252 m i gjennomsnitt. Årsaken til reduksjonen er bortfall av tilsetningstid og reaksjonstid som medregnes før nødbremse slår inn. Uansett om driftsbremse inkluderes i hastighetsovervåkingen eller ikke er det snakk om betydelige avstander.

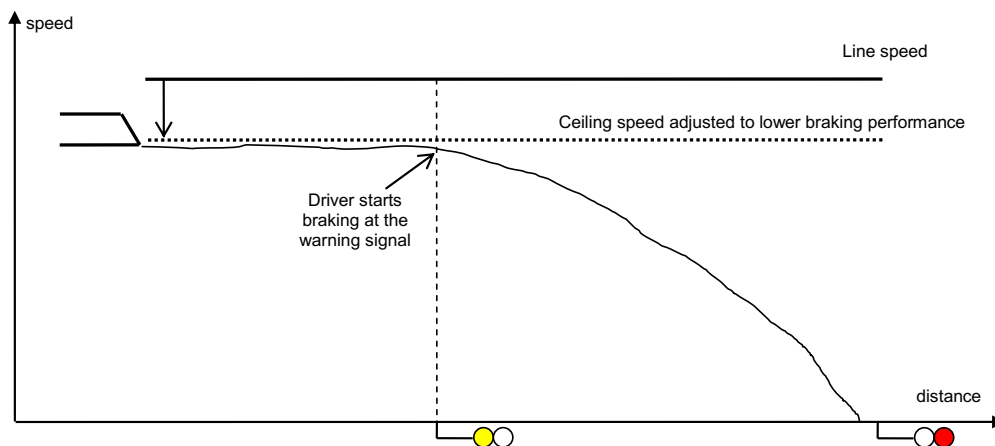
6.1.3 Skilt- og signalavstands påvirkning på hastighet

6.1.3.1 Lyssignal

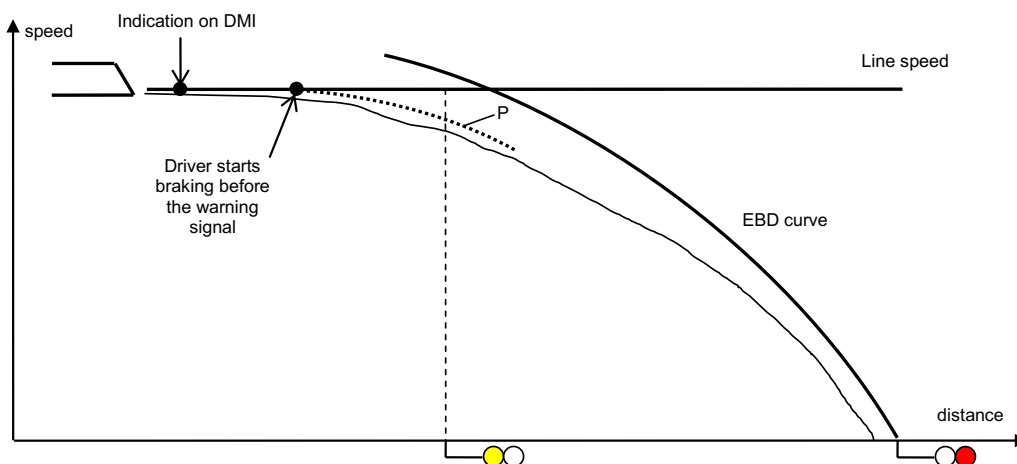
Med dagens signalsystem må togene kunne stoppe på avstanden mellom forsignal og stoppsignal. På grunn av togets bremseprosent vil dette kravet til stoppdistanse kunne være begrensende for togets topphastighet.

For eksempel kan skiltet hastighet være 160 km/t, mens togets bremseprosent kanskje ikke tillater høyere hastighet enn 125 km/t ved 0 ‰ fall, og enda lavere hastighet ved økende fall. Godstog har normalt lavere bremseprosent enn persontog, og må derfor holde enda lavere hastighet enn persontog. Med ERTMS fjernes dagens forsignal og stoppsignal, og lokomotivfører vil i stedet få informasjon på førerpanelet om når hastighetsreduksjonen må starte. Lengden på denne bremsestrekningen, altså når bremsekurven må starte, vil med ERTMS være avhengig av togets hastighet, fall og bremseprosent, i motsetning til dagens situasjon hvor togets hastighet er avhengig av en gitt bremsestrekning, fall og bremseprosent. Figur 6-1 og Figur 6-2 illustrerer dette. Variabelen som må endres for å ivareta sikkerheten endrer seg altså fra å være hastighet til å være posisjon for start av nedbremsing. Dette kan føre til at tog, spesielt de med dårlige bremser, kan kjøre i høyere hastighet.

I dag er reglene om bremsetabell at de normalt gjelder for hele jernbanenettet. Dette er for at toget til enhver tid skal være i stand til å stoppe ved stoppsignaler. Når ERTMS innføres vil systemet ha full oversikt over stoppsignaler, også for eksempel eventuelle røde flagg og lignende, og kravet om å til enhver tid kunne stoppe på en gitt avstand avhengig av hvilken bremsetabell det kjøres på bør kunne fjernes.



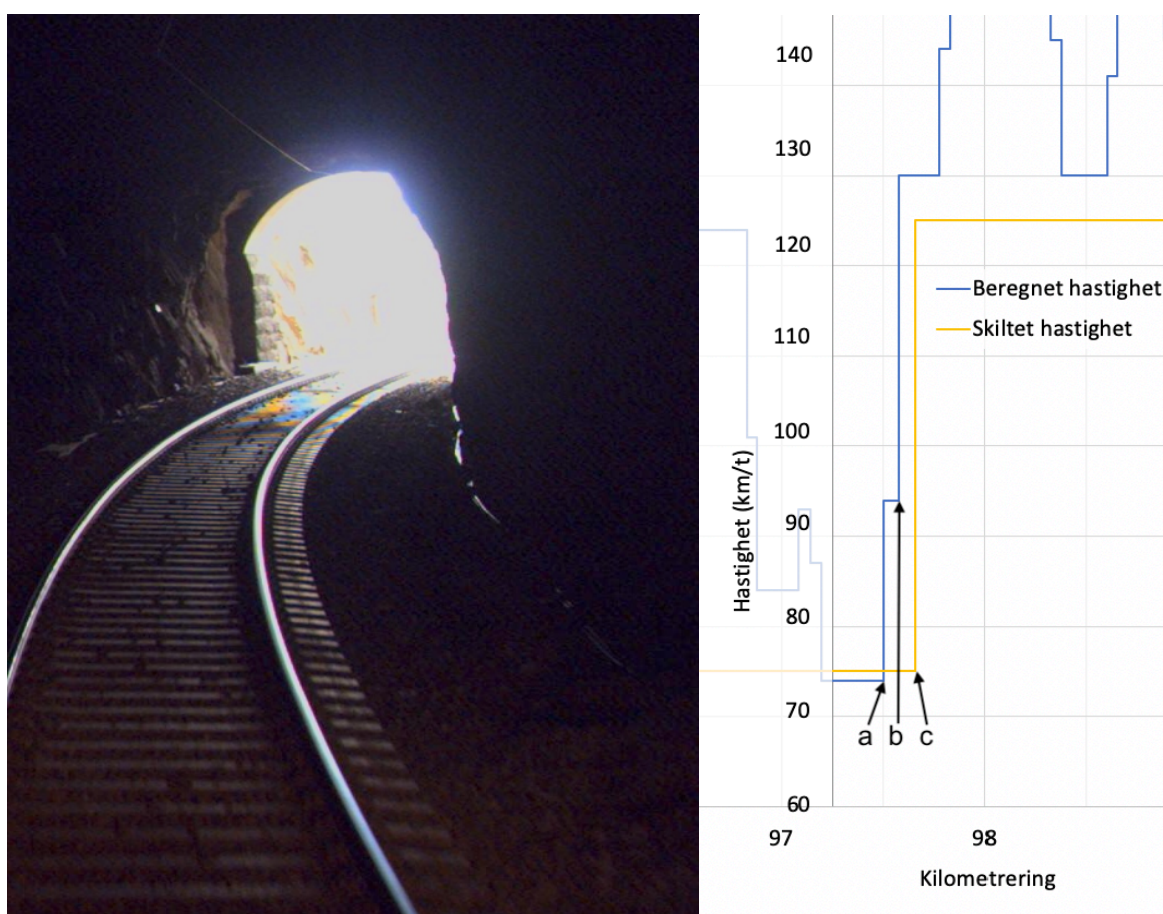
Figur 6-1 Krav til å kunne stoppe mellom forsignal og hovedsignal er begrensende for hastighet [82].



Figur 6-2 Lyssignaler fjernes, og krav til å kunne stoppe på avstanden mellom forsignal og hovedsignal bortfaller [82].

6.1.3.2 Skilt

En fordel med innføring av ERTMS er at hastighetsskilt for hastigheter over 40 km/t fjernes, og følgelig vil begrensninger som har ligget i siktkrav til hastighetsskilt langs toglinjen bortfalle. Et eksempel på en slik begrensning er en kurvekombinasjon med siktbegrensende skjæring på den fordi sporet krummer mot. Dersom kurvekombinasjonen består av to sirkelkurver med mellomliggende overgangskurve, hvor den første sirkelkurven har en liten radius og den andre har en stor radius, vil dimensjonerende hastighet være mindre i den første sirkelkurven enn i den andre. Når den første sirkelkurven er gjennomkjørt kan skiltet hastighet potensielt økes, men med dagens signalsystem kan dette være umulig dersom det ikke vil bli tilstrekkelig sikt til skilt. Dette kan gi seg utslag i at en hastighetsøkning må vente til toget er ute av hele kurvekombinasjonen. På samme måte vil kjøring i motsatt retning føre til at hastigheten må skiltes ned unødvendig tidlig. Med ERTMS kan hastighetsendringene gjøres der det er mest hensiktsmessig med hensyn til sporgeometrien fordi siktkrav bortfaller.



Figur 6-3 Kurve i tunnel gir begrenset sikt, og gjør at skilt for hastighetsøkning må flyttes for å tilfredsstille siktkrav.

- a: Togets posisjon, der bildet er tatt.
- b: Riktig plassering av skilt for hastighetsøkning ved overgangskurvens ende.
- c: Plassering av skilt for hastighetsøkning på grunn av siktkrav.

Avstand ab er 104 meter, som tilsvarer 5 sekunder sikt i fartsgrensen på stedet, 75 km/t.

Avstanden bc er 80 meter, som er hvor langt skilt for hastighetsøkning står for sent.

På strekningen Hønefoss-Ål står tre av markeringsmerkene over 50 meter for tidlig, og ett skilt for hastighetsøkning over 50 meter for sent. Dette skyldes krav til sikt. For hele strekningen Hønefoss-Ål gir markeringsmerkene som står for tidlig 1,9 sekunder ekstra reisetid, og skiltet for hastighetsøkning som står for sent gir 1,5 sekunder ekstra reisetid. Dette er sekunder som vil bli en gevinst med ERTMS. At skiltene ikke står helt nøyaktig plassert har imidlertid ikke stor betydning for reisetid på strekningen, så overgang til ERTMS med bortfall av siktkrav til hastighetskilt har ikke like stor effekt som forventet.

6.1.4 Høyere makshastighet med ERTMS enn ATC

FATC skal benyttes for hastigheter mellom 130 km/t og 270 km/t, hvilket betyr at DATC gir en hastighetsbegrensning på 130 km/t. For ERTMS er imidlertid maksimal toghastighet 600 km/t.

Strekningen Hønefoss-Ål er utrustet med DATC, hvilket betyr at selv om sporgeometri, kl-anlegg og overbygningsklasse tillater høyere hastighet enn 130 km/t vil ikke dette tillates fordi hastigheten begrenses av DATC. Dette kan være tilfelle på flere strekninger i Norge. På strekningen Hønefoss-Ål gjelder dette kun ett sted, men det gir likevel en gevinst i reisetid på 10,4 sekunder ved overgang til ERTMS dersom hastigheten økes som foreslått. Det skal bemerkes at denne tidsgevinsten også kunne blitt oppnådd med en oppgradering til FATC. Ved en oppgradering av kl-anlegget flere steder antas det at økning i tillatt topphastighet med ERTMS sammenlignet med DATC vil kunne få stor betydning

6.1.5 Hastighets- og vertikalkurveendringer i ERTMS

ERTMS tillater 31 hastighetsendringer og 31 endringer i vertikalkurvaturen per kjøretillatelse. Begrensninger i hastighetsendringer kan gi seg utslag i at hastigheten ikke kan endres like ofte som i dag, og det vil da være naturlig at det må holdes jevnere og lavere hastighet uten mulighet for å skilte opp hastigheten like ofte som ønskelig. En kjøretillatelse kan ikke være kortere enn én blokkstrekning. Funn i resultatet viser at det maksimalt er åtte hastighetsendringer på en blokkstrekning på strekningen Hønefoss-Ål. Dette er dermed ikke et problem på denne strekningen. På 10 av 15 blokkstrekninger er det over 31 endringer i vertikalkurvaturen. Siemens, som skal stå for ERTMS-utbyggingen i Norge, har forskjellige algoritmer som løser dette på ulike måter avhengig av hvor mange endringer det er i vertikalkurvaturen. Dette er blant annet gjort på teststrekningen Østfoldbanen Østre Linje [46].

6.1.6 Rutetider og ERTMS

Med en mer restriktiv hastighetsovervåkning, som det blir med ERTMS, mister lokomotivførerne muligheten til kjentmannskjøring, og således den muligheten de i dag har til å kjøre inn forsinkelser. På strekningen Hønefoss-Ål, som denne oppgaven har sett spesielt på, er det en stram ruteplan, og få andre muligheter til å kjøre inn forsinkelser [97]. Med bakgrunn i dette er det viktig å merke seg at dersom det tas ut noen hastighetsfordeler ved innføring av ERTMS bør ikke dette automatisk føre til kortere reisetid, men heller at det gir litt mer slakk i rutetidene.

6.1.7 Kortere togfølgetid

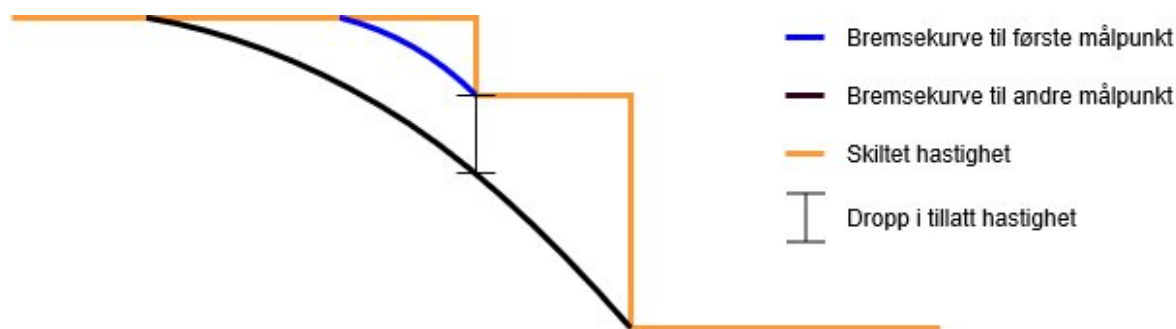
Med dagens signalsystem er togfølgetiden to blokkstrekninger, mens det med ERTMS vil bli én blokkstrekning i tillegg til en bremsekurve. Dette betyr at det med ERTMS vil være mulig å kjøre togene med kortere avstand der dette er ønskelig, og følgelig økes kapasiteten på en strekning dersom ikke andre forhold hindrer dette. Muligheten for å kjøre togene med kortere avstand vil ha størst betydning i bynære strøk der trafikken er stor.

6.1.8 Frislippshastighet

Driftsbrems griper ikke inn ved hastighetsovervåking av frislippshastighet, selv dersom driftsbrems tillates i hastighetsovervåkingen. Det gis heller ikke akustisk varsel. I ERTMS baseline 2 lå et akustisk varsel under frislippshastigheten som ga et forvarsel når hastigheten nærmet seg overskridelse av frislippshastigheten med påfølgende nødbremsreaksjon. Dette varselet ble fjernet i baseline 3. Konsekvensen av dette er at nødbrems utløses uten forvarsel ved passering av hastighetsgrensen. For et godstog kan en nødbrems med tømning av hovedledningen føre til at toget blir stående i flere minutter før trykket har økt nok til at bremsene kan løses. Dette kan forsinke øvrig trafikk i tillegg til det aktuelle toget. Ettersom ERTMS generelt overvåker hastighet strengt, og varsler akustisk ved for høy hastighet, kan det oppleves lite konsekvent at det ved frislippshastighet ikke fås noe varsel før nødbrems inntreffer.

6.1.9 Begrensning i avstand mellom hastighetsnedsettelse

Dersom to hastighetsnedsettelse kommer tett etter hverandre kan bremsekurven for å nå mål hastigheten til siste hastighetsnedsettelse være begrensende for toghastigheten slik Figur 6-4 viser.



Figur 6-4 Begrensning i avstand mellom hastighetsnedsettelse.

Bremsekurven for å nå siste mål hastighet angir altså en lavere hastighet i et gitt punkt enn bremsekurven som trengs for å nå første mål hastighet. ETCS har ikke mulighet for å kalkulere to bremsekurver samtidig, dermed vil tog hastighetsovervåkes etter bremsekurve for første hastighetsnedsettelse fram til dennes målpunkt er passert, deretter benyttes bremsekurven for å nå mål hastighet for siste hastighetsnedsettelse. Dersom bremsekurve for siste hastighetsnedsettelse, idet første målpunkt passerer, angir en lavere hastighet enn første mål hastighet vil det oppstå et hopp til en lavere tillatt hastighet. Dette plutselige droppet i tillatt hastighet kan føre til en nødbremsreaksjon fra ETCS fordi toget rett etter hoppet kan ha for høy hastighet. Dette er en ny problemstilling med ERTMS ettersom ATC kan håndtere flere bremsekurver samtidig. På strekningen Hønefoss-Ål vil ikke begrensning i avstand mellom hastighetsnedsettelse være et problem for persontog ettersom beregningene er utført for. Problemet øker med synkende bremsekraft fordi bremsekurvene da blir lengre og slakere. Det er derfor nødvendig å undersøke dette nærmere for godstog, og det bør vurderes hvilke konsekvenser hensynet til godstog vil få for persontog.

6.1.10 Redusert krysningslåsetid med ERTMS

Ventetiden som oppstår når to møtende tog på en enkeltsporet strekning kommer samtidig til en stasjon kan reduseres med ERTMS. Dette fordi ERTMS vil gi mulighet for å redusere krysningslåsetiden ettersom ombordutrustningen i ETCS vil kunne informere sikringsanlegget om at toget har stoppet. Krysningslåsetiden på 50-70 sekunder skal tilsvare noe mer tid enn normal

kjøretid fra krysningsporets begynnelse til toget har stoppet. Det kan derfor ikke konkluderes med at hele krysningslåsetiden bortfaller ettersom noe av tiden uansett brukes på å få hele toget inn på krysningsporet. Det er altså den ekstra tiden i tillegg til normal kjøretid, som ligger som en forsikring om at første innkjørende tog har stoppet før neste tog får kjøre inn, som vil forsvinne.

6.1.11 Toglengde ved kurve

Det vil være en liten gevinst med ERTMS sammenlignet med FATC at toglengde oppgis i hele meter og ikke i hele hundre meter. Dette har betydning for toget ut av kurver der hele toglengden i dag må være forbi balisen før hastigheten kan økes. Her må et Flirt-tog på 105 meter med FATC kjøre 95 meter ekstra forbi balisen før hastighetsøkning fordi lengden er oppgitt i hele hundre meter, altså 200 meter. Med ERTMS vet toget sin lengde nøyaktig og hvor det er på toglinjen, det kan derfor øke hastigheten med en gang hele toget er ute av kurven.

6.2 Tiltak for å forbedre kapasitet

6.2.1 Optimalisering av overhøyde

Med optimalisering av overhøyden i kurvatur er målet å øke dimensjonerende hastighet. Det er mange kurver i hastighetsprofilen som ikke har optimal overhøyde. Steder hvor hastigheten er skiltet ned for å ta hensyn til at kurveelementer begrenser hastigheten er de kurvene det vil være mest effekt av å optimalisere slik at skiltet hastighet kan økes. Dersom en kurve er beregnet til 84 km/t, blir det skiltet 80 km/t. Ofte er det derfor små endringer som skal til før skiltet hastighet kan økes.

Ettersom tog bruker lang tid på både retardasjon og akselerasjon påvirkes toghastigheten over en lengre strekning enn lengden på hastighetsnedsettelsen. Ved å optimalisere overhøyden oppnås altså en mindre reduksjon i skiltet hastighet og dermed redusert reisetid.

Ut fra sporets beliggenhet i terrenget er kurveelementenes lengde og radius som oftest gitt. Å forlenge overgangskurver og endre radier er forbundet med store kostnader ettersom dette medfører inngrep i terrenget. Endring av overhøyde er derimot ansett å være et rimelig tiltak, og gjøres med en sporjusteringsmaskin uten terrenginngrep. Tiltaket kan gjennomføres samtidig som sporet likevel skal justeres og medfører dermed ikke økte kostnader.

Det er imidlertid få steder i hastighetsprofilen hastigheten skiltes ned på grunn av en kurvekombinasjon hvor det vil være mulig å optimalisere overhøyden slik at skiltet hastighet kan settes høyere. Dette er dermed et tiltak som sannsynligvis ikke vil gi de store gevinstene i reisetid.

6.2.2 Potensiale for høyere skiltet hastighet

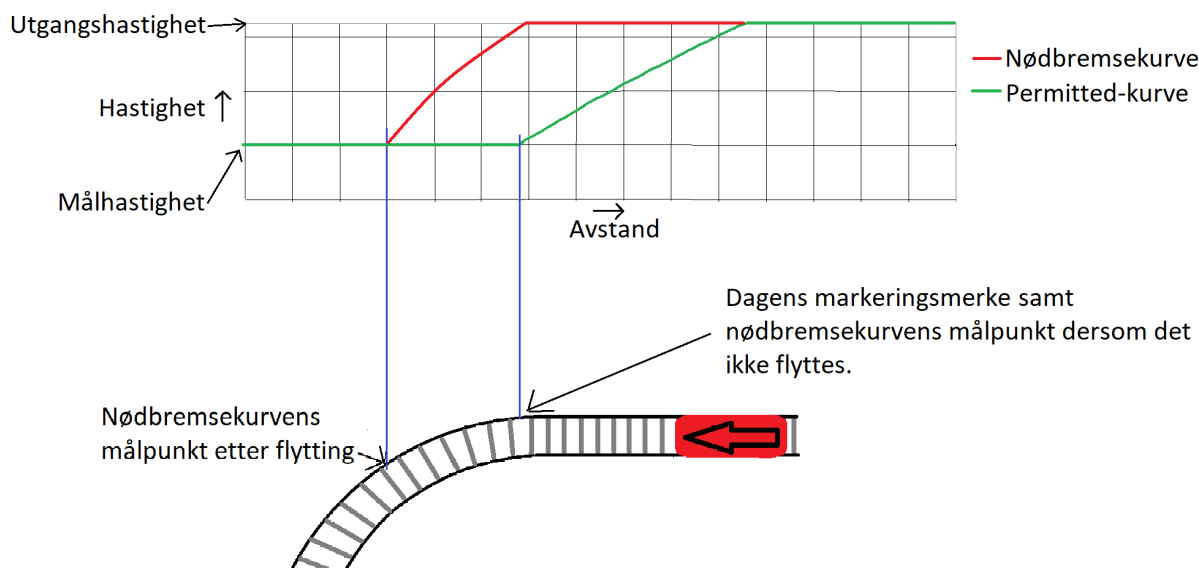
Enkelte steder ved nedskilting av hastighet i hastighetsprofilen er det potensiale for høyere skiltet hastighet enn det som er skiltet i dag. Dette fordi dimensjonerende hastighet i kurveelementer er 5 km/t eller mer over skiltet hastighet. Det kan være andre grunner til hastighetsnedsettelse enn sporgeometri, men disse er ved eksempelet i 5.5 Potensiale for høyere skiltet hastighet kontrollert, og det er ikke funnet noen grunn til den aktuelle skiltede hastigheten. I eksempelet er det funnet at dersom hastigheten ble skiltet ut fra hva sporgeometrien tillater ville dette gitt en tidsbesparelse på 14,4 sekunder. Ut fra dette funnet kan det virke nyttig å gjøre en gjennomgang av hastighetsprofilen for å se etter steder hvor hastigheten er skiltet unødvendig lavt.

Dersom en slik gjennomgang ble gjort på hele strekningen, vil det også være naturlig å gjøre en vurdering av steder hvor skiltet hastighet er høyere enn dimensjonerende hastighet i kurveelementer. Dette er kurver som det i dag er tillatt å kjøre i hastigheter som overskrider

grenseverdiene satt i Teknisk regelverk. En konsekvens av å skille i henhold til regelverket vil være at hastigheten blir satt lavere enn i dag. Eksempelet i Figur 5-6 illustrerer dette, og viser at kjøretiden blir forlenget med 21,6 sekunder.

6.2.3 Flytting av målpunkt for nødbremsekurve ved hastighetsnedsettelse

Hastighetsendringer forekommer vanligvis ved kurver. Ved hastighetssenking med dagens signalsystem skal målhastighet være oppnådd ved markeringsmerket. Dersom målpunktet til nødbremsekurven legges til dagens markeringsmerke vil bremsekurven for permitted speed gjøre at toget når målhastighet et stykke før dagens markeringsmerke. En flytting av målpunkt for nødbremsekurve inn i horisontalkurvene slik figur 6-5 viser vil minske tidsforsinkelsen sammenlignet med dagens situasjon.



Figur 6-5 Bremsekurver ved flytting av nødbremsekurvens målpunkt.

Tidsbesparelsene ved å flytte målpunktet er illustrert i tabell 5-1. Dersom driftsbremse tillates i hastighetsovervåkingen kan målpunktet likevel ikke flyttes lengre enn begrensningene lagt av permitted-kurven der driftsbremse ikke blir inkludert i hastighetsovervåkingen. Dette fordi tog uten driftsbremse i hastighetsovervåkingen ikke kan nektes å kjøre i sporet. Tog med driftsbremse i hastighetsovervåkingen vil da måtte senke hastigheten tidligere enn tog uten driftsbremse i hastighetsovervåkingen fordi inkludering av driftsbremsen medfører tidsforsinkelser som blant annet tilsetningstid. Dette fører til at tog med driftsbremse i hastighetsovervåkingen på en strekning hvor målpunkt for nødbremsekurve er flyttet inn i horisontalkurven vil bruke omtrent like lang tid som et tog uten driftsbremse i hastighetsovervåkingen på samme strekning dersom målpunkt for nødbremsekurve beholdes til dagens markeringsmerke. Dersom driftsbremse ikke tillates inkludert i hastighetsovervåkingen vil det være mulig å flytte målpunkt for nødbremsekurven slik at permitted-kurven ender nærmere dagens markeringsmerke. Dette fordi situasjonen der tog både med og uten driftsbremse i hastighetsovervåkingen kjører på samme strekning unngås, og alle tog må kjøre uten driftsbremse i hastighetsovervåkingen. Da fås en situasjon tilsvarende dagens, hvor tidsbruken blir omtrent lik som dersom en ATC-kurve hadde blitt fulgt. Sammenlignet med kurvene for GPS-regresjon spares det tid, som betyr at dagens kjørestil kan opprettholdes og det vil være mulig å variere kjørestil for å kjøre inn tapt tid ved å bremse litt kraftigere enn hva som er lagt til grunn i GPS-regresjonen.

Basert på velteberegningene for strekningen anses dette som et trygt og fornuftig tiltak. Det er imidlertid viktig å bemerke at nødbremsekurven er den sikre kurven, og at denne nå er flyttet langt inn i sirkelkurven. I ERTMS ligger alle sikkerhetsmarginer i systemet, og ved å flytte nødbremsekurvens målpunkt flyttes også hele sikkerhetsnettet til ERTMS. Konsekvenser av dette må utredes ytterligere. En mulig konsekvens ved dårlige adhesjonsforhold er at toget ikke vil nå målhastighet der hvor permittedkurven ender, men nærmere målpunktet for nødbremsekurven, og dermed vil holde en høyere hastighet inn i horisontalkurven. Det bør også vurderes hvordan en flytting av målpunkt for nødbremsekurver inn i horisontalkurvene påvirker samtrafikkevnen. For utenlandske tog er det ikke nødvendigvis uproblematisk dersom denne flyttingen blir et særnorskt fenomen.

Fra velteberegningene framkommer det at det er kurver etter store nedsettelse i tillatt hastighet, hvor hastigheten likevel ikke nedsettes, at veltefare kan forekomme. Regelverket slik det er i dag åpner for at for store hastighetsnedsettelse kan løses med repeterskilt som en forsikring om at lokomotivfører har observert hastighetsnedsettelsen. Den andre måten å løse store hastighetsnedsettelse på er en trinnvis nedtrapping av hastigheten. Et repeterskilt vil ikke gi noen mening med ERTMS ettersom skiltingen er fjernet. Dersom flytting av nødbremsekurvens målpunkt er gjennomført i en kurve med stor hastighetsnedsettelse vil derfor ikke dagens regel om repeterskilt ha noen innvirkning på togets hastighet inn i kurven. En flytting av nødbremsekurvens målpunkt fordrer derfor at alle store hastighetsnedsettelse utføres trinnvis.

Der hastighetsnedsettelsen kun gjelder en kort avstand, for eksempel i en kort og krapp kurve, vil det kunne forekomme at nødbremsekurvens målpunkt blir flyttet forbi der hastigheten skulle vært skiltet opp igjen. Dette er lite hensiktsmessig, og er tilfeller det må ses spesielt på. Forslaget om å flytte nødbremsekurvens målpunkt forutsetter at det gis aksept for dette. Det understrekes at velteberegningene er gjort kun for persontog av typen som i dag trafikkerer strekningen Hønefoss-Ål. Godstog er ikke vurdert.

6.2.4 Flytting av markeringsmerket

Ved de fleste horisontalkurver som fører til nedsatt hastighet i hastighetsprofilen har overgangskurvene vesentlig høyere dimensjonerende hastighet enn sirkelkurvene. Ettersom det tar tid å bremse et tog er det lite trolig at hastighet i overgangskurver blir et problem dersom dagens markeringsmerke flyttes til sirkelkurvens start. Overgangskurver av type 1, hvor dimensjonerende hastighet er over skiltet hastighet før hastighetsnedsettelsen, vil være uproblematisk å innlemme i forrige skiltede hastighet. Overgangskurver av type 2, der dimensjonerende hastighet er mellom forrige skiltede hastighet og dimensjonerende hastighet for sirkelkurven, vil være diskutabel. Det vil ikke uten videre gå fint og tillate å flytte markeringsmerket forbi disse overgangskurvene. Dette fordi overgangskurvene kan ha en dimensjonerende hastighet tett opptil dimensjonerende hastighet for sirkelkurven, som igjen kan medføre at tog kjører i en hastighet over dimensjonerende hastighet i overgangskurven. For disse overgangskurvene vil det gå en grense for når det er greit å flytte markeringsmerket forbi overgangskurven. For å finne denne grensen er en mulighet å se på hvilken hastighet toget vil ha ved starten av overgangskurven dersom det velges en retardasjon å legge til grunn og regnes bakover fra det flyttede markeringsmerket. Deretter kan det vurderes om denne hastigheten er innenfor hva som er dimensjonerende hastighet for overgangskurven. Bakgrunnen for at markeringsmerket i dag er plassert ved overgangskurvens begynnelse, uavhengig av om den er av type 1 eller 2, er at det ønskes en sikkerhet for at skiltet hastighet oppnås før sirkelkurven. Flere steder i hastighetsprofilen, slik figur 5-9 er eksempel på, er plassering av skilt plassert ut fra skjønn.

Sikkerheten er dermed ikke en fast størrelse, men varierer. Med ERTMS er all sikkerhet lagt inn i beregningene av bremsekurvene, derfor bør alle andre sikkerhetsmarginer fjernes for å unngå at doble sikkerhetsmarginer går utover kapasiteten.

Den samme problemstillingen som med flytting av markeringsmerket gjelder for flytting av skilt ved oppskilting av hastighet. Også her vil det være mulig å skille opp hastigheten ved sirkelkurvens slutt i stedet for ved overgangskurvens slutt. Det er ingen åpenbar grunn til at det skiltes opp etter overgangskurvens slutt, men det kan antas at dette er for å kunne bruke samme skiltmast som skilting for motsatt kjøreretning. Dette er hensyn det ikke lengre vil være nødvendig å ta etter innføring av ERTMS.

6.2.5 Endring av regelverk

Flere punkter i regelverket kan endres for å forbedre kapasiteten. I de følgende avsnittene diskuteres de ulike forslagene.

6.2.5.1 *Avrundingsregler*

Slik regelverket er i dag vil en kurve med dimensjonerende hastighet 89,9 km/t skiltes 85 km/t og ikke 90 km/t. Det er viktig å kunne forholde seg konsekvent til regelverket, men det er også viktig å undersøke om det er hensiktsmessig at en slik rigid praksis går ut over kjøretiden. Regelverket som regulerer skiltet hastighet i kurver er basert på komforthensyn. Det er dermed ingen sikkerhetsmessige årsaker til at det i slike tilfeller ikke kan utvises skjønn og rundes opp i stedet for ned. En hastighetsøkning på 1 km/t vil sannsynligvis ikke gi nevneverdig utslag i komforten sammenlignet med hva sporfeil kan gi.

Det kan argumenteres for at kurver med en dimensjonerende hastighet nær 5 km/t over skiltet hastighet bør vurderes spesielt for å se hva som er hensiktsmessig tillatt hastighet. En ulempe med ATC som blir videreført med ERTMS er at tillatt hastighet låses til å måtte oppgis i hele 5-ere. Dersom det var mulig å sette tillatt hastighet til å være alle heltall, ville avrundingsproblematikken blitt løst.

6.2.5.2 *Samsvar med NS-EN 13803*

Komfortparametre i Teknisk regelverk samsvarer i stor grad med NS-EN 13803. Når det gjelder rampestigningshastighet er derimot Teknisk regelverk mer konservativ enn den europeiske standarden. Hvor Teknisk regelverk setter en grenseverdi på 69 mm/s setter NS-EN 13803 en grenseverdi på 70 mm/s, og tillater 85 mm/s dersom rykkverdien er 70 mm/s eller mindre. Dersom Teknisk regelverket ble endret til å samsvare med NS-EN 13803 ville dette ført til at overgangskurver hvor rampestigningshastigheten er dimensjonerende fikk høyere dimensjonerende hastighet.

6.2.5.3 *Liberalisering av krav ved kjøring ned overhøyderamper*

Gjennom forsøkene som ble gjort under utvikling av P_{CT} -funksjonen ble det tydelig at kun kjøring opp overhøyderamper før sirkelkurver samt kjøring i overhøyderamper som øker overhøyden etter en sirkelkurve ga utslag i ubehag hos passasjerer. Kjøring ned overhøyderamper ga ikke utslag i ubehag fordi det er forventet at sideakselerasjonen avtar etter en sirkelkurve. Dette tyder på at det er unødvendig å stille samme komfortkrav til alle overgangskurver slik det gjøres i dag. Passasjerer vil ha aksept for høyere rykk- og rampestigningsverdier ved kjøring ned en overgangskurve sammenlignet med opp. Dersom grenseverdiene for overgangskurver etter sirkelkurver økes vil det bli tillatt å kjøre i en høyere hastighet i disse.

6.2.5.4 Følger av økt dimensjonerende hastighet for overgangskurver

Ettersom hastighetsprofilen fra strekningen Hønefoss-Ål viser at overgangskurver i all hovedsak har høyere dimensjonerende hastighet enn sirkelkurver, er det lite trolig at de foreslåtte tiltakene for å øke dimensjonerende hastighet i overgangskurver vil få nevneverdig betydning for reisetiden ved at skiltet hastighet blir økt. En økning av dimensjonerende hastighet i overgangskurver kan føre til flere overgangskurver av type 1 hvor det ikke er tvil om at punktet for hastighetsendring kan flyttes sammenlignet med dagens situasjon. Dimensjonerende hastighet for overgangskurver av type 2 øker også, noe gjør det lettere å flytte punktet hvor tillatt hastighet endres til sirkelkurven i stedet for overgangskurven.

6.2.6 Flytting av nødbremsekurve ved stoppskilt

Ved stoppskilt kan nødbremsekurvens fotpunkt, det sikkerhetskritiske målpunktet, flyttes til sikkerhetssonen bak stoppskiltet. Ved å gjøre dette oppnås det at hastigheten kan opprettholdes lengre før bremsing ved et stoppsignal. Sikkerhetsmarginene i ERTMS gjør at det kan stoles på at overvåkingen av det sikkerhetskritiske målpunktet er god nok. Som vist i eksempelet i 2.5.3.1 SvL spares det 8-10 sekunder reisetid ved de forutsetningene som er lagt til grunn der. Det oppnås også fordeler med release speed ved å flytte nødbremsekurvens fotpunkt. Release speed er avhengig av lengden på SvL, og ved å legge SvL 150 m etter stoppskiltet oppnås fordelene ved den høyest mulige release speeden på 40 km/t.

6.2.7 Muligheter med flere hastighetsklasser

ERTMS gir mulighet til 18 ulike togkategorier som skal erstatte de tre hastighetsklassene som finnes i Norge i dag. Dette gir mulighet for at enkelte tog som er gode nok til å kjøre raskere enn hva de har lov til i dag, men som ikke er gode nok til å kjøre i pluss-hastighet, kan tillates å kjøre i en høyere hastighet. Dette gjelder hovedsakelig godstog fordi de fleste persontog allerede kjører med en ukompenesert sideakselerasjon som tilsvarer den høyeste av togkategoriene for persontog. Togkategorier for godstog er ikke nærmere vurdert i denne oppgaven.

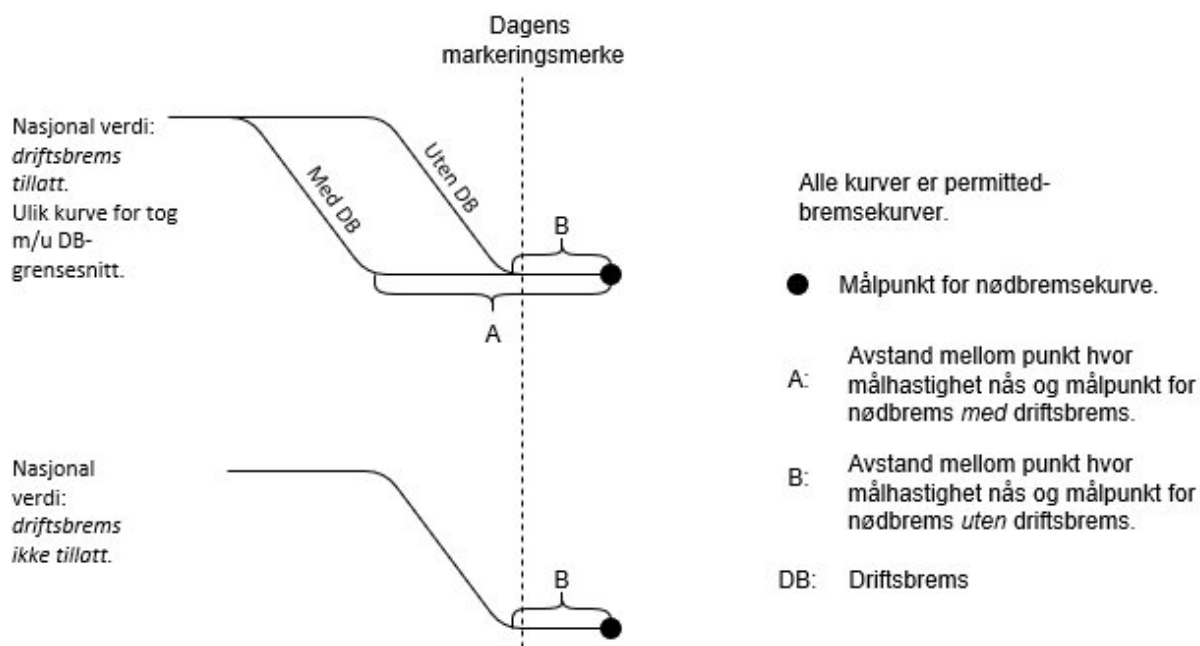
6.2.8 Fjerning av driftsbremsekurve

I ERTMS er det mulig å velge hvorvidt driftsbremse tillates benyttet i hastighetsovervåking. Dette reguleres gjennom nasjonale verdier, og dette valget gjelder for alle togkategorier. Ettersom driftsbremsekurven ligger foran nødbremsekurven påvirker dette permitted-kurven ved at denne starter tidligere dersom hastighetsovervåking benytter driftsbremse. En bremsekurve som inkluderer driftsbremse vil nå målhastighet tidligere enn en bremsekurve som ikke inkluderer driftsbremse. Dette er hovedgrunnen til at tidsbruken øker dersom driftsbremse inkluderes i bremsekurven, men retardasjonsverdien er også noe lavere med driftsbremse enn uten. På strekningen Hønefoss-Ål tar det 85 sekunder lengre tid å kjøre dersom driftsbremse inkluderes i hastighetsovervåkingen enn dersom driftsbremse utelates. Dette gir et snitt på 2,3 sekunder lengre reisetid per hastighetsnedsettelse. Bremsekurver før stoppsignal er ikke vurdert.

Dersom den nasjonale verdien for om hastighetsovervåking benytter driftsbremse settes til tillatt, kan det fås en situasjon der tog i Norge kan benytte to ulike bremsekurver. Det vil da finnes noen tog som beregner ETCS-bremsekurver som inkluderer driftsbremsekurven, mens andre vil ekskludere denne. En mulighet for å redusere tiden som tapes med de mer restriktive bremsekurvene med ERTMS er å flytte målpunkt for nødbremsekurven inn i horisontalkurven. Om dette kan tillates er en pågående diskusjon, fordi sikkerhetsmarginer med ERTMS er bakt inn i bremsekurven og det ikke uten videre kan godtas at denne flyttes. En flytting av bremsekurven vil redusere tiden tog kjører

med målhastighet i forkant av punktet som målhastighet gjelder fra. Dersom hastighetsovervåkningen tillates å benytte driftsbrems, vil flyttingen av målpunktet begrenses av bremsekurven uten driftsbrems ettersom denne kan flyttes mindre enn bremsekurven med driftsbrems slik figur 6-6 viser. Konsekvensen er at tog med hastighetsovervåking som inkluderer driftsbrems når målhastighet et stykke før punktet målhastighet gjelder fra, selv om målpunkt for nødbremsekurven er flyttet inn i kurven. For tog med hastighetsovervåking som ikke benytter driftsbrems vil flytting av målpunkt for nødbremsekurven være optimalisert, slik at det for kjøretiden med disse togene ikke vil ha noe betydning hva den nasjonale verdien velges til.

Dersom den nasjonale verdien for om ERTMS kan benytte driftsbrems settes til ikke tillatt, vil ingen tog kunne kjøre med bremsekurver som inkluderer driftsbremsekurven. Ved flytting av målpunkt for nødbremsekurven inn i kurven vil denne flyttingen bli optimalisert for alle tog. Dette fordi det ikke blir to varianter av bremsekurver som det må tas hensyn til, slik tilfellet er dersom den nasjonale verdien for om hastighetsovervåkningen kan benytte driftsbrems settes til tillatt.



Figur 6-6 Valg av nasjonal verdi for om driftsbrems tillates i hastighetsovervåkningen påvirker muligheten for å flytte målpunkt for nødbremsekurve inn i horisontalkurven.

Dersom et togselskap ønsker kortest mulig reisetid, og ikke ønsker å inkludere ETCS-grensesnitt mot driftsbrems i toget har det altså ikke noe å si hva den nasjonale verdien velges til. Dersom togoperatør ønsker å inkludere grensesnitt mot driftsbrems vil valget av den nasjonale verdien ha betydning for reisetiden.

Dersom den nasjonale verdien settes til at ERTMS ikke kan benytte driftsbrems i hastighetsovervåkningen, selv om et togselskap ønsker dette, vil driftsbremsekurven utelates. Dermed blir bremsekurven kortere og kjøretiden reduseres sammenlignet med om dette togselskapet fikk inkludere driftsbrems i bremsekurven.

Sett fra infrastruktureier sitt perspektiv vil alle tiltak som forbedrer kapasiteten være ønskelig. Det er også grunnen til at Bane NOR i forslag til nasjonale verdier anbefaler at det ikke tillates å la hastighetsovervåkningen benytte driftsbrems, men dette blir endelig avgjort på et senere tidspunkt.

Et annet argument mot at driftsbremsekurven inkluderes i hastighetsovervåkningen er økt liggetid for bom på planoverganger. Liggetiden beregnes ut fra lengden på bremsekurven til et tog som kjører mot planovergangen, og denne er lengre dersom driftsbremse inkluderes. En for lang liggetid kan føre til at personer som skal krysse en planovergang tar sjansen på å krysse planoverganger selv om bommen er nede.

Den kortere bremsekurven dersom driftsbremse ikke inkluderes i hastighetsovervåkningen fører også til tidsbesparelser inn mot stasjoner og stoppsignal. Slike tidsbesparelser kan gi positive effekter for andre tog ved at kryssing kan skje tidligere.

Ettersom en nødbremsekurve er brattere og dermed medfører en høyere retardasjon enn en driftsbremsekurve, øker faren for at hjul låser seg. Dersom dette skjer vil hjul skli langs skinnen og bli avsløpt på én side. Dette fører til hjulslag ved videre kjøring, noe som kan skade både skinne og materiell. Dette er et større problem for godstog enn persontog ettersom godsvogner mangler glidevern. Risikoen for hjulslag øker med minkende adhesjon. For godstog vil det også være fare for stuking av vognene ved en nødbremse. En nødbremse tømmer hele hovedledningen, og for et langt godstog kan det ta opptil 2-3 minutter å fylle hovedledningen igjen. Det er derfor sannsynlig at en hastighetsreduksjon med nødbremse vil ta godstog til full stans før det er tilstrekkelig trykk i hovedledningen til å få løst bremsene igjen [98].

Fra en lokomotivførers perspektiv vil nødbremse være en mye mer alvorlig konsekvens av for høy hastighet eller for sen nedbremsing enn inngripen av driftsbremse. Slik situasjonen er i dag med ATC, er det en driftsbremsekurve som senker hastigheten dersom denne overstiger grenseverdiene. Det er derfor forståelig dersom lokomotivførere ønsker at driftsbremse inkluderes i hastighetsovervåkningen slik at dagens situasjon opprettholdes med tanke på konsekvensen ved en hastighetsoverskridelse eller for sen nedbremsing. Ifølge dagens lovverk er det ikke ulovlig å bremse sent, så lenge målhastighet nås ved markeringsmerket. Dersom det ved kjøring med ERTMS bremses senere enn bremsekurvene tillater vil reaksjonen med ERTMS være nødbremse dersom driftsbremse utelates fra hastighetsovervåkningen. Dette skjer selv om målhastighet vil kunne nås før dagens markeringsmerke. En lokomotivfører vil dermed få en nødbremsereaksjon uten å ha gjort noe ulovlig i henhold til lovverket. Det kan argumenteres med at nødbremse bør være en reaksjon ved en nødsituasjon, ikke ved en for sen nedbremsing som likevel ville ført til at toget når målhastighet til riktig tid. Det bør vurderes å endre lovverket slik at lokomotivfører blir pålagt å ikke overskride permitted-kurven, slik at det ikke fås en nødbremsereaksjon uten at regelverket er brutt.

Ettersom føre- og adhesjonsforhold varierer veldig er det fra en lokomotivførers perspektiv ønskelig å ha driftsbremse-inngripen som en barriere før en nødbremssituasjon skulle oppstå dersom adhesjonen er dårligere enn antatt ved en nedbremsing. Beregningene viser en teoretisk besparelse på 2,3 sekunder i gjennomsnitt per hastighetsnedsettelse når driftsbremse ikke inkluderes i hastighetsovervåkningen sammenlignet med om den inkluderes. Det er sannsynlig at den teoretiske tidsgevinsten blir brukt opp ved at det kjøres mer konservativt i frykt for nødbremse-inngripen [99].

Sett fra infrastruktureiers synspunkt er det ikke deres ansvar å passe på at lokomotivførerne holder riktig hastighet. Blir toget tatt av nødbremsekurven har lokomotivfører kjørt for fort, og det skal de ikke gjøre. Det kan også være naturlig å anta at en fjerning av driftsbremse i hastighetsovervåking er noe lokomotivførerne vil tilpasse adferden etter.

7 Konklusjon

Et sterkt behov for fornyelse av signalanlegg og europeiske krav til samtrafikkveie er bakgrunnen for ERTMS-utbyggingen. Flere fordeler følger med overgangen til nytt signalsystem, og disse er godt belyst. Ulemper som at hastighet og kapasitet kan gå ned har det vært mindre fokus på. Oppgavens hovedmål har vært å se på i hvilken grad innføring av ERTMS påvirker hastighet og kapasitet på jernbane, samt å se på hvordan kapasiteten kan forbedres.

Ut fra analysen av bremsekurver ved reduksjon av skiltet hastighet på strekningen Hønefoss-Ål er det tydelig at reisetiden vil øke ved innføring av ERTMS. Dette gjelder uavhengig av om ETCS benytter driftsbrems i hastighetsovervåkingen eller ikke. Hovedgrunnen til at reisetiden øker såpass mye er de mange hastighetsreduksjonene på en kurverik, eldre bane som Bergensbanen. For nye strekninger, som for eksempel Gardermobanen, med få hastighetsreduksjoner vil ikke overgangen til ERTMS gi samme reisetidsøkning.

Det er mange elementer som skal på vektskålen for å veie tidsbruken med ERTMS mot dagens situasjon. Ut fra det som er funnet i denne oppgaven er det klart at fordelene ikke oppveier ulempene med ERTMS når det kommer til kapasitet. Det er derfor nødvendig å gjøre tiltak for å forbedre kapasiteten og dermed redusere ulempene som innføring av ERTMS medfører. Flytting av nødbremsekurvens fotpunkt til sikkerhetssonen bak stoppskilt, optimalisering av overhøyde i kurver og flytting av punkt for målhastighet til sirkelkurver i stedet for overgangskurver er eksempler på tiltak som vil ha effekt på reisetiden. Flytting av målpunkt for nødbremsekurver inn i horisontalkurver i kombinasjon med at driftsbrems ikke tillates i hastighetsovervåkingen vil føre til at bremsekurvene med ERTMS ikke blir mer restriktive ved hastighetsnedsettelse enn hva som er situasjonen i dag. Det er steder i hastighetsprofilen hvor skiltet hastighet er satt unødvendig lavt, det vil derfor være nyttig å gjøre en full gjennomgang av hastighetsprofilen for å se etter lignende tilfeller. Flere steder er det også skiltet en hastighet som gir komfortparametre over grenseverdiene. Dersom regelverket skal følges vil dette gi tidsforlengende effekter. Det er flere punkter i regelverket det bør vurderes å endre. Blant annet den strenge praksisen med avrunding av hastighet, rampestigningshastighet i henhold til NS-EN 13803, og liberalisering av komfortkrav ved kjøring ned overhøyderamper. Om hastighetsovervåking inkluderer eller ekskluderer driftsbrems er ikke bare en diskusjon om hastighet og kapasitet, men konsekvensene som følger ved utløsning av nødbrems må også vurderes. Beregninger viser at dersom driftsbrems ikke tillates, eller tillates men ikke benyttes, i hastighetsovervåkingen vil kapasiteten være høyere enn dersom driftsbrems benyttes i hastighetsovervåkingen. Tidsbesparelsen som fås ved å ikke benytte, sammenlignet med å benytte, driftsbrems i hastighetsovervåkingen kan imidlertid tapes ved mer konservativ kjøring på grunn av frykt for nødbremsinngrep.

Likevel er det også noen positive effekter ved innføringen av ERTMS når det kommer til reisetid. For eksempel kortere togfølgetid, muligheten for å legge inn tog lengde i kortere intervall, bortfall av skilt og signal med ERTMS, økt makshastighet der DATC har vært begrensende, og at det selv uten utbygging av samtidig innkjør vil spares tid dersom to tog skal inn på en stasjon samtidig.

ERTMS er et eldre system lansert i 1995, og ved innføringen i Norge besto det av en teknologi som var blitt standardisert gjennom TSI-er og EU-direktiver før det var skikkelig testet ved noen lands jernbanenett. At det programvareteknisk er et enkelt system har sine fordeler i at det bør kunne forventes lite systemfeil. Systemet har imidlertid flere begrensninger som synes lite hensiktsmessige

i dagens teknologiske samfunn. Begrensninger som at maksimal tillatt hastighet må oppgis i hele 5-ere, at ikke flere bremsekurver kan beregnes samtidig, og at maksimalt antall hastighets- og vertikalkurvaturendringer er 31 stk per kjøretillatelse er eksempler på dette. Spesielt er begrensningen på antall vertikalkurvaturendringer en utfordring i kupert Norge. Når ETCS-systemet i tillegg gir bremsekurver som når målhastighet lenge før det som er dagens praksis, og det i Norge er mange endringer i skiltet hastighet, er det tydelig at ERTMS nivå 2 ikke er et system som er spesielt godt egnet for kurverike strekninger i Norge.

Denne oppgaven har en del avgrensninger, og det er en del problemstillinger det ville vært naturlig å se på i et videre arbeid. Det vil være nødvendig å se på konvensjonell hastighet, ikke bare pluss-hastighet som det er sett på i denne oppgaven. Ved innføring av ERTMS vil det være spesielt interessant for tog med lav bremseprosent, typisk godstog, å se på konsekvensene av at forsignal og hovedsignal forsvinner. Hvor stor betydning for hastighet vil det ha at toghastighet ikke begrenses av bremseprosent og nødvendigheten av å kunne stoppe mellom forsignal og hovedsignal? I samme moment vil det være nødvendig å se på kravet om at et tog til enhver tid skal kunne stoppe på 800, 1200 eller 1500 meter avhengig av bremsetabell. Dersom dette kravet er svært begrensende må det jobbes for å fjerne det for å få utbytte av ERTMS. Å utrede hvor begrensende dette kravet er vil være interessant for både person- og godstog. Begrensninger knyttet til avstand mellom hastighetsnedsettelse bør også undersøkes nærmere, spesielt med tanke på godstog.

Beregningene som er utført i denne oppgaven er utført med utgangspunkt i dagens materiell for persontransport. Dersom dette materiellet skal byttes ut, med for eksempel motorvognsett, vil det være nødvendig å gjøre nye beregninger i de tilfellene der de ulike togtypene har ulike parametre.

Det er i oppgaven noen forslag til regelendringer. Disse forslagene kan ha andre konsekvenser enn dem som er belyst, og dette må følgelig utredes mer enn hva denne oppgavens omfang tillater. Det bør vurderes om det er behov for regelverksendringer som bedre regulerer hvordan lokomotivførere forholder seg til hastighetsovervåking i ERTMS, på samme måte som det er for skiltet hastighet idag. Det må også utredes ytterligere hvilke implikasjoner forslaget om å flytte nødbremsekurvens målpunkt inn i kurvene har, da dette også medfører en flytting av hele «sikkerhetsnett» til ERTMS. Det må også utredes om dette har konsekvenser for samtrafikkevnen.

Det vil også kunne være interessant å se på løsninger og algoritmer for begrensningen ERTMS har med antall knekkpunkter i vertikalkurvatur. Dette har ERTMS-leverandøren løsninger for, men *det* er ikke nødvendigvis noen garanti for at det ikke kan gjøres enklere eller bedre.

Ved beregning av bremsekurver hvor målpunkt for nødbremsekurve er flyttet inn i horisontalkurvene er ikke permitted-kurvens endepunkt flyttet helt til dagens markeringsmerke. Denne avstanden bør ikke være 0, men en konkret verdi bør utredes nærmere enn antagelsene gjort i denne oppgaven.

Kildeliste

- [1] J. E. Nilsen. 2014. *Hvorfor stopper alle togene av én signalfeil* [Online]. Hentet fra: <https://www.tek.no/artikler/derfor-har-jernbanen-hatt-1500-signalfeil-hittil-i-ar/161612?key=YAXAo4Mf>. Lastet ned: 11.04.2019.
- [2] Bane NOR. 2018. *Norge får Europas mest moderne jernbane: Bane NOR digitaliserer for 20 milliarder* [Online]. Hentet fra: <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/ertms/innhold/2018/norge-far-europas-mest-moderne-jernbane-bane-nor-digitaliserer-for-20-milliarder2/>. Lastet ned: 11.04.2019.
- [3] Jernbaneverket. 2014. *ERTMS for dummies - grunnleggende funksjonalitet* [Online]. Hentet fra: <https://www.banenor.no/globalassets/documents/ertms/1-ertms-for-dummies-grunnleggende-001.pdf>. Lastet ned: 28.01.2019.
- [4] Jernbaneverket. 2008. *Mer på skinner - glimt fra jernbaneverkets virksomhet i 2007* [Online]. Hentet fra: https://www.banenor.no/contentassets/c493b76370b74fffb84837a5211563b6/_rsmelding_2007_1821582a.pdf. Lastet ned: 29.04.2019.
- [5] NSB. *Kvalitet og service* [Online]. Hentet fra: <https://www.nsb.no/om-nsb/kvalitet-og-service>. Lastet ned: 15.01.2019.
- [6] Store norske leksikon. 2009. *Sentrifugalkraft* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/sentrifugalkraft>. Lastet ned: 20.01.2019.
- [7] Bane NOR. 2019. *Sporets trasé/sporgeometri/horisontalkurvatur/sirkelkurver* [Online]. Hentet fra: https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Sporets_trasé/Sporgeometri#Sirkelkurver. Lastet ned: 22.01.2019.
- [8] Bane NOR. 2018. *Overbygning/prosjektering/sporets trasé/horisontaltrasé* [Online]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporets_trasé#Horisontaltrasé.C3.A9. Lastet ned: 22.01.2019.
- [9] Bane NOR. 2018. *Sporets trasé* [Online]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporets_trasé. Lastet ned: 10.01.2019.
- [10] Bane NOR. 2019. *Sporets trasé/sporgeometri/overgangskurver og overhøyderamper* [Online]. Hentet fra: https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Sporets_trasé/Sporgeometri#Overgangskurver_og_overh.C3.B8yderamper. Lastet ned: 22.01.2019.
- [11] Bane NOR. 2018. *Sporets trasé, vertikalkurver* [Online]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporets_trasé#Vertikalkurver. Lastet ned: 09.01.2019.
- [12] Bane NOR. 2017. *Sporets trasé/hastighetsberegninger/hastighet i stigningskurver* [Online]. Hentet fra: https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Sporets_trasé/Hastighetsberegninger#Hastighet_i_stigningskurver. Lastet ned: 22.01.2019.
- [13] Bane NOR. 2018. *Prosjektering, sporets trasé 3.7* [Online]. Hentet fra: https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporets_trasé. Lastet ned: 10.01.2019.
- [14] Bane NOR. 2019. *Sporvekslers geometri, hastighet i sporveksler* [Online]. Hentet fra: https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Sporets_trasé/Sporvekslers_geometri#Hastighet_i_sporveksler_-_veksler_for_h.C3.B8ye_hastigheter. Lastet ned: 15.01.2019.
- [15] Bane NOR. 2018. *Overbygning/prosjektering/sporets trasé - 3.7 sporveksler og sporforbindelser* [Online]. Hentet fra: https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporets_trasé. Lastet ned: 10.01.2019.

- [16] Jernbaneinfrastrukturforskriften, *Forskrift om nasjonale tekniske krav for jernbaneinfrastruktur på det nasjonale jernbanenettet*, § 3-1, 2011. Hentet fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2011-04-11-388#KAPITTEL_3
- [17] B. Kufver, "Methods for evaluation of ride comfort as a function of vehicle reactions caused by railway alignment," Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)1997, <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:675174/FULLTEXT01.pdf>, Lastet ned: 14.03.19.
- [18] Bane NOR. 2018. *3.2.4.1 maximum acceptable dynamic wheel load* [Online]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Rolling_stock/Supplementary_information_and_regulations#Maximum_acceptable_dynamic_wheel_load. Lastet ned: 24.01.2019.
- [19] Bane NOR. 2019. *3.2 dimensjonerende parametre - eksisterende baner* [Online]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporets_trasé#Dimensjonerende_parametre_-_eksisterende_baner. Lastet ned: 09.04.2019.
- [20] Bane NOR. 2019. *Sporets trasé/sporgeometri/geometriske feil - vedlikehold/vindskjevhet* [Online]. Hentet fra: https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Sporets_trasé/Sporgeometri#Vindskjevhet. Lastet ned: 22.01.2019.
- [21] Bane NOR. 2018. *Signal/prosjektering/lyssignal 2.1.2 og 2.1.3.* [Online]. Hentet fra: <https://trv.jbv.no/w/index.php?title=Signal/Prosjektering/Lyssignal&oldid=50386>. Lastet ned: 09.01.2019.
- [22] Bane NOR. 2018. *Signal/prosjektering/veisikringsanlegg 3.3* [Online]. Hentet fra: <https://trv.jbv.no/w/index.php?title=Signal/Prosjektering/Veisikringsanlegg&oldid=50306>. Lastet ned: 09.01.2019.
- [23] Bane NOR. 2017. *Overbygning/vedlikehold/planoverganger pkt. 2.1* [Online]. Hentet fra: <https://trv.jbv.no/w/index.php?title=Overbygning/Vedlikehold/Planoverganger&oldid=41910>. Lastet ned: 10.01.2019.
- [24] Bane NOR. 2018. *Særlig hastighet pga rasfare* [Online]. Hentet fra: http://orv.jbv.no/sjn/doku.php?id=strekningsbeskrivelse:tilllegg#saerlig_hastighet_grunnet_rasfare. Lastet ned: 09.01.2019.
- [25] Store norske leksikon. 2019. *Dynamisk* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/dynamisk>. Lastet ned: 15.01.2019.
- [26] Bane NOR. 2015. *Dynamisk systembeskrivelse av kontaktledningsanlegg* [Online]. Hentet fra: https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Dynamisk_systembeskrivelse_av_kontaktledningsanlegg. Lastet ned: 09.01.2019.
- [27] Bane NOR. 2018. *Kontaktledning/prosjektering og bygging/kontaktledningsutforming* [Online]. Hentet fra: https://trv.jbv.no/wiki/Kontaktledning/Prosjektering_og_Bygging/Kontaktledningsutforming. Lastet ned: 22.01.2019.
- [28] Bjørn Ivar Olsen (Bane NOR avd. teknologi og regelverk (Kontaktledning)), "Informasjon fra epostutveksling og samtaler," 18.03.2019.
- [29] Bane NOR. 2015. *Dynamisk beskrivelse av kontaktledningsanlegg/krav til rullende materiell mot kontaktledningsanlegg/krav til strømavtaker* [Online]. Hentet fra: https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Dynamisk_systembeskrivelse_av_kontaktledningsanlegg#Krav_til_str.C3.B8mavtaker. Lastet ned: 22.01.2019.
- [30] TSI LOC & PAS-forskriften, *Kommisjonsforordning (eu) nr. 1302/2014 2018/eøs/18/17 av 18. November 2014 om en teknisk spesifisering for samtrafikkvegne med hensyn til delsystemet «rullende materiell – lokomotiver og rullende materiell for passasjertrafikk» i den europeiske unions jernbanesystem*, [Online] 4.2.8.2.9.2.1. og 4.2.8.2.9.2.2., 2014. Hentet fra: <https://lovdata.no/static/NLX3/32014r1302.pdf>
- [31] Store norske leksikon. 2011. *Tregthet* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/tregthet>. Lastet ned: 24.01.2019.

- [32] Bane NOR. 2018. *Overbygningssklasser* [Online]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Generelle_tekniske_krav#Overbygningssklasser Lastet ned: 24.01.2019.
- [33] Bane NOR. 2015. *Dimensjoneringsmetoder - dynamiske laster* [Online]. Hentet fra: <https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Dimensjoneringsmetoder>. Lastet ned: 09.01.2019.
- [34] Bane NOR. 2018. *Sporjustering og stabilisering* [Online]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Vedlikehold/Sporjustering_og_stabilisering#Sporjustering_og_stabilisering. Lastet ned: 31.01.2019.
- [35] Wikipedia. 2016. *Stadler flirt* [Online]. Hentet fra: https://nn.wikipedia.org/wiki/Stadler_FLIRT. Lastet ned: 31.01.2019.
- [36] Bane NOR. 2015. *Vogdenes rulling* [Online]. Hentet fra: https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Samvirke_mellom_rullende_materiell_og_spor#VOGNESES_RULLING. Lastet ned: 11.04.2019.
- [37] Bane NOR. 2017. *Hastighetsberegninger* [Online]. Hentet fra: https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Sporets_trasé/Hastighetsberegninger. Lastet ned: 09.01.2019.
- [38] Appendix A to TSI OPE, *Appendix a (version 4) to technical specifications "operation and traffic management"*, [Online], 2015. Hentet fra: https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/appendix_a_ope_tsi_en.pdf
- [39] Bane NOR. 2019. *Førerens regelbok Bane NOR* [Online]. Hentet fra: <https://www.banenor.no/contentassets/385466d7d1c84c43a5e6d0e783c6de9a/sty-603526-forerens-regelbok-rev.-05.pdf>. Lastet ned: 17.01.2019.
- [40] Bane NOR. 2019. *2.19 oversikt over bremseprosent og bremsetabeller* [Online]. Hentet fra: http://orv.jbv.no/sjn/doku.php?id=strekningsbeskrivelse:tilllegg#oversikt_over_bremseprosent_og_bremsetabeller. Lastet ned: 02.05.2019.
- [41] Bane NOR. 2018. *Håndsignaler og bruk av radiokommunikasjon/9.62 signal "stopp" på linjen* [Online]. Hentet fra: http://orv.jbv.no/orv/doku.php?id=tjn:kap_9:v._handsignaler_og_bruk_av_radiokommunikasjon. Lastet ned: 02.05.2019.
- [42] NOU 2001:9, "Lillestrøm-ulykken 5. April 2000," Statens forvaltningstjeneste Informasjonsavdelingen, Oslo, 2001.
- [43] Bane NOR. 2018. *Underbygning/vedlikehold/vegetasjonskontroll i sideterreng 2.1* [Online]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Underbygning/Vedlikehold/Vegetasjonskontroll_i_sideterreng. Lastet ned: 17.01.2019.
- [44] Jernbaneverket, "Slik fungerer jernbanen, en presentasjon av trafikksystemets infrastruktur," utg. Hamar: Jernbaneverket, 2013.
- [45] Bane NOR. 2018. *ATC-håndbok, kapittel 10. Overvåking av hastighetsreduksjoner* [Online]. Hentet fra: http://orv.jbv.no/orv/doku.php?id=manualer_fjernstyrings_og_sikringsanlegg:atc-handboka. Lastet ned: 26.02.2019.
- [46] Kjell Kristian Hageland (senioringeniør i ERTMS-prosjektet Bane NOR), "Samtale i Bane NORs lokaler " 07.02.2019.
- [47] Bane NOR. 2018. *Skilt/plasering av skilt langs sporet/skiltoversikt* [Online]. Hentet fra: https://trv.jbv.no/wiki/Skilt/Plasering_av_skilt_langs_spor/Skiltoversikt. Lastet ned: 23.01.2019.
- [48] Hallstein Gåsemyr (Bane NOR), "Samtale i Bane NORs lokaler," 27.03.2019.
- [49] Bane NOR. 2015. *Kapasitet på jernbane/kapasitet på enkeltspor/utseende av en typisk enkeltsporstrekning* [Online]. Hentet fra: https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Kapasitet_på_jernbane. Lastet ned: 03.05.2019.

- [50] Store norske leksikon. 2019. *Jernbane* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/jernbane>. Lastet ned: 21.01.2019.
- [51] Samferdselsdepartementet. 2018. *Spørsmål og svar om fjerde jernbanepakke* [Online]. Hentet fra: https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/jernbane_og_jernbanetransport/sporsmal-og-svar-om-fjerde-jernbanepakke/id2606760/. Lastet ned: 21.01.2019.
- [52] Utenriksdepartementet, "Om samtykke til godkjenning av EØS-komiteens beslutning nr. 82/2005 av 10. Juni 2005 om innlemmelse i EØS-avtalen av europaparlaments- og rådsforordning (EF) nr. 881/2004 om opprettelse av et europeisk jernbanebyrå (ERA)," [Online] 2005.
- [53] Bane NOR. 2018. *Samtrafikk i den transeuropeiske jernbane* [Online]. Hentet fra: <https://trv.banenor.no/jk/doku.php?id=presentasjoner:samtrafikk>. Lastet ned: 21.01.2019.
- [54] Samferdselsdepartementet. *Kollektivtransport- og baneavdelingen (KBA)* [Online]. Hentet fra: <https://www.regjeringen.no/no/dep/sd/org/avdelinger/kba/id635328/>. Lastet ned: 21.01.2019.
- [55] Samferdselsdepartementet. *Jernbanedirektoratet* [Online]. Hentet fra: <https://www.regjeringen.no/no/dep/sd/org/underliggende-etater/jernbanedirektoratet/id437996/>. Lastet ned: 21.01.2019.
- [56] Statens jernbanetilsyn. 2019. *Om oss* [Online]. Hentet fra: <https://www.sjt.no/andre-valg/om-oss/>. Lastet ned: 21.01.2019.
- [57] Samferdselsdepartementet. *Bane NOR SF* [Online]. Hentet fra: <https://www.regjeringen.no/no/dep/sd/org/tilknyttede-virksomheter/bane-nor-sf/id2525823/> Lastet ned: 21.01.2019.
- [58] Sikkerhetsstyringsforskriften, *Forskrift om sikkerhetsstyring for jernbanevirksomheter på det nasjonale jernbanenettet*, [Online] § 1-3d, 2011. Hentet fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2011-04-11-389>
- [59] NSB. 2018. *Over 65 millioner togreiser i 2017* [Online]. Hentet fra: <https://www.nsb.no/om-nsb/for-presse/pressemeldinger/over-65-millioner-togreiser-i-2017>. Lastet ned: 21.01.2019.
- [60] Statistisk sentralbyrå. 2018. *Jernbanetransport* [Online]. Hentet fra: <https://www.ssb.no/jernbane>.
- [61] Statens jernbanetilsyn. 2018. *Virksomheter med tillatelse* [Online]. Hentet fra: <https://www.sjt.no/jernbane/tillatelser/jernbanevirksomheter/>. Lastet ned: 22.01.2019.
- [62] Jernbanesikkerhetsdirektivet, *Europaparlaments- og rådsdirektiv 2004/49/EF 2007/EØS/31/32 av 29. April 2004 om sikkerhet på fellesskapets jernbaner og om endring av rådsdirektiv 95/18/EF om lisenser til jernbaneforetak og direktiv 2001/14/EF om fordeling av jernbaneinfrastrukturkapasitet, innkreving av avgifter for bruk av jernbaneinfrastruktur og sikkerhetssertifisering*, [Online] Artikkel 4, pkt 3, 2004. Hentet fra: <http://www.efta.int/media/documents/legal-texts/eea/other-legal-documents/translated-acts/norwegian/n32004L0049.pdf>
- [63] Jernbanesikkerhetsdirektivet, *Europaparlaments- og rådsdirektiv 2004/49/EF 2007/EØS/31/32 av 29. April 2004 om sikkerhet på fellesskapets jernbaner og om endring av rådsdirektiv 95/18/EF om lisenser til jernbaneforetak og direktiv 2001/14/EF om fordeling av jernbaneinfrastrukturkapasitet, innkreving av avgifter for bruk av jernbaneinfrastruktur og sikkerhetssertifisering*, [Online] Artikkel 16, pkt 2e, 2004. Hentet fra: <http://www.efta.int/media/documents/legal-texts/eea/other-legal-documents/translated-acts/norwegian/n32004L0049.pdf>
- [64] Statens jernbanetilsyn. 2018. *Hva er en jernbanepakke?* [Online]. Hentet fra: <https://www.sjt.no/jernbane/veiledning/sporsmal-og-svar/hva-er-en-jernbanepakke/>. Lastet ned: 23.01.2019.
- [65] S. Danielsen. 2014. *Hva er en TSI og hvilken rolle får disse fremover?* [Online]. Hentet fra: <http://www.standard.no/Global/PDF/Elektro->

- NEK/Lavspenning/NEK%20900%20seminar%202014/1000-1030%20Hva%20er%20en%20TSI%20og%20hvilk%20rolle%20får%20disse%20fremover%20-%20Danielsen.pdf Lastet ned: 24.01.2019.
- [66] Samtrafikkforskriften, *Forskrift om samtrafikkveien i jernbanesystemet, vedlegg ii. Delsystemer*, [Online], 2010. Hentet fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-06-16-820#KAPITTEL_10
- [67] Statens jernbanetilsyn. 2018. *Lover og forskrifter* [Online]. Hentet fra: <https://www.sjt.no/andre-valg/regelverk/>. Lastet ned: 24.01.2019.
- [68] Samferdselsdepartementet. 2015. *TSI - styring, kontroll og signal* [Online]. Hentet fra: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2015/jan/tsi---styring-kontroll-og-signal/id2434847/> Lastet ned: 28.01.2019.
- [69] Jernbaneverket, "Innspill til norsk gjennomføringsplan for TSI infrastruktur," 2015, [Dokument nr. TF.102834], https://www.sjt.no/globalassets/02_jernbane/pdf-jernbane/regelverk/innspill-til-norsk-gjennomforingsplan-for-tsi-infrastruktur.pdf, Lastet ned: 28.01.2019.
- [70] Bane NOR. 2015. *Endringslogg for overbygning/prosjektering 03.09.2015* [Online]. Hentet fra: https://trv.jbv.no/wiki/Endringslogg_Overbygning/Prosjektering#Endringslogg_for_Overbygning_2FProsjektering_03.09.2015. Lastet ned: 29.01.2019.
- [71] Bane NOR. 2015. *530 2015 endringsartikkel 1123* [2019]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/530_2015_Endringsartikkel_1123. Lastet ned: 29.01.2019.
- [72] Statens jernbanetilsyn, "Gjennomføringsplan TSI OPE," [Gjennomføringsplan i henhold til artikkel 3d nr. 2 i vedtak 2015/995/EU av 8. juni 2015 om endring av beslutning 2012/757/EU om den tekniske spesifikasjonen for samtrafikkveie som gjelder for delsystemet «Drift og trafikkstyring» i Den europeiske unions jernbanesystem], <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/rail-nip/nip-ope-tsi-norway-norsk.pdf>, Lastet ned: 29.01.2019.
- [73] Statens jernbanetilsyn. 2017. *Tredjeparts-verifisering* [Online]. Hentet fra: <https://www.sjt.no/jernbane/tillatelser/tredjepartsverifisering/>. Lastet ned: 04.02.2019.
- [74] H. Ryggvik, *Sporskiftet - jernbaneverket 1996-2016*. Oslo: Forlaget Press, 2016.
- [75] Christopher Schive (Bane NOR), "Samtale i Bane NORs lokaler," 13.05.2019.
- [76] Wikipedia. 2014. *The new ETCS limited supervision L1LS to be commissioned in switzerland by 2018* [Online]. Hentet fra: <http://www.railwaysignalling.eu/etcs-limited-supervision-swiss-201>. Lastet ned: 13.05.2019.
- [77] Bane NOR. 2018. *Signal/prosjektering/ETCS 5* [Online]. Hentet fra: <https://trv.banenor.no/wiki/Signal/Prosjektering/ETCS>. Lastet ned: 27.01.2019.
- [78] Bane NOR. 2017. *Førerens regelbok Bane NOR ERTMS på østfoldbanen østre linje* [Online]. Hentet fra: <https://www.banenor.no/contentassets/385466d7d1c84c43a5e6d0e783c6de9a/forerens-regelbok-bane-nor-ertms-pa-ostfoldbanens-ostre-linje.pdf>. Lastet ned: 21.01.2019.
- [79] European Union Agency for Railway. 2016. *Subset 026, kapittel 7.5 definitions of variables* [Online]. Hentet fra: https://www.era.europa.eu/filebrowser/download/272_en. Lastet ned: 25.02.2019.
- [80] Bane NOR. 2018. *Signal/prosjektering/ETCS nasjonale verdier 6* [Online]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Signal/Prosjektering/ETCS#Nasjonale_verdier. Lastet ned: 15.05.2019.
- [81] Bane NOR. 2019. *Signal/prosjektering/forriglingsutrustning/forriglingskrav/togvei* [Online]. Hentet fra: <https://trv.jbv.no/wiki/Signal/Prosjektering/Forriglingsutrustning#Togvei>. Lastet ned: 13.03.2019.
- [82] European Railway Agency. 2016. *Introduction to ETCS braking curves* [Online]. Hentet fra: <https://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ve>

- d=2ahUKEwiZ2MeSkf_gAhUr4qYKHUj2DIAQFjACegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.era.europa.eu%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Factivities%2Fdocs%2Fintroduction_to_etcs_braking_curves_en.doc&usg=AOvVaw2dRu0GfF_qqVP-dj2O09rE. Lastet ned: 14.02.2019.
- [83] European Union Agency for Railways. 2016. *Subset 026, kapittel 3* [Online]. Hentet fra: https://www.era.europa.eu/filebrowser/download/272_en. Lastet ned: 15.05.2019.
- [84] European Union Agency for Railway. 2016. *Subset 026, kapittel 3, appendix 3.1* [Online]. Hentet fra: https://www.era.europa.eu/filebrowser/download/272_en. Lastet ned: 25.02.2019.
- [85] O. Dalland, *Metode og oppgaveskriving*, 5.d utg. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag, 2013.
- [86] De nasjonale forskningsetiske komiteene. 2015. *Kvantitativ metode* [Online]. Hentet fra: <https://www.etikkom.no/FBIB/Introduksjon/Metoder-og-tilnarminger/Kvantitativ-metode/>. Lastet ned: 07.03.2019.
- [87] Store norske leksikon. 2018. *Case-studie* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/case-studie>. Lastet ned: 07.05.2019.
- [88] K. Sander. 2017. *Casestudie* [Online]. Hentet fra: <https://estudie.no/casestudie/>. Lastet ned: 07.05.2019.
- [89] Bane NOR. 2017. *Nasjonal signalplan 2017* [Online]. Hentet fra: <https://www.banenor.no/globalassets/kundeportal/dokumenter/trafikkpakker/generell-informasjon/nasjonal-signalplan-ertms-17.04.18.pdf>. Lastet ned: 04.03.2018.
- [90] Bane NOR. 2019. *Kurver i horisontalplanet* [Online]. Hentet fra: https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Sporets_trasé/Sporgeometri#Kurver_i_horisontalplanet. Lastet ned: 04.03.2019.
- [91] Bane NOR. 2019. *FATC, generelt* [Online]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Signal/Prosjektering/ATC#Generelt_2. Lastet ned: 04.04.2019.
- [92] Bane NOR. 2018. *Overbygningsklasse, aksellast og maks hastighet* [Online]. Hentet fra: <http://networkstatement.jbv.no/doku.php?id=vedlegg:aksellast>. Lastet ned: 18.03.2019.
- [93] Norske tog. *Personvogner* [Online]. Hentet fra: <https://www.norsketog.no/tog/personvogner>. Lastet ned: 10.05.2019.
- [94] Bane NOR. 2019. *Mekanisk utforming av kontaktledningsanlegg* [Online]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Kontaktledning/Prosjektering_og_Bygging/Mekanisk_utforming#Mekaniske_utforminger. Lastet ned: 18.03.2019.
- [95] Statens havarikommisjon for transport (SHT), "Rapport om togavsporing ved nykirke stasjon, vestfoldbanen, 15. Februar 2012, tog12926," 2013, <https://www.aibn.no/Jernbane/Avgitte-rapporter/2013-02?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>, Lastet ned: 27.03.2019.
- [96] Teknisk regelverk, *Signal 68 a «nedsatt kjørehastighet»*, [Online], 2018. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Skilt/Plassering_av_skilt_langs_sporet/Skiltoversikt#Signal_68_A_C2.ABNedsatt_kj.C3.B8rehastighet.C2.BB
- [97] Svein Salthaug (sivilingeniør og lokomotivfører), "Samtale i Bane NORs lokaler," 07.02.2019.
- [98] Hallgeir Olsen (Norsk Jernbaneskole), "Samtale i norsk jernbaneskoles lokaler," 02.04.2019.
- [99] Terje Ertsås (lokomotivfører på ERTMS-teststrekningen Østfoldbanen østre linje), "Informasjon fra telefonsamtaler," 10.05.2019.
- [100] The Railway Technical Website. 2019. *Brakes* [Online]. Hentet fra: <http://www.railway-technical.com/trains/rolling-stock-index-l/train-equipment/brakes/>. Lastet ned: 20.01.2019.

Vedlegg

Vedlegg A	Inngangsparametere brukt i regnearket	A
Vedlegg B	Veltefare ved hastighetsnedsettelse	B
Vedlegg C	Tidsdifferanser mellom ulike bremsekurver	C
Vedlegg D	Slik virker togets bremser	D
Vedlegg E	Forskjellige plasseringer av SvL	E
Vedlegg F	Bremsetabeller	F
Vedlegg G	Korrigeringer gjort i beregninger fra «Maksfart»	G
Vedlegg H	Posisjon for bremsekurvers start og slutt	H
Vedlegg I	Hastighetsprofil med bremsekurver	I

Vedlegg A - Inngangsparametere brukt i regnearket

Med hjelp fra eksperter på ERTMS i flere europeiske land er inngangsparametere så riktige som det har vært mulig å få dem på nåværende tidspunkt.

De gule feltene i regnearket er felte som kan endres.

Togdata

På denne siden endres ingen data ved beregning av de forskjellige kurvene. Ved utregning av bremsekurver vil siden *Nasjonale verdier* gi mulighet for å tillate driftsbremse, og da vil *Service brake interface* bli aktiv på denne siden. Den må da stå på *yes*.

Train type	<input type="radio"/> Gamma train <input checked="" type="radio"/> Lambda train	
Brake position	<input checked="" type="radio"/> Passenger train in P <input type="radio"/> Freight train in P <input type="radio"/> Freight train in G	
Traction model: T_traction_cut_off (seconds)	2	
Service brake interface ?	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Yes	
Traction cut off interface ?	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Yes	
Special/additional brake independent from wheel/track adhesion?	<input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/> Yes	
Speed inaccuracy (%)		<input type="radio"/> Fixed (Enter) <input checked="" type="radio"/> Subset-041
Position inaccuracy (m + %)	5	<input type="radio"/> Abs. value <input type="radio"/> + <input checked="" type="radio"/> Rel. value
	5	
Train length (m)	251	<input type="radio"/> Fixed (Enter) <input checked="" type="radio"/> Unknown
Distance antenna - train front (m)	7,81	
Acceleration (m/s ²)	0	

Nasjonale verdier

Her endres *Permission to use guidance curve* for å få bremsekurver med og uten driftsbremser.

Permission to use guidance curve er egentlig foreslått tillatt i Norge. Dette er en kurve som vil gjøre kurven for permitted speed enda slakere, og den bruker verdier fra siden *Brake parameters*. Det foreligger imidlertid ingen informasjon om hva disse verdiene skal være, og det er heller ikke spesielt ønskelig med en slakere permitted-kurve, så *guidance curve* er utelatt fra utregningene.

Permission to use service brake in target speed monitoring	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No		Q_NVSBTSMPerm	Yes
Permission to use the guidance curve	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No		Q_NVGUIPERM	No
Permission to inhibit the compensation of the speed measurement inaccuracy	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No		Q_NVINHSMICPERM	No
Maximum deceleration value under reduced adhesion conditions(1)	0,65	m/s ²	A_NVMAXREDADH1	1
Maximum deceleration value under reduced adhesion conditions(2)	0,65	m/s ²	A_NVMAXREDADH2	0,7
Maximum deceleration value under reduced adhesion conditions(3)	0,4	m/s ²	A_NVMAXREDADH3	0,7
Weighting factor for available wheel/rail adhesion	0		M_NVAVADH	0
Confidence level for emergency brake safe deceleration on dry rails	99,9900000	%	M_NVEBCL	99,9999999
Train length step used for the correction factor Kr_int	See sheet "Integrated correction factors"		L_NVKRINT	N/A
Train length dependent correction factor Kr_int	See sheet "Integrated correction factors"		M_NVKRINT	0,9
Speed step used for the correction factor Kv_int	See sheet "Integrated correction factors"		V_NVKVINT	N/A
Speed dependent correction factor Kv_int	See sheet "Integrated correction factors"		M_NVKVINT	0,7
Correction factor to brake build up time	See sheet "Integrated correction factors"		M_NVKTINT	1,1
Lower deceleration limit to determine the set of Kv to be used	See sheet "Integrated correction factors"		A_NVP12	N/A
Upper deceleration limit to determine the set of Kv to be used	See sheet "Integrated correction factors"		A_NVP23	N/A

Faste verdier fra Subset 26

dV_ebi_min	7,5	km/h
dV_ebi_max	15	km/h
V_ebi_min	110	km/h
V_ebi_max	210	km/h
dV_sbi_min	5,5	km/h
dV_sbi_max	10	km/h
V_sbi_min	110	km/h
V_sbi_max	210	km/h
dV_warning_min	4	km/h
dV_warning_max	5	km/h
V_warning_min	110	km/h
V_warning_max	140	km/h
T_warning	2	s
T_driver	4	s
T_41	1	s
M_rotating_max	15	%
M_rotating_min	2	%
g	9,81	m/s ²

Korreksjonsfaktorer for stigning og fall

Correction factors for gradient on normal service deceleration			
Correction factor for positive gradients		Correction factor for negative gradients	
Speed V (km/h)	$K_{n+}(V) (m/s^2)$	Speed V (km/h)	$K_{n-}(V) (m/s^2)$
0		0	
25,00		25,00	
25,00		25,00	
55,00		55,00	
55,00		55,00	
100,00		100,00	
100,00		100,00	
115,00		115,00	
115,00		115,00	
200,00		200,00	

Vedlegg B – Veltefare ved hastighetsnedsettelse

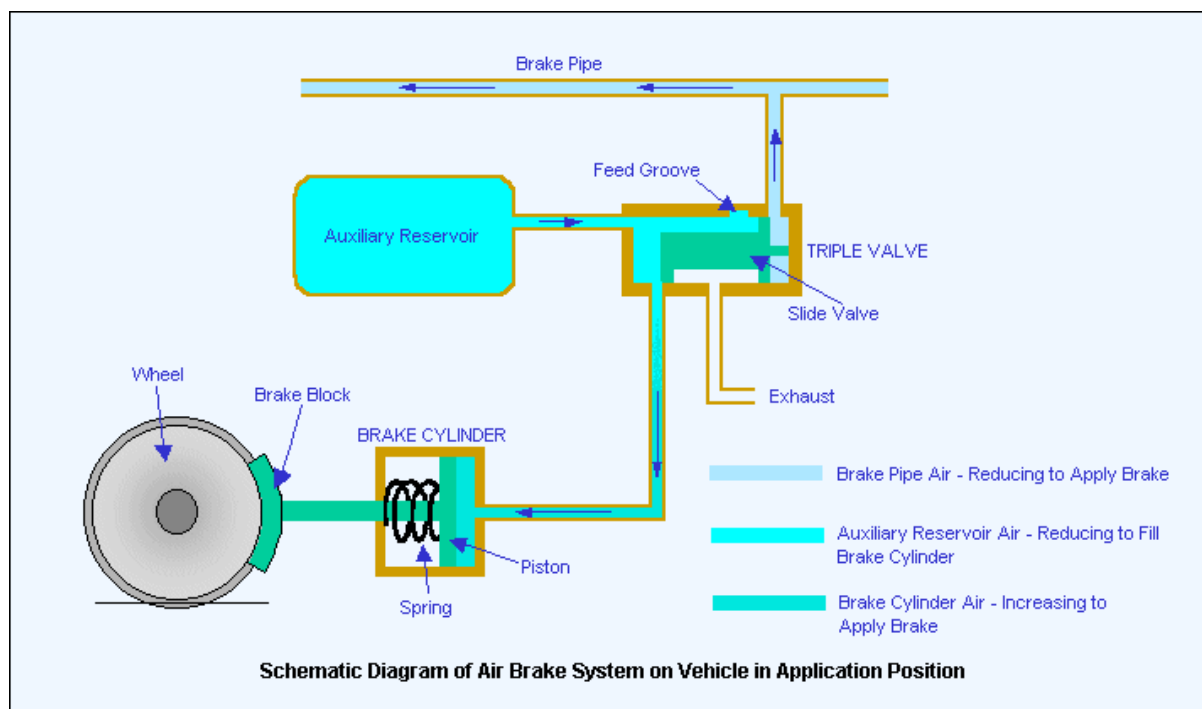
Tabellen viser resultat etter beregning av veltefare ved alle hastighetsnedsettelse på strekningen Hønefoss-Ål.

Kilometrering, dim. sirkelkurve	Skiltet hastighet		Høyest mulig hastighet før nødbrems	Veltefastighet	Prosent av veltefastighet
	Før	Etter			
93,1330	110	85	117,5	139,1	84,46 %
94,3480	85	75	92,5	137,3	67,36 %
100,6210	125	105	133,6	175,6	76,08 %
106,7273	110	75	117,5	127,3	92,33 %
108,8800	115	105	122,9	174,5	70,43 %
112,2520	130	95	139,0	161,4	86,11 %
114,1710	100	85	107,5	141,0	76,24 %
114,8070	85	75	92,5	127,0	72,84 %
120,7400	125	90	133,6	201,3	66,39 %
125,1000	130	70	139,0	127,7	108,88 % *
127,6800	100	85	107,5	148,1	72,59 %
128,6590	85	70	92,5	127,5	72,57 %
130,2550	85	70	92,5	223,9	41,32 %
134,9920	110	75	117,5	150,7	77,98 %
138,3020	105	70	112,5	149,4	75,30 %
139,9020	95	70	102,5	210,3	48,74 %
143,4750	120	85	128,3	140,5	91,26 %
146,3750	95	75	102,5	128,5	79,75 %
153,6150	110	95	117,5	161,2	72,88 %
156,7300	95	75	102,5	140,8	72,82 %
161,5350	90	75	97,5	126,9	76,85 %
163,5770	100	85	107,5	149,6	71,85 %
164,6500	85	75	92,5	135,8	68,13 %
170,5800	90	75	97,5	128,3	76,00 %
172,6500	85	75	92,5	135,8	68,13 %
177,8430	105	80	112,5	142,4	79,02 %
186,4300	130	100	139,0	321,3	43,26 %
191,2700	115	90	122,9	162,3	75,72 %
194,0250	130	80	139,0	173,5	80,14 % **
199,7050	130	125	139,0	220,4	63,06 %
203,3900	125	110	133,6	196,2	68,12 %
203,9500	110	75	117,5	127,8	91,93 %
208,2350	120	90	128,3	151,6	84,58 %
213,5600	110	80	117,5	143,8	81,73 %
215,3200	80	75	87,5	137,9	63,47 %
216,1200	100	70	107,5	251,7	42,72 %
223,7000	130	110	139,0	184,5	75,35 %
224,6560	110	80	117,5	166,0	70,80 %

* Hastighetsnedsettelse endret etter påpekning til nedtrapping i to trinn med 90 km/t som mellomliggende hastighet. 76,4 % av veltefastighet etter utbedring.

** Hastighetsnedsettelse endret etter påpekning til nedtrapping i to trinn med 110 km/t som mellomliggende hastighet. 67,7 % av veltefastighet etter utbedring.

Vedlegg D – Slik virker togets bremses



Bremsene tilsettes og løses ved å justere hovedledningstrykket. Figuren viser at hovedledningstrykket senkes, og at bremsene tilsettes [100].

Vedlegg E - Forskjellige plasseringer av SvL

ERTMS
National Implementation

Function Study
Overlap

Page: 17 of 34
Doc. No: ERP-30-S-00019
Rev: 02E
Date: 27.08.2015

Because of the shifted braking curve beyond the EOA the train can approach the EOA faster. This leads to operational benefits in such cases where it is possible to implement an overlap distance exceeding the distance to danger point. This also depends on that the infrastructure layout cannot be generalised.

For a FLIRT train (assumptions are 105m train length and 160 brake percentage) the resulting braking curves for the alternatives SvL at the end of overlap (50m, 95m) and SvL at the signal (0m) are shown in the following picture.

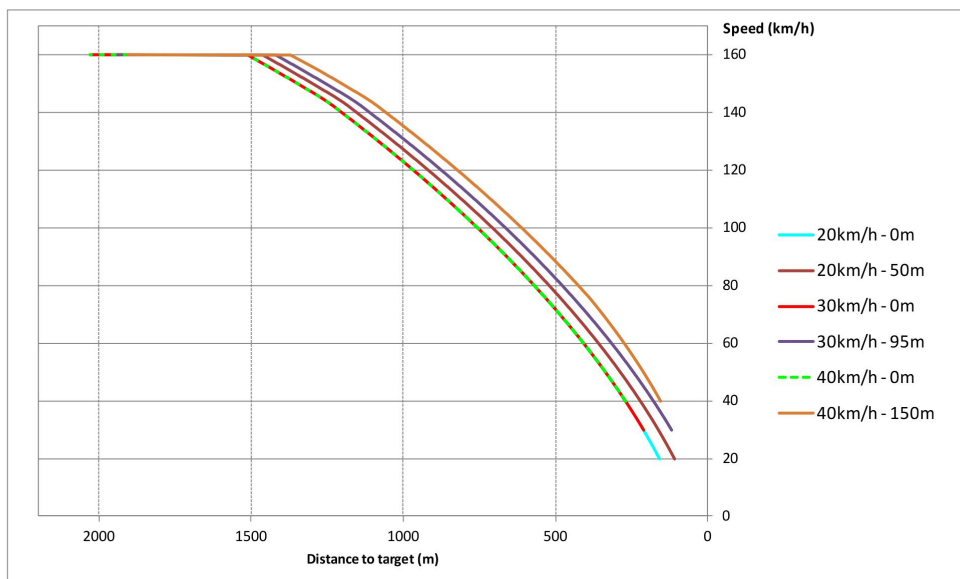


Figure 4: braking curves (train length 105m, 160Br%)

The driving times that are needed from 1800m before the SMB at the end of the route and the SMB have been calculated for the following driving behaviour:

- 1) Train driver follows the curves exactly from 1800m until the supervision switches to Release Speed Supervision.
- 2) Train driver drives with 90% release speed when approaching the signal.
- 3) Train driver brakes with 0.8 ms^{-2} and train reaches standstill exactly at the signal location.

The results of the calculation are shown in the following table:

Table 5: Driving times with SvL at the signal or SvL at the SMB

Release Speed	Overlap (interlocking)	SvL at the signal	SvL at the end of OL
20 km/h	50 m	101 s	93 s
30 km/h	95 m	92 s	82 s
40 km/h	150 m	86 s	78 s

To place the SvL at the end of the overlap will save between 8 and 10 seconds driving time and the overlap could be released this amount of time earlier.

7.1.3 Recommendation

Taking into account the possibility that trains could come to standstill when the rear end still occupies the track section in rear of the point, the most favourable solution seems to be:

A fixed release speed with a D_DP to the end of the interlocking overlap shall be implemented. If the train reports standstill and the track section in rear of the end section is free, the overlap shall be released, the release speed shall be set to 0 km/h and the new SvL shall be the approached SMB.

Suppliers should in the tender be instructed to describe benefits and disadvantages related to axle counter configuration as described in chapter 7.1.1.

All parameters and design choices that influence braking curves must be analysed to prove the safety of the system. Initial analysis should be performed in the project, and later be further detailed in cooperation with the chosen supplier.

Vedlegg F - Bremsetabeller

Bremsetabell I (Bremsegruppe P og R)

Bestem- mende fall i o/oo	Kjørehastighet i km/h																							
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130
0¹⁾	Bremseprosent																							
1	5	5	6	7	7	8	10	13	16	20	24	29	35	42	50	59	69	79	89	98	109	120	134	151
2	5	5	6	7	8	9	10	15	19	23	28	32	39	46	54	63	72	82	92	102	113	124	137	154
3	5	5	6	7	8	9	11	16	20	24	30	34	41	48	56	65	74	84	94	104	115	126	139	156
4	5	6	7	8	9	10	12	17	21	26	32	36	43	50	58	67	76	86	96	106	117	128	141	157
5	5	6	7	8	9	11	14	18	23	27	34	38	45	52	60	69	78	87	97	108	119	130	142	159
6	6	7	8	9	10	12	15	19	24	29	36	40	47	54	61	71	80	89	99	110	121	132	144	
7	6	7	9	10	11	13	16	20	25	30	37	42	49	56	63	72	82	91	101	112	123	134	145	
8	6	8	10	11	13	15	18	22	26	32	38	43	50	57	63	73	83	92	103	113	124	136	149	
9	7	9	11	13	14	17	19	23	28	33	39	44	51	58	64	74	84	94	104	115	125	138	151	
10	7	9	11	13	15	18	20	24	29	34	40	45	52	59	65	75	85	95	105	116	126	140		
11	8	10	12	14	16	19	22	26	31	36	41	46	53	60	66	76	86	96	107	117	128	142		
12	8	12	13	15	17	20	23	27	32	37	42	47	54	61	68	77	87	98	108	119	130	144		
13	8	12	14	16	18	21	25	29	33	38	43	48	55	62	69	78	88	99	109	120	132	146		
14	9	13	15	17	19	22	26	30	34	39	44	49	56	63	70	79	89	100	110	122	134	148		
15	9	14	16	18	20	23	27	31	35	40	45	50	58	64	72	81	90	101	112	124	136	150		
16	10	15	17	20	22	25	29	33	37	42	47	52	60	66	74	83	92	102	114	126				
17	10	16	18	21	23	26	30	34	38	44	48	54	62	68	76	85	94	104	116	128				
18	11	17	19	22	24	28	31	36	40	46	50	56	64	70	78	87	96	106	118	130				
19	12	18	20	23	26	29	32	37	42	48	52	58	66	72	80	89	98	108	120	132				
20	13	19	22	24	27	30	34	38	44	49	54	60	68	75	82	91	100	110	122	135				
21	14	20	23	25	28	32	35	40	46	51	56	62	70	76	84	93	102	113	124					
22	15	21	24	26	29	33	36	41	47	52	57	64	71	78	86	95	104	114	126					
23	17	22	25	27	30	34	38	43	48	53	59	65	72	79	88	97	106	116	129					
24	18	23	26	28	31	35	39	44	49	55	60	66	73	80	90	98	108	118	133					
25	19	24	27	29	32	36	40	45	50	56	62	68	74	82	91	100	110	120						
30	26	29	31	34	38	42	46	50	56	61	69	76	83	91	100	109								
35	31	35	39	43	48	53	60	69	70	79														
40	38	42	45	49	54	60	69	78																
45	44	47	51	56	61	68	77																	
50	55	58	63	67	72	78																		
55	64	67	70	77																				
60	77	82																						

¹⁾ Bremseprosenten for 0¹⁾ gjelder også for kjøring i stigning.

Bremsetabell III (Bremsegruppe P og R)

Bestem- mende	Kjørehastighet i km/h																													
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	
	Bremseprosent																													
0)*	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	24	28	33	38	43	49	55	61	68	75	83	91	99	108	117	127	137	147	
1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	22	22	26	30	35	39	45	51	57	63	70	77	84	92	101	110	119	129	139	149
2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	23	24	28	32	36	41	47	53	59	65	72	79	86	94	103	112	121	131	141	151
3	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	24	25	29	33	38	43	48	54	60	66	73	80	88	96	104	113	122	132	142	153
4	20	20	20	20	20	20	20	20	20	22	26	27	31	35	39	44	50	56	62	68	75	82	89	97	106	115	124	134	144	154
5	20	20	20	20	20	20	20	20	23	27	29	31	35	39	44	50	56	62	68	75	82	89	97	106	115	124	134	144	154	
6	20	20	20	20	20	20	20	20	24	28	30	31	35	39	44	50	56	62	68	75	82	89	97	106	115	124	134	144	154	
7	20	20	20	20	20	20	20	22	26	30	32	37	41	46	52	57	63	70	76	83	91	98	106	114	122	131	140	150	159	
8	20	20	20	20	20	20	20	23	27	31	34	38	43	48	53	59	65	71	78	85	92	100	108	116	124	133	142	151	161	
10	20	20	20	20	20	20	22	25	29	33	37	42	46	52	57	63	69	75	81	88	96	103	111	119	128	136	145	155	165	
12	20	20	20	20	20	23	26	29	33	36	41	45	50	55	60	66	72	78	85	92	99	107	114	123	131	140	149	158	168	
14	20	20	20	20	21	24	27	30	34	39	44	49	53	58	64	69	75	82	88	95	102	110	118	126	134	143	152	162	171	
16	20	21	23	25	27	30	33	36	39	43	47	52	57	62	67	73	79	85	92	99	106	113	121	129	138	147	156	165	175	
18	23	25	26	28	31	33	36	39	43	47	51	55	60	65	71	76	82	89	95	102	109	117	125	133	141	150	159	168	178	
20	27	28	30	32	34	37	40	43	46	50	54	59	64	69	74	80	86	92	99	105	113	120	128	136	145	153	163	172	182	
22	30	31	33	35	37	40	43	46	50	54	58	62	67	72	77	83	89	95	102	109	116	124	132	140	148	157	166	175	185	
25	35	37	38	40	43	45	48	51	55	59	63	67	72	77	83	88	94	100	107	114	121	129	137	145	153	162	171	180	190	
30	44	45	47	49	51	54	57	60	63	67	71	76	81	86	91	97	103	109	116	123	130	137	145	153	162	171	180	189	199	

*)Bremseprosenten for 0 o/oo gjelder også for kjøring i stigning

Vedlegg G - Korrigeringer gjort i beregninger fra «Maksfart»

Km	
93,6400	Overgangskurve beregnet på nytt med R=1190 pga feil i FKP ved km 93,8050. Ingen endring i hastighet.
93,8050	FKP med ulike radier (1219 m og 1190 m). Minste radius er benyttet til ny utregning. Hastighet endret.
97,4000	FKP med ulike radier (244 m og 248 m). Minste radius er benyttet til ny utregning. Hastighet endret.
97,5050	Overgangskurve beregnet på nytt med R=244 pga feil i FKP ved km 97,5050. Ingen endring i hastighet.
98,9420	Overgangskurve med lengde 68 m, i følge løfteskjema 207 m. Minste lengde benyttet, ny utregning.
99,0100	Radius endres i løpet av sirkelkurve (-806 og -821), minste radius benyttet i ny utregning
99,2167	Overgangskurve beregnet på nytt med R=-806 pga feil i sirkelkurve ved km 99,0100.
99,7651	Radius endres i løpet av sirkelkurve (-1323 og -1428), minste radius benyttet i ny utregning
101,4690	Overgangskurve med lengde 23,5 m, i følge løfteskjema 349 m. Minste lengde benyttet, ny utregning.
101,4925	Radius endres i løpet av sirkelkurve (1786 og 1785), minste radius benyttet i ny utregning
102,0732	Radius endres i løpet av sirkelkurve (483 og 500), minste radius benyttet i ny utregning
102,1970	Overgangskurve beregnet på nytt med R=483 pga feil i sirkelkurve ved km 102,0732.
103,1760	Rampen ender etter sirkelkurvens start. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (54 m mot 28 m overgangskurvelengde)
105,1460	Overgangskurve med lengde 66 m, i følge løfteskjema 128 m. Minste lengde benyttet, ny utregning. R er også endret i tråd med endring 105,2120.
105,2120	Radius endres i løpet av sirkelkurve (-590 og -600), minste radius benyttet i ny utregning
106,7273	Radius endres i løpet av sirkelkurve (250 og 246), minste radius benyttet i ny utregning
108,8130	Overgangskurve beregnet på nytt med R=481 pga feil i FKP ved km 109,0050.
109,0050	FKP med ulike radier (-500 m og -481 m). Minste radius er benyttet til ny utregning. Hastighet endret.
112,6500	Overgangskurve uten endring av radius. Rampestigningshastighet beregnet, og ut fra denne hastigheten er rykkverdier kontrollert at innenfor krav.
113,7470	Rampen ender etter sirkelkurvens start. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (53 m mot 48 m overgangskurvelengde)
114,0600	Rampen starter før sirkelkurvens slutt. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (55 m mot 35 m overgangskurvelengde)
116,2880	Radius endres i løpet av sirkelkurve (-248 og -250), minste radius benyttet i ny utregning

120,0600	Overgangskurve beregnet på nytt med $R=-2381$ pga feil i FKP ved km 120,0600.
120,0940	FKP med ulike radier (-3125 m og -2381 m). Minste radius er benyttet til ny utregning. Hastighet endret.
120,3400	Radius øker, samtidig som overhøyde øker (motsatt vanlig). Regnet som en vanlig overgangskurve, og med endring fra $R=0$ til $R=-2381$. Dette er et konservativt valg
121,0320	Kurve med 2 FKP. De 3 sirkelkurvene har ulik radie (379 m, 382 m og 388 m). Minste radius er satt for hele kurvekombinasjonen.
121,5770	Overgangskurve beregnet på nytt med $R=379$ pga feil i FKP ved km 121,0320.
121,6400	FKP med ulike radier (1613 m og 1515 m). Minste radius er benyttet til ny utregning. Hastighet endret.
128,8900	FKP med ulike radier (-1096 m og -1263 m). Minste radius er benyttet til ny utregning. Hastighet endret.
129,1000	Overgangskurve beregnet på nytt med $R=-1096$ pga feil i FKP ved km 128,8900.
130,0140	Overgangskurve med lengde 96 m, i følge løfteskjema 100 m. Minste lengde benyttet, ny utregning.
131,5850	FKP med ulike radier (-2941 m og -2270 m). Minste radius er benyttet til ny utregning. Hastighet endret.
131,7190	Overgangskurve hvor radius og overhøyde er konstant. Elementet er fjernet.
131,8290	En OB med to OE, hvor kun en av de endrer overhøyde og radius. Overgangskurven med endringer i h og R er beregnet.
131,8600	FKP med ulike radier (-4166 m og -4500 m). Minste radius er benyttet til ny utregning. Hastighet endret.
135,7850	Rampen starter før sirkelkurvens slutt. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (56 m mot 48 m overgangskurvelengde)
135,8410	Rampen ender etter sirkelkurvens start. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (54 m mot 41 m overgangskurvelengde)
136,1950	Rampen starter før sirkelkurvens slutt. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (54 m mot 39 m overgangskurvelengde)
136,2490	Rampen ender etter sirkelkurvens start. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (51 m mot 38 m overgangskurvelengde)
136,4350	Rampen starter før sirkelkurvens slutt. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (52 m mot 45 m overgangskurvelengde)
136,4870	Rampen ender etter sirkelkurvens start. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (53 m mot 45 m overgangskurvelengde)
143,3700	Rampen starter før sirkelkurvens slutt. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (48 m mot 29 m overgangskurvelengde)

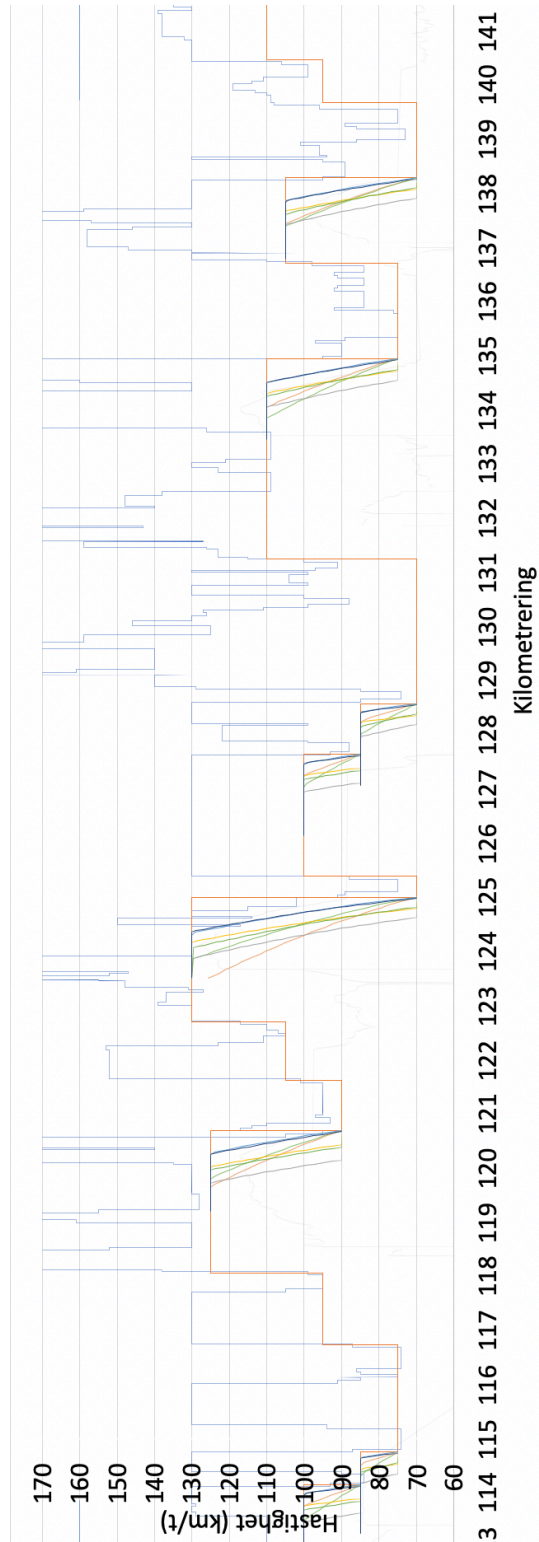
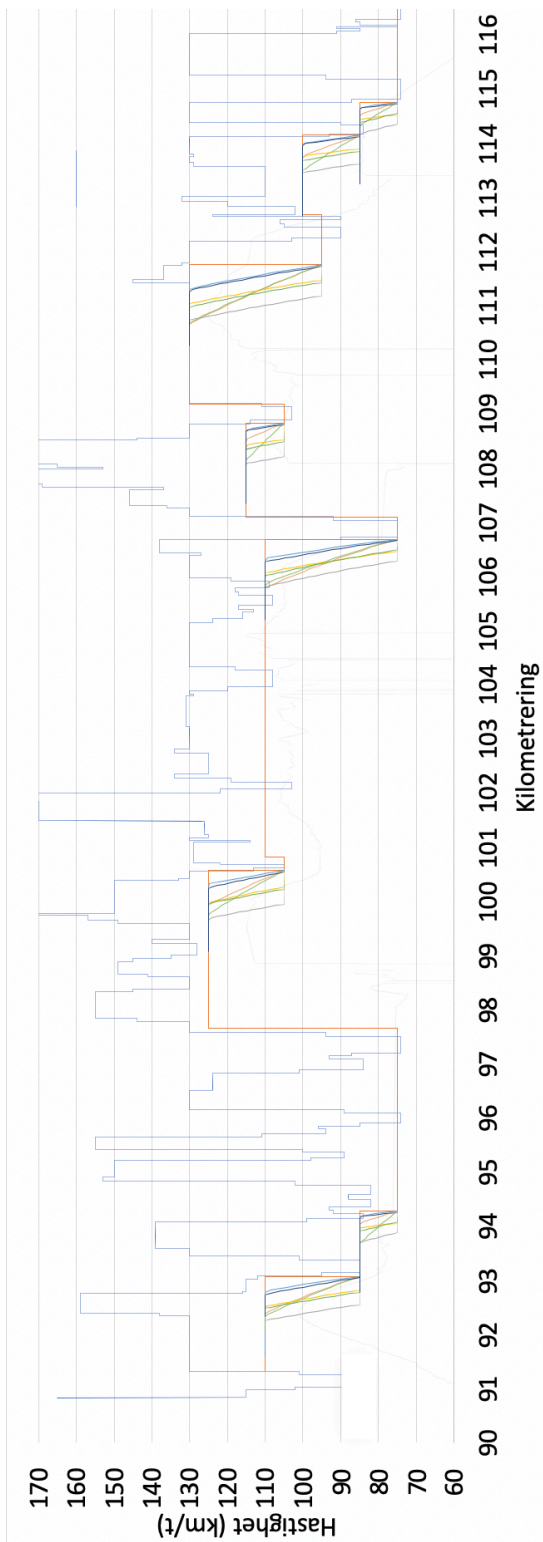
156,6720	Rampen ender etter sirkelkurvens start. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (58 m mot 44 m overgangskurvelengde)
157,0300	Rampen starter før sirkelkurvens slutt. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (57 m mot 44 m overgangskurvelengde)
157,0870	Rampen ender etter sirkelkurvens start. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (63 m mot 43 m overgangskurvelengde)
157,3000	Rampen starter før sirkelkurvens slutt. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (59 m mot 53 m overgangskurvelengde)
161,0220	FKP med ulike radier (1219 m og 1064 m). Minste radius er benyttet til ny utregning. Hastighet endret.
162,4790	Rampen ender etter sirkelkurvens start. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (51 m mot 34 m overgangskurvelengde)
162,8080	Rampen starter før sirkelkurvens slutt. Benyttet lengde på overgangskurve tilsvarende rampens lengde (50 m mot 34 m overgangskurvelengde)
169,7500	FKP med ulike radier (-5000 m og -6350 m). Minste radius er benyttet til ny utregning. Hastighet endret.
196,1400	Overgangskurve med lengde 53 m, i følge løfteskjema 45 m. Minste lengde benyttet, ny utregning.
202,4510	FKP med ulike radier (-2270 m og -2500 m). Minste radius er benyttet til ny utregning. Hastighet endret.
202,9720	Overgangskurve beregnet på nytt med $R=-2270$ pga feil i FKP ved km 202,4510.
212,8620	OB uten tilhørende OE slettet. OB har $R=h=L=0$
213,0462	Overgangskurve beregnet på nytt med $R=-1316$ pga feil i FKPer ved km 213,1162.
213,1162	Kurve med 2 FKP. De 3 sirkelkurvene har ulik radie (-1493 m, -1316 m og -1560 m). Minste radius er satt for hele kurvekombinasjonen.
213,4188	Overgangskurve med lengde 66,2 m, i følge løfteskjema 0 m. Minste lengde benyttet, ny utregning.

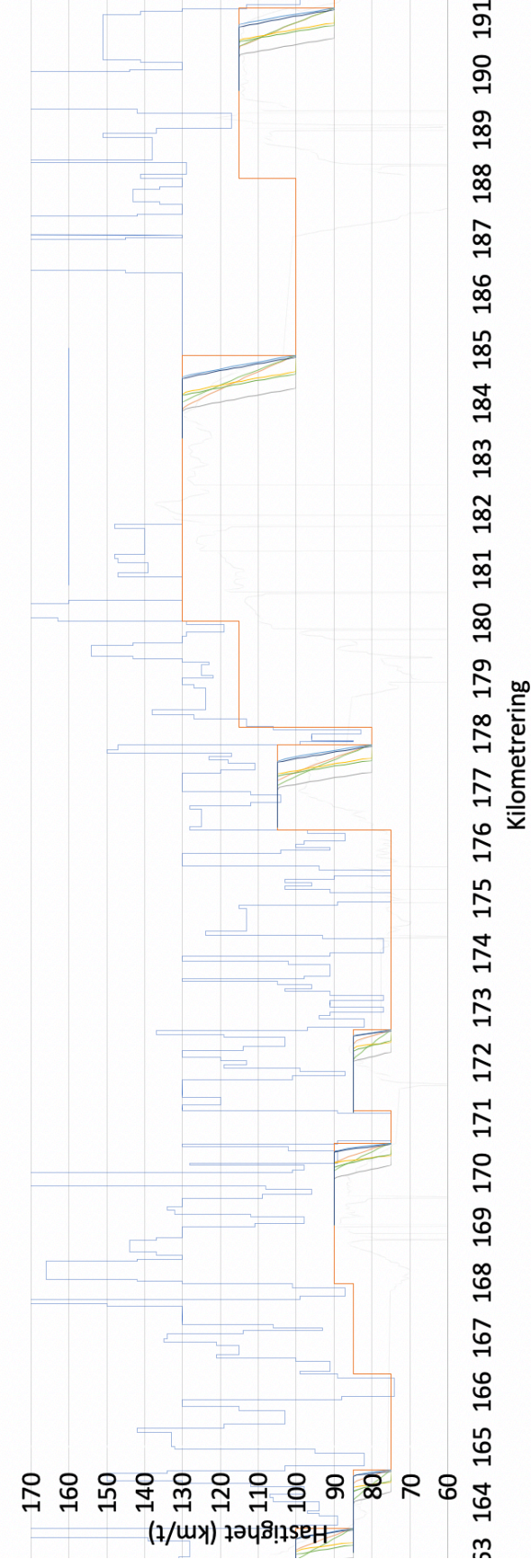
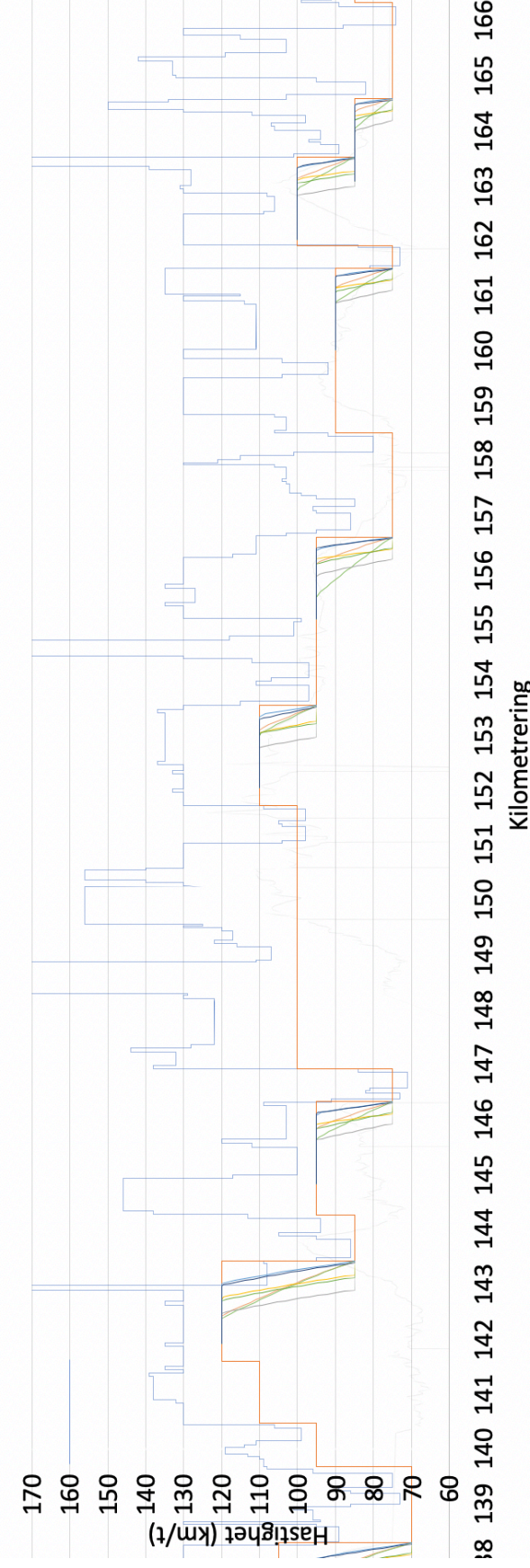
Vedlegg H – Posisjon for bremsekurvers start og slutt

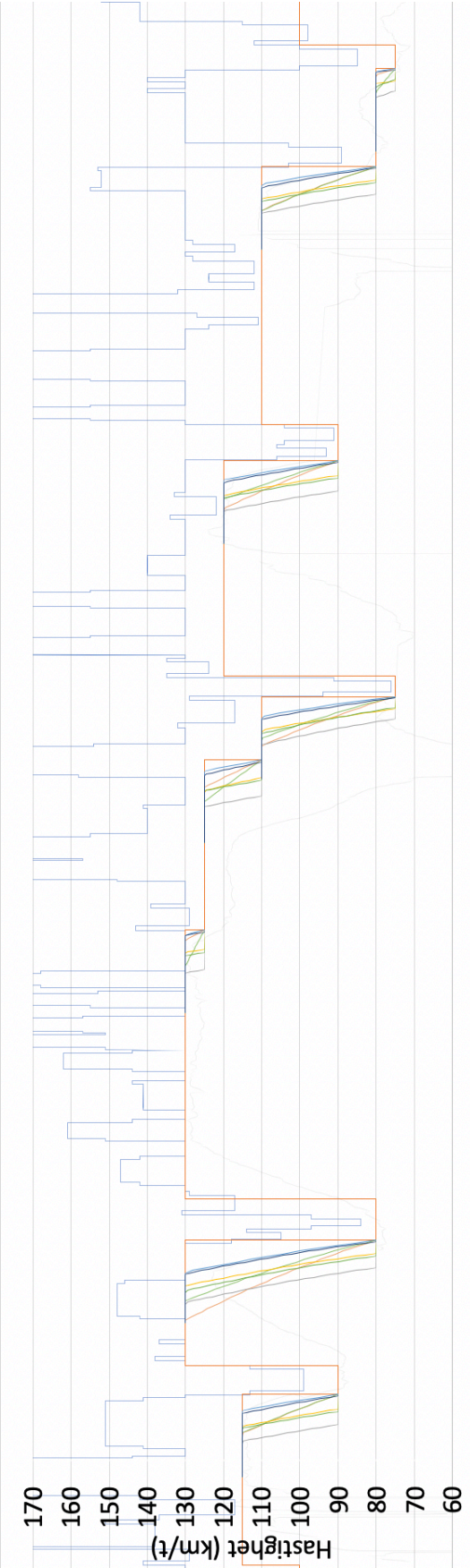
Posisjon markering- merke (km)	Hastighet (km/t)		Uten flytting av målpunkt						Med flytting av målpunkt					
	Før	Etter	Med driftsbrems			Uten driftsbrems			Med driftsbrems			Uten driftsbrems		
			Avstand fra markeringsmerket (m)	Retardasjon (m/s ²)	Retardasjon markeringsmerket (m)	Avstand fra markeringsmerket (m)	Retardasjon (m/s ²)	Retardasjon markeringsmerket (m)	Avstand fra markeringsmerket (m)	Retardasjon (m/s ²)	Retardasjon markeringsmerket (m)	Avstand fra markeringsmerket (m)	Retardasjon (m/s ²)	Retardasjon markeringsmerket (m)
93,071	85	110	819,2	522,7	0,63	561,0	251,5	0,61	592,9	296,3	0,63	334,7	25,147	0,61
94,275	75	85	578,3	401,4	0,35	307,3	225,1	0,75	375,7	198,8	0,35	104,7	22,505	0,75
100,567	125	105	885,9	622,5	0,67	592,5	304,3	0,62	612,0	348,6	0,67	318,6	30,434	0,62
106,685	110	75	878,6	401,3	0,52	620,3	225,0	0,63	676,0	198,8	0,52	417,8	22,502	0,63
108,830	115	105	749,2	622,5	0,67	407,8	304,3	0,82	475,3	348,6	0,67	133,9	30,433	0,82
111,750	130	95	1021,1	572,6	0,68	715,9	277,9	0,69	771,0	322,5	0,68	465,8	27,792	0,69
114,145	100	85	690,1	522,7	0,64	383,9	251,5	0,81	463,7	296,4	0,64	157,6	25,153	0,81
114,750	85	75	578,0	401,4	0,35	307,0	225,1	0,75	375,4	198,8	0,35	104,4	22,506	0,75
120,693	125	90	966,7	547,7	0,69	673,2	264,8	0,71	728,4	309,4	0,69	435,0	26,476	0,71
125,001	130	70	1132,0	376,5	0,61	826,8	211,9	0,75	941,3	185,8	0,61	636,1	21,19	0,75
127,639	100	85	692,9	522,7	0,63	386,8	251,5	0,79	466,6	296,4	0,63	160,4	25,15	0,79
128,570	85	70	610,1	376,3	0,38	339,2	211,7	0,70	419,6	185,7	0,38	148,6	21,174	0,70
134,946	110	75	895,4	401,3	0,51	637,2	225,0	0,61	693,0	198,8	0,51	434,7	22,496	0,61
138,287	105	70	861,6	376,3	0,49	615,1	211,7	0,59	671,0	185,7	0,49	424,5	21,173	0,59
143,415	120	85	940,0	522,7	0,66	658,3	251,5	0,68	713,6	296,4	0,66	431,9	25,15	0,68
146,320	95	75	699,5	401,3	0,44	405,0	225,0	0,73	497,0	198,8	0,44	202,5	22,497	0,73
153,530	110	95	754,4	572,6	0,65	496,1	277,9	0,54	504,2	322,5	0,65	246,0	27,792	0,54
156,600	95	75	690,0	401,3	0,45	395,6	225,0	0,77	487,5	198,8	0,45	193,0	22,504	0,77
161,498	90	75	636,1	401,3	0,41	353,4	225,0	0,74	433,6	198,8	0,41	150,9	22,501	0,74
163,513	100	85	695,9	522,7	0,62	389,7	251,5	0,77	469,6	296,3	0,62	163,4	25,146	0,77
164,580	85	75	580,5	401,3	0,34	309,8	225,0	0,73	378,0	198,8	0,34	107,3	22,496	0,73
170,532	90	75	635,0	401,3	0,41	352,3	225,0	0,75	432,5	198,8	0,41	149,8	22,502	0,75
172,595	85	75	579,4	401,3	0,35	308,5	225,0	0,74	376,9	198,8	0,35	105,9	22,501	0,74
177,785	105	80	778,8	497,7	0,63	532,3	238,3	0,61	564,3	283,3	0,63	317,8	23,828	0,61
184,875	130	100	984,1	597,6	0,69	678,9	291,2	0,69	722,1	335,5	0,69	416,9	29,116	0,69
191,200	115	90	849,5	547,7	0,65	579,5	264,7	0,63	611,3	309,4	0,65	341,3	26,471	0,63
194,000	130	80	1130,9	497,7	0,64	825,7	238,2	0,69	916,5	283,3	0,64	611,3	23,822	0,69
199,630	130	125	780,7	712,8	0,73	404,0	347,7	0,87	467,7	399,9	0,73	91,1	34,77	0,87
202,715	125	110	841,7	647,5	0,70	548,3	317,6	0,59	555,9	361,7	0,70	262,4	31,762	0,59
203,870	110	75	870,4	401,3	0,53	612,2	225,0	0,65	667,9	198,8	0,53	409,6	22,504	0,65
208,150	120	90	909,1	547,7	0,67	627,4	264,7	0,67	670,9	309,4	0,67	389,1	26,473	0,67
213,490	110	80	845,5	497,7	0,63	587,3	238,3	0,63	631,1	283,3	0,63	372,8	23,826	0,63
215,270	80	75	524,6	401,4	0,24	265,3	225,1	0,74	322,0	198,8	0,24	62,8	22,506	0,74
218,315	100	95	630,9	572,7	0,65	324,7	278,0	0,81	380,7	322,5	0,65	74,5	27,797	0,81
223,640	130	110	903,3	647,6	0,72	598,1	317,7	0,66	617,4	361,7	0,72	312,2	31,767	0,66
224,600	80	837,4	497,8	497,8	0,65	579,2	238,3	0,65	623,0	283,3	0,65	364,7	23,829	0,65
227,530	130	90	1030,6	547,7	0,70	725,4	264,8	0,74	792,3	309,4	0,70	487,1	26,476	0,74
	Snitt:		797,0	494,8	0,57	511,6	251,9	0,70	570,2	268,1	0,57	284,9	25,2	0,70

Vedlegg I – Hastighetsprofil med bremsekurver

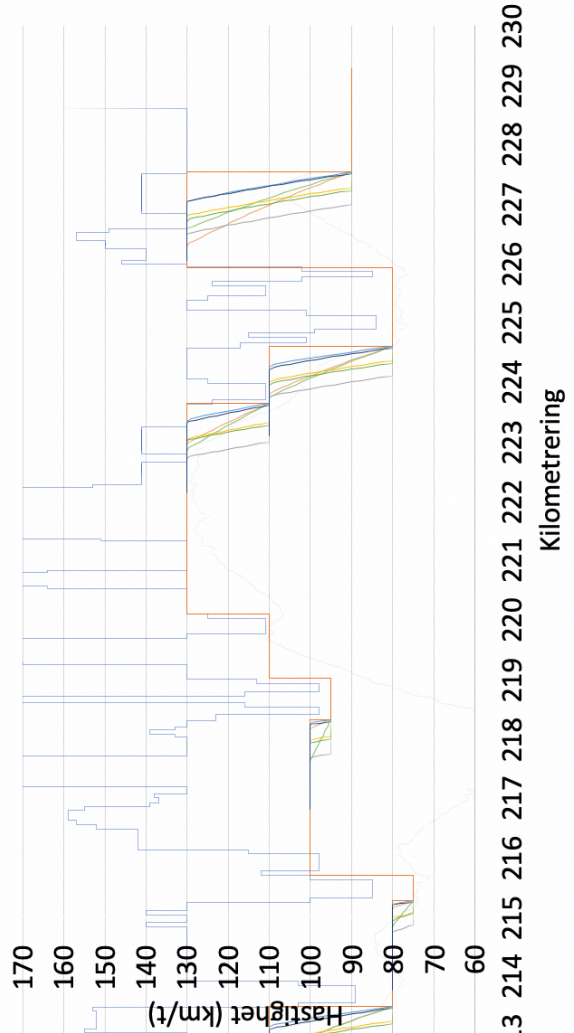
- Beregnet hastighet
- Skiltet hastighet
- Kl-anlegg (20A, 20B)
- Regresjon fra GPS
- Akselerasjon fra skiltavstand
- ETCS m/ DB
- ETCS u/ DB
- Akselerasjon fra ATC
- ETCS m/ DB + flytting målpunkt
- ETCS u/ DB + flytting målpunkt







8 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216



3 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230