

Skyddsavstånd på järnväg

Behov av regelförändringar vid ändrade förutsättningar



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Teknik och Samhälle**

Examensarbete:
Elisabeth Skoglund
Vita Lundberg

© Copyright Elisabeth Skoglund, Vita Lundberg
LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2022

Förord

Detta examensarbete utfördes under hösten 2021 och våren 2022 i samarbete med Trafikverket. Arbetet är det avslutande momentet i högskoleingenjörsutbildningen Byggteknik – järnvägsteknik på LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg.

I första hand vill vi tacka våra handledare på Trafikverket, Per-Erik Ingels och Axel Gustavsson, som gav oss möjligheten att genomföra föreliggande examensarbete. Vi vill även tacka Carl-William Palmqvist, handledare på LTH, som har varit till stor hjälp med både arbetets ämnesval och förbättringssynpunkter.

Under arbetets gång fick vi chans att prata med många kunniga inom järnvägsbranschen från olika delar i landet och även utomlands, vilket var väldigt givande för vår egen kompetensutveckling och examensarbetets innehåll. Vi vill ge vårt varmaste tack till alla som ställt upp på intervjuer, diskuterat ämnesval och hjälpt oss på andra sätt. Ni är fantastiska!

Sammanfattning

Dagens signalregelverk ställer krav på en minsta längd för reserverat spåravsnitt bortom slutpunkt för rörelseväg till ett annat fordon i rörelse. Detta kallas för skyddsavstånd och krav som ställs på dess längd gör det möjligt att tillåta samtidiga rörelser på en driftplats vilken har positivt påverkan på kapaciteten. Skyddsavstånd kan i vissa fall anses vara för restriktiv och kapacitetssänkande eller tvärtom - inte vara tillräckligt trafiksäkra.

Historiskt var samtidigt infart först endast tillåten genom olika undantag och det saknas data för kravursprung på skyddsavståndslängder. Det saknas även beräkningar för skyddsavstånd avseende ATC-frisläppningshastigheter, och det är oklart varför just 40 km/h och 10 km/h är de bestämda frisläppningshastigheter för 200 respektive 100 meters skyddsavstånd.

I denna rapport undersöks teoretiska stoppsträckor för tåg som anses ha de sämsta bromsegenskaperna och kan riskera att passera skyddsavståndet, nämligen godståg (Södra Stambanan) och malmtåg. Det undersöks även stoppsträckor för tåg vid stora banlutningar (Citybanan), då det är en till faktor som kan bidra till ökad risk att passera skyddsavståndet. Vidare analyseras de möjliga framtida faktorerna som kan påverka tågs stoppsträckor genom att antingen göra dem kortare eller längre. Bland dessa är: projektet Längre, Tyngre, Större tåg; End of train-device; digitala automatkoppel och bromsar med snabbare tillsättningsstid (EP, ECP); magnetskenbromsar; byte av bromsgrupp hos Malmtåg; kompositblockbromsar. Vissa av dessa anses inte påverka stoppsträckan betydligt och undersöks inte vidare (End of train-device), medan andra bidrar positivt till minskat stoppsträcka (automatkoppel och EP/ECP bromsar). En stor osäkerhet kring hur kompositblockbromsar påverkar stoppsträckan gör att det inte kan utföras beräkningar med avseende på denna typ av förändring. Det är ett pågående arbete att undersöka införandet av kompositbromsblock i järnvägsbranschen.

Resultat visar att 200 m skyddsavstånd med 40 km/h frisläppningshastighet idag inte uppfylls utifrån teoretiskt framräknade längder på stoppsträckor i två av tre valda undersökningsfall, nämligen för godståg på Södra Stambana och malmtåg. Stoppsträckor för sämst bromsade tåg vid stora lutningar på Citybanan kan accepteras för huruvida de uppfyller skyddsavstånd. Stoppsträckor för övrig normaltrafik på Citybanan ligger inom 200 skyddsavstånd. Undersökning över olika faktorer som kan påverka stoppsträckor i framtiden visar att digitala automatkoppel och EP/ECP-bromsar införandet gör att nya godstågstoppsträckor uppfyller 200 m skyddsavstånd vid 40 km/h frisläppningshastighet.

Stoppsträcksberäkningar för valda tåg med 10/15 km/h frisläppningshastighet visar att det redan idag finns marginaler i krav på 100 m skyddsavstånd. Alla stoppsträckor för denna frisläppningshastighet i undersökta fall uppfyller 100 m skyddsavstånd och i vissa fall (730 m långa godståg, godståg med automatkoppel EP/ECP bromsar, malmtåg i grupp P) finns det stora marginaler som gör att 100 m skyddsavstånd skulle kunna förkortas.

Rapportens slutsatser är att stora marginaler finns för 10/15-övervakade slutpunkter samt att behov av åtgärder finns för 40-övervakade slutpunkter redan idag för att minska risker på vissa platser. Att föra in ändringar i systemet som ger längre stoppsträckor måste göras varsamt och med stor medvetenhet.

Nyckelord: Skyddsavstånd, regelverk, stoppsträcka, bromssträcka, järnvägshistorik, bromsförmåga, bromsgrupp, EOT-device, EP, ECP, DAC, STAX, bromsprocent, tillsättningsstid, magnetskenbroms, trafiksäkerhet, bromsblock, malmbana, citybana

Summary

The current signalling regulations require a minimum length of reserved track beyond the end point of the train's path to another moving vehicle. This is known as safety overlap and the requirement for its length allows simultaneous train movements to be permitted at the station which has a positive impact on capacity. Length requirements may in some cases be considered too restrictive and capacity reducing or the opposite - not sufficiently traffic safe.

Historically, simultaneous train movements were initially only allowed through various exceptions and there is a lack of data on the origin of requirements for safety overlap. There are also no calculations regarding its connection to ATC release speed, and it is unclear why 40 km/h and 10 km/h are the determined release speeds for 200 and 100 m safety overlap respectively.

This report examines theoretical stopping distances for trains that are considered to have the worst braking characteristics and may be at risk of crossing the safety overlap, namely freight trains (Södra Stambanan) and iron ore trains. Stopping distances for trains running on tracks with high gradient (Citybanan) are also investigated, as this is another factor that may contribute to an increased risk of crossing the safety overlap. Furthermore, possible future factors that could affect train stopping distances by either making them shorter or longer are analysed. Among these are: The Longer, Heavier, Bigger trains project; End of train device; automatic couplers and brakes with faster application time (EP, ECP); magnetic rail brakes; changing the brake group of iron ore trains; composite block brakes.

Some of these are not considered to have a significant impact on stopping distance and are not investigated further (End of train device), while others contribute positively to stopping distance reduction (automatic coupling and EP/ECP brakes). A large uncertainty about the impact of composite block brakes on stopping distance means that calculations cannot be made with regard to this type of change. The investigation of the introduction of composite block brakes in the Swedish railway industry is an ongoing project.

Results show that 200 m safety overlap with 40 km/h release speed is currently not met based on theoretically calculated lengths of stopping distances in two out of three selected study cases, namely for freight trains and iron ore trains. Stopping distances for poorly braked trains at high gradients on Citybana is assessed accepted for whether they meet safety overlap requirements. Stopping distances for normal traffic on the Citybana are within 200 m. Examination of various factors that may affect stopping distances in

the future shows that the introduction of automatic couplers and EP/ECP brakes will enable new freight train stopping distances to meet the 200 m requirements at 40 km/h release speed.

Stopping distance calculations for selected trains with 10/15 km/h release speed show that there are already margins in the 100 m distance requirement today. All stopping distances for this release speed in the investigated cases meet the 100 m distance, and in some cases (730 m long freight trains, freight trains with EP/ECP automatic brakes, Group P iron ore trains) there are large margins where the 100 m distance could be shortened.

The report concludes that there are large margins for endpoints for train routes supervised with a release speed of 10/15 km/h, and that there is a need for reducing risks at those endpoints which are supervised with a release speed of 40 km/h. Introducing changes to the system that result in longer stopping distances needs to be done carefully and with great awareness.

Keywords: safety overlap, signalling regulations, stopping distance, braking distance, railway history, braking performance, brake group, EOT-device, EP, ECP, DAC, STAX, braking percentage, application time, magnetic rail brake, traffic safety, brake block, Malmbana, Citybana

Ordlista

Förkortning	Term	Beskrivning
	Adhesion	Del av friktionen i hjul-räl kontakt som utnyttjas vid acceleration/inbromsning
	Automatic train control	Tågskyddssystem som övervakar tågets framförande enligt tekniskt körtillstånd som ges från järnvägens signalsäkerhetssystem, och som dessutom i vissa fall fungerar som ett hyttsignalsystem.
	ATC-arbetsområde	Område (inom ATC-område), där fordonsutrustningen av tekniska skäl inte skall ta emot någon ATC-information
	Bromsgrupp P/R, G och Ö	En kategorisering av tågets bromsegenskaper beroende på bromskategori för de i tåget ingående fordonen (R-broms, P-broms eller G-broms)
	Bromskurva	Planerad och övervakad inbromsning för att tåget ska nå målhastighet
	Bromsprocenttabell	Tabell som anger STH för tåget beroende på tågets tillgängliga bromsprocent och längd
DAC	Digitala automatkoppel	Automatiskt vagnkopplingsystem där broms, el och signalsystem ihopkopplas automatiskt
	Dispens	Undantag från krav i exempelvis Trafikverkets regelverk
ECP-broms	Datorstyrd pneumatisk broms	Datorstyrda pneumatisk broms; bromstillsättning kan ske samtidigt i hela tåget
EOT	End of train-device	Teknik som möjliggör snabbare bromstillsättning
EP-broms	Elektropneumatisk broms	Elektrisk styrda pneumatiska broms, bromstillsättning kan ske samtidigt i hela tåget
ERA	European Union Agency for Railways	Europeiska järnvägsbyrå. Den bidrar bland annat till integrering av gemensamt europeiskt järnvägssystem
ERTMS	European Railway Transport Management System	Europeisk standard för trafikstyrning inom järnväg
ESIK	Enkelspår, samtidig infart, kort	Signalanläggning som möjliggör möte med eller utan samtidigt infart

ESIL	Enkelspår, samtidig infart, lång	Signalanläggning som möjliggör möte med samtidigt infart
ETCS	European Traffic Control System	Standardiserat europeiskt trafikstyrningssystem inom järnväg
EU-direktiv	Europeisk Unionens direktiv	Bindande rättsakt som kan antas av Europeiska unionens instruktioner. Är bindande för unionens medlemsstater med avseende på det resultat som ska uppnås. Nationella myndigheter bestämmer tillvägagångssätt.
	Förenklad tågväg	I signalställverket låst tågväg som inte uppfyller kraven för normal tågväg och som är avsedd för färd som ska framföras utan körsignal eller tekniskt körbesked.
	Kontrollbekräftad växel	Växel, vars rätta läge och låsning kontrolleras genom körsignal eller tekniskt körbesked.
	Hinderfrihetskontroll	Tekniken som bevakar huruvida ett spår är fritt från hinder och påverkar signalbesked
LKAB	Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag	Malmbrytande gruvdriftkoncern som trafikerar Malmbanan med tåg
	Lokalfrigivna växel	Växel som från signalställverket är frigiven för lokal omläggning.
	Lokalfrigivningsområde	Ett spåravsnitt/område som finns på en driftplats och där säkrad rörelse förhindras. Växlar inom området är i regel lokalfrigivna.
LTS-tåg	Längre, tyngre, större tåg	Projektet som undersöker möjlighet att trafikera svenska järnvägen med längre, tyngre och större tåg
OSPA	Obehörig stoppassage	Passage utan medgivande från trafikledningen av signal som innebär "stopp"
	Rörelseväg	Låst spåravsnitt som har en början och slutpunkt. Kan vara av typ tågväg eller växlingsväg
	Samtidig infart	Tågmöte där två tåg kan köra in på mötesplatsen samtidigt från var sitt håll
	Signalställverk	Tekniskt säkerhetssystem som kontrollerar att rörelsevägar läggs enligt säkerhetskrav
STAX	Största tillåtna axellast	Största tillåtna last per hjulaxel, anges i ton
STH	Största tillåtna hastighet	Tågets största tillåtna hastighet, bestäms utifrån en rad olika faktorer
	System E2	Trafikeringsystem där nivå 2 av ERTMS/ETCS används

SÄO	Säkerhetsordning	Äldre regelsamling för järnvägstrafik
T_NVCONTACT	Tidsvariabel i ETCS	Tidsvariabel som bestämmer maximal tid då ETCS ombordssystem kan vara utan kontakt med Radioblockeringscentralen innan en ny handling sker (t.ex service break)
TDOK	Trafikverksdokument	Trafikverkets styrande och stödjande dokument
	Teoretiska väntetiden (vägskydd)	Rekommenderade maximala väntetider från tidpunkten då vägskyddet sätts igång och vägtrafikanter får stoppbesked tills tåget har nått plankorsningen
TKL	Tågklarerare	Tjänsteman som övervakar tågrörelser
TRVINFRA	Trafikverkets infrastrukturregelverk	Trafikverkets infrastrukturregelverk, med krav och råd
TSD	Tekniska specifikationer för driftskompatibilitet	EU-lagstiftning som anger tekniska regler för järnvägens delsystem
	Övervakningsgrad, frisläppningshastighet	Hastighet under vilken tågskyddssystemet inte gör något bromsningrepp när färden närmar sig den punkt där körtillståndet upphör

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Syfte	1
1.2 Metod	2
1.3 Rapportens uppbyggnad	3
2 Skyddsavstånd och regelverket i dag	5
2.1 Varför behövs skyddsavstånd?	8
2.2 När behövs skyddsavstånd	8
2.3 Hur kan en OSPA ske med ett aktivt tågskyddssystem?	8
2.4 OSPA - olika kategorier	10
2.5 OSPA A – statistik	12
2.5.1 Antal händelser	12
2.5.2 Allvarlighetsklassificering och OSPA arbetets framväxt.....	13
2.5.3 Utnyttjande av skyddsavstånd vid OSPA	16
2.6 ERTMS och skyddsavstånd	17
2.6.1 Skyddsavstånd och frisläppningshastighet i ERTMS.....	17
2.6.2 Danger Point, DP	19
2.6.3 Minsta krav på retardationsförmåga i System E2	20
2.7 Skyddsavstånd och kapacitet	21
3 Skyddsavstånd historiskt	25
3.1 "Reglemente för tjänstgöring vid trafiken å statens jernvägar"	25
3.2 Säkerhets- och signalordningar vid Statens järnvägar	26
3.3 Första diskussionerna om automatiskt tågskyddssystemet	27
3.4 Första skyddsavståndet	28
3.5 Införande av automatisk tågstyrning (ATC)	29
4 Beräkning av stoppsträcka	32
4.1 Huvudbromssystem	32
4.2 Modell för att beräkna stoppsträcka	34
4.2.1 Retardation	37
4.2.2 Tillsättningsstid	38
4.2.3 Utgångshastighet	40
4.2.4 Minsta krav på retardationsförmåga	40
4.3 Marginaler i teori jämfört praktik	41
5 Baseline – nutidsanalys av skyddsavstånd	45
5.1 Metodbeskrivning	45
5.2 Baseline - godståg på Södra stambanan	46
5.2.1 Retardationsfördelning för godståg	48
5.2.2 Tillsättningsstidsfördelning för godståg	50

5.2.3	Beräkningar – baseline godståg på Södra stambanan	52
5.2.4	Jämförelse av frisläppningshastigheter i ATC och ETCS....	53
5.3	Baseline – Malmtåg i bromsgrupp G	54
5.3.1	Beräkningar för lastade malmtåg.....	55
5.3.2	Beräkningar för olastade malmtåg.....	56
5.3.3	Tidigare utredning om skyddsavstånd på Malmbanan.....	57
5.4	Baseline - stor lutning på banan.....	57
5.4.1	Citybanan – exempel på järnväg med kraftig lutning	57
5.4.2	Beräkningar för värsta fallet på Citybanan.....	58
5.4.3	Beräkningar för normal persontrafik på Citybanan.....	59
6	Skyddsavstånd när maximal längd på tåg ändras	61
6.1	Längre tåg, längre stoppsträckor	62
6.2	Beräkningar när tågen blir längre.....	63
6.3	Teknisk tågförkortning	66
6.3.1	End of Train - device en tågförkortande teknik ur bromsperspektiv.....	66
6.3.2	Utveckling av koppel	69
6.3.3	Digitala Automatiska Koppel.....	70
6.3.4	Ej tåglängdsberoende bromssystem.....	71
6.3.5	Beräkningar med tågförkortande teknik.....	72
7	Skyddsavstånd vid ändrad bromsgrupp	74
7.1	Användning av bromsgrupp G.....	74
7.2	Beräkningar - jämförelse bromsgrupp G och P.....	77
8	Skyddsavstånd när tågen blir tyngre.....	80
8.1	Beräkningar - ökad vikt samt ändrad bromsgrupp.....	80
8.2	Tidigare studie på Malmbanan.....	83
9	Skyddsavstånd när andra typer av bromsar tillgodoräknas	85
9.1	Tillskott från magnetskenbroms.....	85
9.2	Beräkningar med magnetskenbromstillskott – persontrafik på Citybana	87
10	Övergång från gjutjärnsbromsblock till kompositblockbroms	90
10.1	Krav på gjutjärnsbromsblockutbyte	90
10.2	Bromsegenskapernas väderberoende hos kompositbromsblock.....	91
10.3	Analys gällande påverkan på stoppsträckan.....	92
11	Sammanfattning av resultat.....	94
11.1	Resultatsammanfattning - skyddsavstånd 100 meter	94
11.2	Resultatsammanfattning - skyddsavstånd 200 meter	95
12	Diskussion	97
12.1	Beräkningsmodell.....	97
12.2	Val av indata.....	97

12.3 Antagna värden och felmarginaler	99
12.4 Presentation av resultat	100
12.5 Marginaler och osäkerheter	101
12.6 Resultatdiskussion.....	102
13 Slutsatser.....	104
13.1 Arbetets inledande frågeställningar.....	104
13.2 Rekommendationer	105
13.3 Vidare undersökningar.....	106
14 Referenser	107
15 Bilagor	112
15.1 Översättningstabell för Malmtåg	112
15.2 Omvandling mellan bromsprocent och retardation	113
15.3 Omräkning till ny tåglängdsfördelning	114
15.4 Intervjuer	115

1 Inledning

Regelverk förändras kontinuerligt av en mängd olika orsaker, detta kan vara det ständigt pågående förbättringsarbetet, teknisk utveckling eller krav ställda utifrån såsom EU-direktiv. Regelverk ses ofta även över vid olyckor, tillbud eller en större mängd avvikelser. Regelverk kan ibland vara mindre accepterade vilket kan resultera i en ökad mängd dispensärenden.

Signalregelverken, tillsammans med de andra teknikslagets regelverk inom Trafikverket, har genomgått en omstrukturering från TDOK till TRVINFRA för regler som behandlar infrastrukturen, vilket är ett arbete som är i stort sett klart (2021). Denna genomgång har dock inte handlat om att förändra regelverket i sak vilket det finns behov av då många delar är äldre samt att förutsättningar förändras.

En av förutsättningarna som håller på att förändras är att tågen enligt regeringsuppdrag skall bli längre, tyngre och större. Ytterligare behov av att öka kapaciteten finns då kapacitetsutnyttjande på järnvägen är högt på många platser, samt att det rent fysiskt kan vara platsbrist.

Skyddsavstånd och dess krav på längder gäller idag för alla järnvägsanläggningar oberoende av trafikeringstyp på dessa, vissa tåg med bättre bromsegenskaper kommer inte behöva utnyttja hela längden på skyddsavstånd. Det finns redan idag förutsättningar på vissa sträckor som gör att skyddsavstånd kan ifrågasättas både som för restriktiva och kapacitetsänkande men också som otillräckliga och till och med farliga.

På lång sikt så finns det även andra förutsättningar som kan påverka lämpligheten på befintliga skyddsavstånd. Bland dessa finns teknikutvecklingen som påverkar tågs bromsegenskaper, både genom bättre bromsar men även snabbare bromstillställning. Detta, tillsammans med ökande kapacitetsutnyttjande, gör att det kan finnas behov att revidera krav på skyddsavståndslängder i framtiden för att exempelvis tillåta samtidig infart på flera driftplatser.

1.1 Syfte

Det finns risk att ett tågsätt av olika skäl inte kommer stanna vid färdens slutpunkt och därför behövs det ett skyddsavstånd till andra fordon i rörelse. Skyddsavstånd är ett bestämt minimiavstånd som fordon i rörelse ska ha till ett annat fordon i rörelse bortom slutpunkten för sin rörelseväg. Hur långt avstånd tågsättet behöver i praktiken (teoretiska beräkningar) för att stanna efter det passerar en slutpunkt obehörigt i stopp beror på bland annat tågets längd

(tillsättningstid), lutning på banan, bromsegenskaper och hastigheten som tåget hade vid signalen samt om bromsningen påbörjades redan innan stoppsignalen eller nödbromsen tillsatts vid körning mot stopp, kanske till och med tåget accelererade. Syftet är att ta reda på om sträckan det tar att stoppa ett tåg på ett bra sätt matchar mot skyddsavstånden i regelverket idag och i framtiden.

Arbetets syfte är att diskutera och utreda frågan om skyddsavståndens längd är lämpliga samt hur längden av skyddsavstånden kan behöva förändras med ändrade förutsättningar.

Metodiken och beräkningarna skall kunna vara ett underlag för regelverksändringar samt stöd i riskanalys vid dispenser på Trafikverket. Frågeställningar:

- Kommer samma generella regler för skyddsavstånden att vara lämpliga vid trafikering av längre och tyngre tåg?
- Kan det finnas skäl till att ha kortare skyddsavstånd?
- Skall skyddsavstånden vara fasta värden eller kan de få variera beroende på plats?
- Borde det finnas regler som säger att principerna för skyddsavstånd skall vara anpassat efter tågs bromsförmåga?

1.2 Metod

Fokus för examensarbetet är tågrörelser i normalläge som är övervakade av ett tågskyddssystem. Rörelser som inte är övervakade såsom tåg utan ATC/ETCS samt växling kan komma att beröras perifert.

Både litteraturstudier, intervjuer och beräkningar används för resultatframställning. Litteraturstudier används både för att få relevant teori som berör skyddsavstånd, historik och beskrivning av faktorer som kan påverka stoppsträcka. Bland studerad litteratur finns tidigare studier kring bland annat bromssystem och kapacitet; tidigare undersökningar inom järnvägsbranschen gällande skyddsavstånd; Trafikverkets rapporter och infrastrukturregelverk; övrig relevant litteratur. Intervjuer används för att få information om delar som är svåra att hitta information om, när fakta behöver verifieras och för att komma vidare och få nya idéer till arbetet, samt för att kunna modellera beräkningar och göra rimliga antaganden.

Ämnesområdet är till sin natur svårt att bygga enbart på litteraturstudier då de få delarna som historiskt beskriver det är mycket svårtillgängliga samt att det var först på 1990-talet som det gjordes en rejäl satsning på att formulera de tekniska signaleringsprinciperna (Persson¹). En bidragande faktor till att regelverksskrivandet tog fart under 90-talet var den politiskt motiverade flytten av Banverkets huvudkontor från Stockholm till Borlänge där enbart ett fåtal i personalen följde med. Detta destabiliserade för en period om dryga 10 år den informella enhetliga centralstyrningen av bland annat signaleringsutformningen och ökade de regionala skillnaderna (Pålsson²). Intervjuer är alltså en viktig del för att förstå historiken före detta.

Resultat framställs med hjälp av beräkningar av stoppsträcka som beror på flera olika faktorer. Metod för beräkningar, data samt antagande beskrivs mer utförligt i kapitel 5.1 *Metodbeskrivning*. Resultatet presenteras med olika modeller efter karaktäristiken av resultatet. Bland dessa är resultatpresentation i form av sannolikhet för tåget att passera 200 m skyddsavstånd vid en viss hastighet; 0 - och 5 % risknivå för tåg kan passera ett visst avstånd för en viss hastighet, vilket ger grund för framtida diskussion för val av kortare skyddsavstånd; stoppsträckors längder i olika hastigheter, som kan jämföras med krav på skyddsavstånd.

1.3 Rapportens uppbyggnad

Inledningsvis kommer rapporten beskriva vad skyddsavstånd är, hur regelverket ser ut idag, varför skyddsavstånd behövs samt en historisk genomgång.

En stor del av rapporten består av beräkningar tillsammans med en teoretisk beskrivning och förklaring till skälet att dessa görs. För att förstå dessa beräkningar inleds resultatdelen med *kapitel 4 Beräkning av stoppsträcka* som skapar en förståelse för hur olika tekniska system påverkar ett tågs stoppsträcka. Ansatsen i detta arbete är att denna stoppsträcka behöver vara kortare än skyddsavståndet.

Resultatdelens kapitel består av inledande teoretiska delar för att förklara behovet av beräkningarna. *Kapitel 5 Baseline – nutidsanalys av skyddsavstånd* är det resultatkapitel som inleder och beskriver nutiden, det som förändringar i kommande resultatkapitel sedan kan jämföras mot. Den delen är också beräkningar för huruvida skyddsavstånden faktiskt uppfylls på ett trafiksäkert sätt idag.

¹ Persson, Carl-Magnus, Trafikverket, intervju 2021-12-07

² Pålsson, Ulf, Trafikverket Konsult, intervju 2022-04-01

Vidare följer en rad resultatkapitel där flera olika typer av förändringar införs samt beräkningar på hur utslaget blir i förändrad stoppsträcka. Detta för att räkna på om skyddsavståndets längd är anpassat för dessa förhållanden, både utifrån trafiksäkerhet men även delvis kapacitet, om skyddsavstånden skulle bli omotiverat långa. Där tidigare utredningar har gjorts beskrivs även dessa kort i några fall samt jämförs med resultatet i detta arbete.

Resultatkapitel 10 Övergång från gjutjärnsbromsblock till kompositblockbroms saknar egna beräkningar och beskriver frågan om krav på att byta ut gjutjärnsbromsblock till kompositbromsblock enligt EU-krav. Det sista *resultatkapitlet 11 Sammanfattning av resultat* sammanfattar alla beräkningar på ett lättöverskådligt sätt. Slutet av arbetet består av diskussioner samt slutsatser.

2 Skyddsavstånd och regelverket i dag

Skyddsavstånd är ett reserverat avstånd bortom slutpunkt på en rörelseväg eller lokalfrigivningsområde, som inte får ingå i en annan rörelseväg. Enkelt sagt, är skyddsavstånd ett spåravsnitt mellan slutpunkt för det ena fordonets rörelseväg till ett annat fordon i rörelse. Det finns av olika anledningar risk för att ett tåg inte kan stanna vid slutpunkten för sin rörelseväg. För att förhindra kollisioner med ett annat fordon i rörelse finns det krav på minsta tillåtna avstånd till den andra rörelsen. Om tåget råkar passera slutpunkten för sin rörelseväg skall detta minsta avstånd förhoppningsvis vara tillräckligt för att bromsa fordonet innan kollisionen kan uppstå. Skyddsavståndets längd beror på flera faktorer och olika typer av rörelsevägar har olika längd på skyddsavstånd (Trafikverket, 2021a).

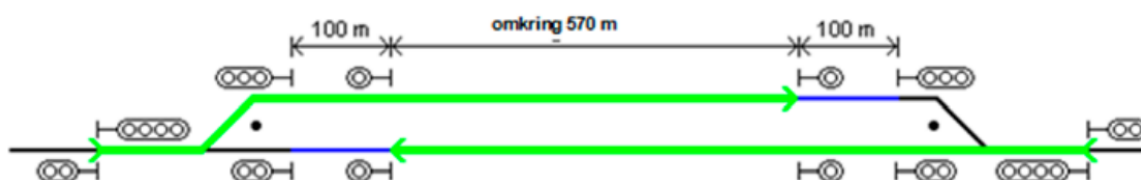
Det mest restriktiva skyddsavståndet är det mellan ett lokalfrigivningsområde och tågvägar; det kan vara upp till 500 m och är till för att skydda de tåg som är i rörelse från exempelvis en vagn som råkat rulla ut från lokalfrigivningsområdet. Detta avstånd kan dock förkortas med användning av spårspärr, vilken accepteras som tillräckligt skydd för att avgränsa lokalfrigivningsområdet från andra rörelsevägar. Spårspärren ska vara tekniskt kontrollerad i läge ”på”. Detta är dock det enda undantag och sätt då spårspärr kan ersätta skyddsavstånd och det är heller inte acceptabelt att använda spårspärr som skydd mellan två rörelsevägar. Det finns också fall då skyddsavståndet kan sättas till noll, bland annat mellan två växlingsvägar eller en växlingsväg och ett lokalfrigivningsområde. Skyddsavståndet mellan två tågvägar är antingen 200 m, då ATC-frisläppningshastigheten är 40 km/h, eller 100 m, då frisläppningshastigheten är 10 km/h (ATC), eller 15 km/h (system E2).

En lösning som gör det möjligt att avlägsna skyddsavståndet är en skyddsväxelanordning. Enligt projekteringskrav i Trafikverkets regelverk (2021a) ska skyddsavståndet kontrolleras genom att följa den väg som växlarna ligger i, då växlarna är i kontroll. En växel i ”rätt” läge kan därför leda tåg, som otillåtet passerar slutpunkten för sin rörelseväg, ut på spåret som fungerar som ett skyddsspår (temporärt eller permanent). Skyddsavståndet behöver i detta fall kontrolleras endast i det växelläge som leder ut på skyddsspåret, förutsatt att växeln är i kontroll. Detta gör att en annan rörelseväg kan ställas in på det andra spåret utan krav på skyddsavstånd. Det finns även ett fall då skyddsavstånd inte är ett tillräckligt skydd mellan två rörelsevägar och där skyddsväxeln är det enda skyddsalternativet - detta är då hastigheten på spåret som ska skyddas från kollision är över 160 km/h (ibid).

Andra fall då skyddsavståndet kan förkortas och inte behöver uppfylla regelverkets krav är då dispens har beviljats utifrån förutsättningar på enstaka platser, som gör ett kortare skyddsavstånd acceptabelt för de specifika förhållanden som råder. Dessa specifika, tillåtande förhållanden kan bland annat vara lutning på banan och andra terrängegenskaper (Viklund³).

Det finns också ett annat mindre restriktivt krav på avståndet bortom slutpunkten för en rörelseväg, nämligen skyddssträckan – det vill säga avståndet till ett objekt eller fordon som inte är i rörelse. Dess längd är 100 m eller 50 m (till annat fordon eller fast hinder) med ATC-frisläppningshastighet 40 km/h och noll meter med frisläppningshastigheten 10 km/h (Trafikverket, 2021a). I de fall då skyddsavstånd inte uppfylls på en mötesplats förloras möjligheten till samtidig infart, ett exempel på detta kan visas med signalanläggning av typ ESIK.

I ESIK-anläggningen kan tågväg ställas antingen till mellansignal som utnyttjar hela spårlängden eller till stopplyktan 100/200 m före mellansignal, se Figur 1 där tågväg är ställt till slutpunktstopplyktan. Samtidig infart tillåts då tågväg ställs med slutpunkt i stopplyktan och de sista 100/200 m bortom denna utgör skyddsavstånd med ATC-frisläppningshastighet 10/40 km/h. Men det är även möjligt att ställa tågväg mot mellansignalen för att kunna använda mötesplatsen för längre tåg. I detta fall tillåts dock inte samtidig infart (Trafikverket, 2015).



Figur 1 Exempel på utformning ESIK, med 100 meter skyddsavstånd. Bildkälla: Trafikverket, kapacitet på järnvägen

Trafikverkets regelverk innehåller flera dokument med krav som antingen ställs på skyddsavstånd eller annat inom signalsystem som påverkas av skyddsavstånd. Kraven gällande skyddsavstånd beskrivs i *TRVINFRA-00303 Reservation av Spåravsnitt*. Förutom krav på minsta tillåtna skyddsavstånd i Tabell 1 finns det andra krav på hur skyddsavstånd bestäms. Kapitel 9 Skyddsavstånd är uppdelat i tre delar: allmänt, längd på skyddsavstånd,

³ Viklund, Staffan, Trafikverket, intervju 2022-03-15

skyddsavstånd för förenklad tågväg. Allmänna krav för skyddsavstånd handlar om hur skyddsavstånd betraktas utifrån: växlarnas läge och huruvida växlar är i kontroll eller inte; spårspärr som kan utgöra avgränsning för lokalfrigivningsområde; vilket objekt som blir slutpunkt för rörelseväg då slutpunktstopplyktan är ur kontroll. Längd på skyddsavstånd beror på en rad faktorer, såsom bortom vilken typ av rörelseväg som skyddsavståndet ska finnas, vilken rörelseväg som den ska skydda, vilket tågskyddssystem (ATC eller E2) som finns på banan och gällande signalbesked. Skyddsavstånd för förenklad tågväg beskriver hur skyddsavståndet ska betraktas i fall då växlar är lokalfrigivna eller inte är i kontroll.

Eftersom gällande signalbesked och frisläppningshastighet påverkar längden på skyddsavståndet blir det även omvänt att krav på längden för skyddsavstånd påverkar signaleringen. Signaleringskrav beskrivs i TRVINFRA-00302 Signalering. Bland kraven som påverkas av skyddsavstånd är: val av frisläppningshastighet i ATC-signalering; signalbesked i huvudljussignal; signalbesked i dvärgsignal; utformning av ATC-arbetsområde; körbesked i radiosignalering. Krav på uppfyllt skyddsavstånd finns även i TRVINFRA-00306 Radioblockering.

Tabell 1 Gulmarkering är de delar som omfattas av examensarbetet. Tabell över skyddsavstånd (enhet meter) tagen ur TRVINFRA 00303, krav 124625, version 3.0 (Trafikverket, 2021a)

Krav på skyddsavstånd	Gällande signalbesked och övervakning	Normal Tågväg	Förenklad och särskild tågväg	Växlingsväg	Lokalfrigivningsområde	Linjespår
bortom huvudsignal eller stopplykta i stopp mot vilken rörelse sker på tågväg eller linje	"Kör 80" eller "Kör 40"	200	200	100	100 ¹	200
	"Kör 40" med 10-övervakning i ATC ²	100	100	0	0	100
bortom slutpunkt för normal tågväg i system E2	40-övervakning	200	200	100	100	200
	15-övervakning	100	100	50	50	100
bortom slutpunkt för förenklad tågväg, och särskild tågväg i system E2	-	200	200	100	100	200
bortom slutpunkt för växlingsväg	-	100 ³	100 ³	0	0	100 ³
bortom avgränsande objekt för lokalfrigivningsområde ⁴	-	100-500 ⁵	100	0	-	100-500 ⁵

2.1 Varför behövs skyddsavstånd?

Signalsystemets roll är att säkert styra tåg (och övriga färder) och förhindra kollisioner, vilket fungerar med hög säkerhet (Bårström & Granbom, 2017). Som i alla system finns det brister, vilka i vissa fall behöver accepteras men i många fall kan dessa hanteras och mildras. En risk i signalsystemet är att tågsätt av olika skäl kan passera färdens slutpunkt. Det kan vara yttre förhållanden såsom akut spårhalka eller svår dimma. Fordon eller vagnar kan komma i självrullning. Orsaker kopplat till föraren kan främst vara missförstånd för vilken slutpunkt som gäller eller att bromsförmågan missbedöms, i mycket ovanliga fall kan det handla om sjukdom som sätter föraren ur spel vid exakt fel tidpunkt.

Signalsystemet är inte heller ett enhetligt system utan är byggt och utbyggt i etapper där olika signaleringsprinciper varit gällande och det finns platser där det i vissa specifika fall är svårt att stanna vid målpunkt om föraren förlitar sig för mycket på ATC. En bromsning kan därför behöva inledas redan när föraren optiskt ser ett vänta stopp-besked (Andersson, Berg, Stichel, & Casanueva, 2018). Tågskyddssystemet medger av praktiska skäl också att en signal kan passeras i stopp (med nödbroms som följd) även om det inte är tillåtet. Av dessa skäl behöver risken för allvarliga konsekvenser kopplat till detta hanteras och mildras.

2.2 När behövs skyddsavstånd

Skyddsavståndet finns till för att bli den buffertzonen som tas i anspråk när något oregelmässigt sker. De oregelmässigheter detta arbete tittar på är främst när tåg med en teknisk övervakning såsom ATC/ETCS kör förbi en slutpunkt, det vill säga när en signal medvetet är ställd till stopp eller körbeskedet upphört för att det kan befinna sig andra rörelser bortom signalen. Detta benämns som att göra en obehörig stopp-passage, en OSPA.

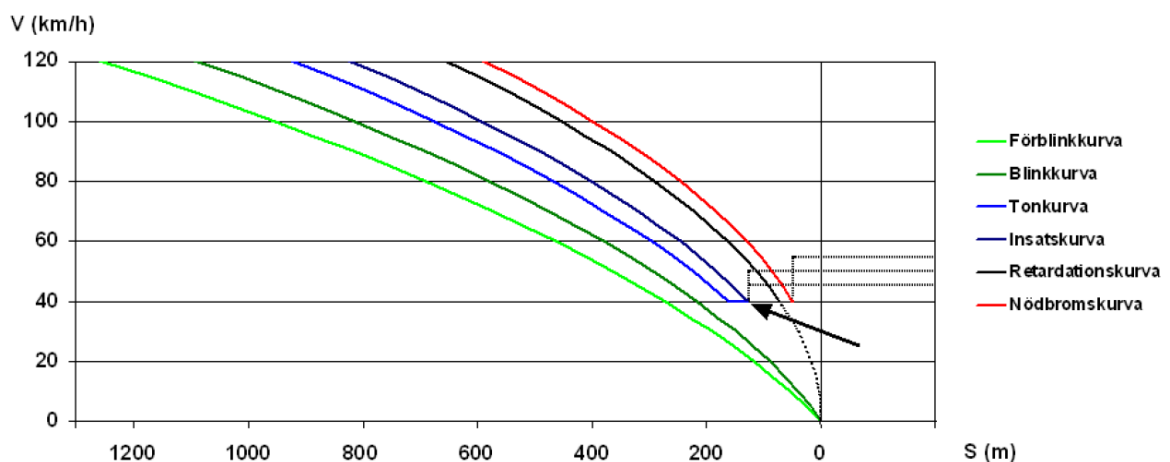
Avståndet bortom tågvägens slutpunkt bör, enligt detta arbetes ansats, vara anpassat så att tåg skall kunna stanna utifrån möjlig hastighet, lutning och bromsförmåga för att en avvikelse eller tillbud (OSPA) skall kunna ske utan att det för den del sker en riktig olycka med allvarliga konsekvenser som en kollision med annat fordon innebär. Idag bygger detta avstånd uteslutande (med få undantag) på vilken övervakning tågskyddssystemet erbjuder samt vilken typ av trafik det rör. Reglerna är relativt enkla men grovhuggna.

2.3 Hur kan en OSPA ske med ett aktivt tågskyddssystem?

För att kunna nå fram till en målpunkt, en stoppsignal, kan inte den praktiska hastigheten i målpunkten vara noll (även om kravet är stopp), det skulle ta en

oändligt lång tid att närma sig den punkten. När tåget sedan skall starta igen skulle det inte kunna göra det på grund av att det övervakas med en hastighet på 0 km/h. ATC är uppbyggt på sättet att information ges till tåg punktvis och därför behöver den tekniskt övervakade hastigheten vara större än noll. I ERTMS kommer ett körbesked ges direkt till fordonet via radiobesked så i detta system finns inte detta problem med fasta informationspunkter för start av tåget (Eden⁴). Undantag är för system E1 där även information lämnas punktformigt. E1 finns det dock inga planer på att införa i Sverige.

ATC har två frisläppningshastigheter, 10 och 40 km/h och ERTMS har 15 och 40 km/h och när de hastigheterna nåts lämnas ansvaret över till föraren att bromsa till målpunkten. Skälet till detta är att om signalen går över till att visa ett körbesked så skall föraren kunna accelerera igen och det ges även en ytterligare hastighetsmarginal på det. En överhastighet på ytterligare 9 km/h kan utnyttjas efter att den blå tonkurvan har passerat i Figur 2, (när den så kallade knä-punkten har nåts) på ATC-panelen visas det mot föraren genom att förindikatorn är släckt och stoppbeskedet visas enbart i huvudindikatorn (Trafikverket, 2014). I detta läge ingriper inte ATC förrän tåget passerar stoppsignalen. I ERTMS ges inte samma möjlighet till överhastighet för frisläppningshastigheten utan överhastighet används enbart för takhastighet och därför är maximal hastighet densamma som frisläppningshastigheten (Eden⁴).



Figur 2 Bromskurvor som visar när ansvaret för hastigheten lämnas över till föraren. I detta exempel för en 40-övervakning med ATC.

När ATC1 infördes i början på 80-talet beslutades att en ny typ en av säkerhetsgräns skulle kunna användas när skyddsavståndet (även om det på den tiden inte benämndes så) var kortare än 200 meter (Persson⁵). Valet föll på

⁴ Eden, Samuel, Trafikverket konsult, intervju 2022-04-08

⁵ Persson, Anders, Trafikverket, intervju 2022-03-10

100 meter med en frisläppningshastighet på 10 km/h, detta kräver dock i dagens regelverk (Trafikverket, 2021a) att det inte optiskt signalerar annat än två eller tre gröna, det vill säga "kör 40, samt varsamhet eller kort väg" (Trafikverket, 2019c), detta förklaras idag av många med att av händelse fordon utan ATC trafikerar platsen skall det vara säkrare.

Ursprunget till denna ändring är dock en olycka i Tallåsen år 1993, en mötesdriftplats på enkelspår som har möjlighet till samtidig infart med 100 meter skyddsavstånd. Ett tåg bestående till stor del av skivbromsade vagnar kom körande i snöyra. Beskedet kör 80, vänta stopp visades i infartssignalen och föraren som visste att det var normalt förbeskedsavstånd bromsade på normalt vis. På grund av snörök hade bromsförmågan blivit nedsatt och tåget passerade mellansignalen och växeln ut i mötande tågväg. Föraren av det mötande tåget körde ett godståg i låg hastighet och hann upptäcka signalen som slog om till stopp och kollisionen skedde i låg hastighet. Ett tiotal personer fick föras till sjukhus. Regelverket för skyddsavstånd på 100 meter ändrades till att signalbeskedet "kör 40" behövdes signaleras istället för "kör 80", detta skulle redan vid försignalen till infarten ge föraren en psykologisk påverkan att köra lite mer restriktivt där de fick försignaleringen "vänta kör 40" och på det sättet minska denna typ av olycka (Pålsson⁶).

Hur det kommer sig att just 100 meter valdes i kombination med 10-övervakning finns det idag inget bra svar på, det anges under flera intervjuer att det var ett runt och bra tal som verkar fungera och ger en enkel regel (Pålsson⁷, Persson⁷, Persson⁸, Holmgren⁹).

2.4 OSPA - olika kategorier

OSPA kan delas in i kategorierna A, B, C (samt D även om den kategorin som behandlar frirullande vagnar inte används av Trafikverket idag) på ATC-bana och i underkategorier till dessa, se Figur 3. E framför är händelse på ERTMS-bana (alternativ i andra än Trafikverkets system hanteras detta genom att enbart sätta händelsen i en 20-serie utan E).

De OSPA-händelser av intresse för detta arbete är främst kategori A. Den kategorin behandlar fall när en given slutpunkt finns för färden samt att den är ställd på ett sätt så fordonet skall kunna stanna i ett normalförhållande. En händelse kopplat till att barriärerna människa, teknik och organisation fallerar,

⁶ Pålsson, Ulf, Trafikverket Konsult, intervju 2022-04-01

⁷ Persson, Carl-Magnus, Trafikverket, intervju 2021-12-07

⁸ Persson, Anders, Trafikverket, intervju 2022-03-10

⁹ Holmgren, Lars, Trafikverket, intervju 2021-12-07

och/eller yttre förhållande som försvårar är orsaken till denna typ av kategori av obehörig stoppassage.

I kategori C ställer tågklararen signal i stopp främst på grund av fara, det vill säga ett avsiktligt återtagande av körbesked (C1). Även om tågvägsåslåsningen kvarstår för tåget som passerar slutpunkten kan detta bli inblandat i en olycka på grund av ett annat fordon's obehöriga passerande.

Kategori B, ett oavsiktligt återtagande av körbeskedet, kan innebära flera saker; att en signal har gått till stopp för att villkoren för grön signal inte uppfylls trots intentioner att de skall uppfyllas (ett tekniskt fel) (Trafikverket, 2016b) eller att en signal felaktigt återtagits (Trafikverket, 2021b). Ofta beror det på att spårledning indikerar spåret belagt felaktigt (felsäkert läge) eller att en växel är ur kontroll, normalt sett beror detta på något tekniskt fel men kan i värsta fall bero på att ett annat fordon olovligt har tagit sig in på sträckan framför tåget (då kategoriseras det som C1- Fara). OSPA B handlar normalt av den typ av avvikelser som i vardagsspråk ofta kallas "signalfel". Signaler kan också oavsiktligt gå till stopp genom handhavande från tågklarare då det finns skillnader i hur olika ställverk fungerar som bygger på signaltekniska regler om hur restriktivare signaler får annonseras.

<input type="radio"/> A1 - Missförstånd stoppassagemedgivande	<input type="radio"/> A2 - Start mot stopp
<input type="radio"/> A3 - Missad försignalering	<input type="radio"/> A4 - Missad stoppsignal
<input type="radio"/> A6 - Såg stoppsignalen för sent	<input type="radio"/> A7 - Såg stoppsignalen i tid, kunde inte stanna
<input type="radio"/> A9 - Övrig händelse	<input type="radio"/> B1 - Tekniskt fel
<input type="radio"/> B2 - Felaktig återtagning	<input type="radio"/> B3 - Felaktig påverkan
<input type="radio"/> B9 - Övrig händelse	<input type="radio"/> C1 - Fara
<input type="radio"/> C2 - Fel tågväg lagd	<input type="radio"/> C9 - Övrig händelse
<input type="radio"/> EA21 - Missförstånd av medgivande	<input type="radio"/> EA22 - Start utan körtilstånd/starttilstånd
<input type="radio"/> EA24 - Missad signalpunktstavla/signal	<input type="radio"/> EA26 - Såg signalpunktstavla/signal för sent
<input type="radio"/> EA27 - Såg signalpunkttavlan/signalen i tid, kunde inte stanna	<input type="radio"/> EA29 - Övrig händelse
<input type="radio"/> EB21 - Tekniskt fel	<input type="radio"/> EB22 - Felaktig återtagning
<input type="radio"/> EB23 - Felaktig påverkan	<input type="radio"/> EB29 - Övrig händelse
<input type="radio"/> EC21 - Fara	<input type="radio"/> EC22 - Fel tågväg lagd
<input type="radio"/> EC29 - Övrig händelse	

Figur 3 OSPA kategorier, utdrag ur Synergi, Bildkälla Kristian Olofsson Trafikverket 2021-12-07

I vidare beräkningar under resultatdelen kommer OSPA-händelseförloppet att förenklas kraftigt till att behandla en förare som inte själv har ingripit, det vill säga missat stoppsignalen helt men samtidigt befinner sig under frisläppningshastigheten och sen låter den tekniska övervakningen bromsa tåget.

2.5 OSPA A – statistik

2.5.1 Antal händelser

För att få en uppfattning med vilken frekvens olika typer av händelser sker presenteras OSPA A-händelser för åren 2018-2019. Grovt kan sägas att strax under 400 händelser sker ett normalt år.

OSPA Händelsekategori	2018 01	2018 02	2018 03	2018 04	2018 05	2018 06	2018 07	2018 08	2018 09	2018 10	2018 11	2018 12	2018 totalt
A1 – Missförstånd stoppassage-medgivande	2	1	1	2	4	5	1	2	3	5	3	1	30
A2 – Start mot stopp	4	2	2	2	2	3	6	5	2	1	1	3	33
A3 – Missad försignalering	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	6
A4 – Missad stoppsignal	13	16	13	13	12	10	10	10	4	11	11	11	134
A6 – Såg stoppsignalen för sent	6	3	7	11	8	5	9	6	5	6	2	4	72
A7 – Såg stoppsignalen i tid, kunde inte stanna	5	6	6	4	7	2	4	2	6	4	1	1	48
A9 – Övrig händelse	4	6	7	5	7	6	3	6	3	8	3	6	64
Summa	34	34	37	37	41	31	34	32	23	36	22	26	387

Figur 4 Uppdelning av OSPA A under 2018 på sekundär nivå. OSPA-gruppens informationsmaterial nr19, Mars 2020 (Trafikverket, 2020b)

OSPA Händelsekategori	2019 01	2019 02	2019 03	2019 04	2019 05	2019 06	2019 07	2019 08	2019 09	2019 10	2019 11	2019 12	2019 totalt
A1 – Missförstånd stoppassage-medgivande	3	2	2	3	0	4	3	1	1	1	0	0	20
A2 – Start mot stopp	4	5	4	2	2	2	1	6	3	3	1	5	38
A3 – Missad försignalering	2	0	1	0	0	3	0	1	0	0	0	0	7
A4 – Missad stoppsignal	12	14	14	12	8	9	9	10	20	10	10	9	137
A6 – Såg stoppsignalen för sent	4	5	8	9	3	8	3	5	6	6	3	1	61
A7 – Såg stoppsignalen i tid, kunde inte stanna	5	8	4	3	3	4	2	3	2	2	3	2	41
A9 – Övrig händelse	5	7	4	4	8	4	5	6	6	5	11	4	69
Summa	35	41	37	33	24	34	23	32	38	27	28	21	373

Figur 5 Uppdelning av OSPA A under 2019 på sekundär nivå. OSPA-gruppens informationsmaterial nr19, Mars 2020 (Trafikverket, 2020b)

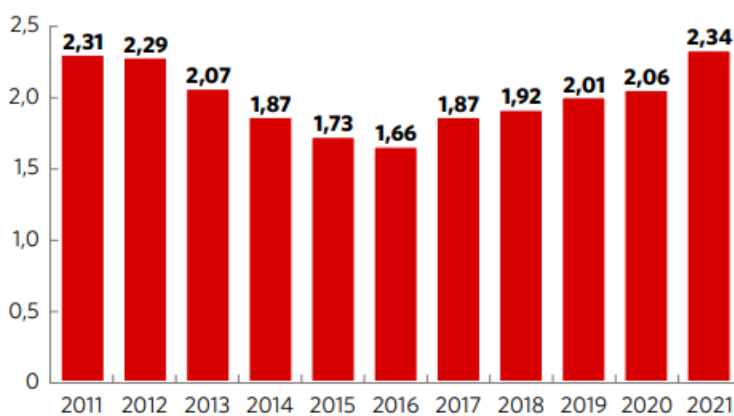
OSPA Händelsekategori	2018 total	2019 total
A21 – Missförstånd av medgivande	2	2
A22 – Start utan körtillstånd/starttillstånd	2	3
A24 – Missad signalpunktstavla/signal	6	4
A27 – Såg signalpunkttavlan/signalen i tid, kunde inte stanna	1	3
A29 – Övrig händelse	4	8

Figur 6 Uppdelning av OSPA A under 2018-19 på sekundär nivå för trafikeringsystem E. OSPA-gruppens informationsmaterial nr19, Mars 2020 (Trafikverket, 2020b)

Tendensen som kan skönjas för därpå kommande år i Figur 7 är en ökning av händelser per miljon tågkilometer som ligger i nivå med 2011 (Trafikverket, 2021b). Skälet till detta är fortfarande inte klarlagt (Lindqvist¹⁰).

Jämförelsesättet, händelser/miljon tågkilometer, är en metod Nationella OSPA-gruppen har tagit fram för att kunna se förändring över tid på ett mer rättvisande sätt än antal ger. I denna statistik ingår även händelser från övriga färder såsom växling och spärrfärd. Det kan vid en första anblick verka konstigt men förklaras genom att för att få ett enkelt sätt att jämföra behöver vissa förenklingar göras. Genom antagandet att om tågfärder ökar anses växlingsarbete öka proportionellt kan även övriga färder inkluderas.

Växlingsarbete kan också mätas men de metoder som finns idag är så pass osäkra så de bedöms inte användbara (Blomhage¹¹).



Figur 7 OSPA A för gods- och persontrafik enligt modellen händelse per miljon tågkilometer. OSPA-gruppens informationsmaterial nr 41, November 2021

2.5.2 Allvarlighetsklassificering och OSPA arbetets framväxt

Arbetet med att klassificera OSPA och särskilja dessa från andra händelser påbörjades på 80-talet. Då användes OSPA-kategorierna A-D, det vill säga även den kategori som behandlar frirullande vagnar (D). Arbetet rann dock ut i sanden.

Under 00-talet utredde Banverket på uppmaning från SJ ytterligare frågan med resultatet att de inte såg något skäl till att prioritera det arbetet. Efter den rapporten uppmanades Banverket med starka påtryckningar från branschföreningen Tågoperatörerna att påbörja en systematisk behandling av OSPA händelser. Under 2006 och 2007 verkar en samsyn ha tagit form och arbetet påbörjades (Trafikverket, 2022e). I detta skede togs OSPA D bort som kategori hos Banverket då de tyckte det var för komplicerat med för många

¹⁰ Lindqvist, Lars, Trafikverket OSPA-gruppen, samtal mars 2022.

¹¹ Blomhage, Michael, Trafikverket OSPA-gruppen, intervju 2022-04-08

kategorier vilket accepterades av Tågoperatörerna för att få framdrift i arbetet. Kategori D används dock av järnvägsföretag men inte i det mastersystem som Banverket skulle stå för (Blomhage¹²). Ungefär 2009 var arbetet klart och en omstart för OSPA arbetet var ett faktum.

Statistiken i Figur 7 OSPA A för gods- och persontrafik enligt modellen händelse per miljon tågakilometer. OSPA-gruppens informationsmaterial nr 41, November 2021 visar hur OSPA A gick ner fram till 2016 och vände därefter upp igen, detta tog Trafikverket (som Banverket då hade ombildats till) på allvar och allvarlighetsklassificeringsarbetet påbörjades. 2019 var arbetet och inkörsperioden färdig för det och alla ärenden skall numera även allvarlighetsklassificeras i Trafikverkets system Synergi.

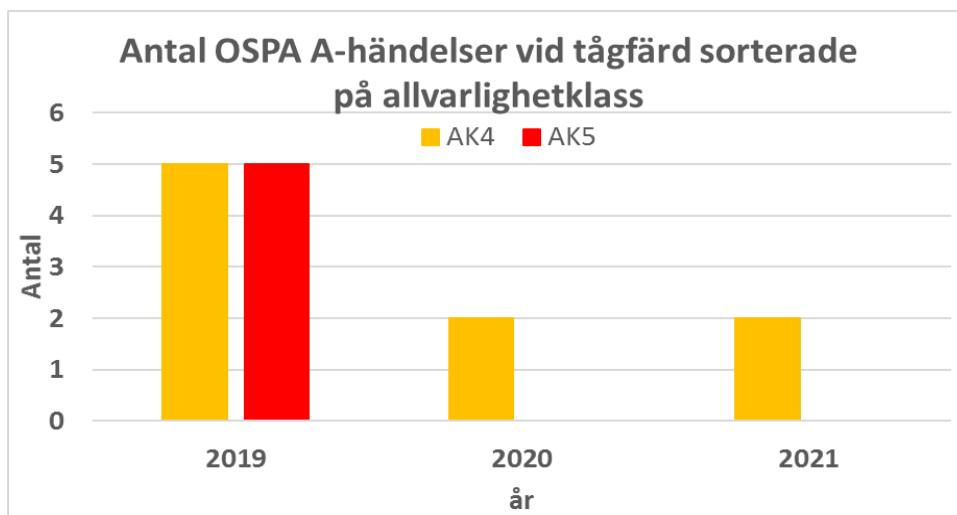
Allvarlighetsklassningen består egentligen av två delar, en del som bedömer hur trafikfarlig händelsen är samt en ekonomisk del. Dessa överlappar delvis varandra vilket inte gör det helt enkelt att separera en trafiksäkerhetskändelse från den ekonomiska händelsen och ta ut statistik för dessa separat. De ekonomiska rapporterna tar ofta längre tid att utföra vilket gör att en lång eftersläpning kan finnas i Synergi där händelser kan ligga oklassificerade i väntan på information. Att göra en korrekt klassificering är relativt enkelt i teorin då ett flödesschema finns för ändamålet. Att kunna göra korrekta bedömningar utifrån en trafiksäkerhetskändelse för att kunna följa flödesschemat kräver dock en hel del teknisk och operativ kunskap.

Obehöriga stoppassager allvarlighetsklassificeras enligt en skala på AK1-AK8 där AK8 är värst (Trafikverket, u.å.a). För detta arbete är främst AK4 och uppåt de händelser som det är fokus på att undvika. I grunden blir det AK4 om en rörelse kommer in i en lagd tågväg. Men om rörelsen kommer in i den lagda tågvägen så sent att tåget (vars tågväg det är) redan har passerat sista huvudsignalen in på spåravsnittet, då blir det en allvarligare händelse. Den ska då allvarlighetsklassificeras som AK5 (Trafikverket, 2020b). Klassningen blir också högre om tillbudet leder till en olycka såsom urspårning eller kollision, ger ekonomiska skador samt personolyckor. Detta gör att det inte enbart går att utläsa av AK-numrering vilken typ av händelse det är. En rörelse kan exempelvis vara växling, tåg eller spärrfärd men detta arbete undersöker tågrörelser med teknisk övervakning vilket är en delmängd av alla AK4-8.

Uppgifterna i Synergi-systemet bygger initialt på den checklista som skrivs direkt vid en OSPA A-händelse av föraren tillsammans med tågklararen (kategori A9 initialt för att sedan slutkategoriseras efter vidare utredningar).

¹² Blomhage, Michael, Trafikverket OSPA-gruppen, intervju 2022-04-08

Vidare utredningar kan göras av järnvägsföretaget, Trafikverkets faktainsamlare eller i allvarliga fall haverikommissionen för att få en detaljerad beskrivning av händelsen (Sjöström¹³). Klassificeringen hjälper OSPA-gruppen att göra en prioritetsordning för olika typer av fall så att arbetet kan fokuseras på där det gör mest nytta. Ett arbete sprunget ur detta är exempelvis ”Ensamma dvärgsignalen” (Trafikverket, 2019a).



Figur 8 Utdrag ur Synergi (2016-01-02 - 2021-12-27) med färdigklassificerade händelser fram till och med 2022-04-04. Databearbetning av E. Skoglund

Figur 8 visar de händelser som är kategoriserade och tillhör AK4 eller AK5 (inga händelser finns för AK6-AK8) för OSPA A händelser förutom sekundärtyperna A1, A2, EA21 samt EA22. Dessa typer av händelser är i sig väldigt allvarliga men faller inte under den typ av händelse som detta arbete studerar då det inte förväntas finnas ett skyddsavstånd för dessa händelser. Händelserna i statistiken i Figur 8 kan ses som få samt ovanligt slumpmässigt fördelade, det är också ett stort antal händelser som fortfarande inte är slutgiltigt klassificerade. Skälet till detta är inte helt klarlagt, det kan bero på ovana inledningsvis samt även en eftersläpning då det finns en stor mängd ärenden som fortfarande inte är sorterade. En del av dessa kan antas tillhöra AK4 och över. Dessa händelser är också till sin natur ovanliga på grund av de goda tekniska skyddssystem som finns vilket gör att slumpen kan få en stor påverkan på resultatet.

Antal registrerade men ej klassificerade ärenden (2022-04-04):

2019, 16 ärenden

2020, 0 ärenden

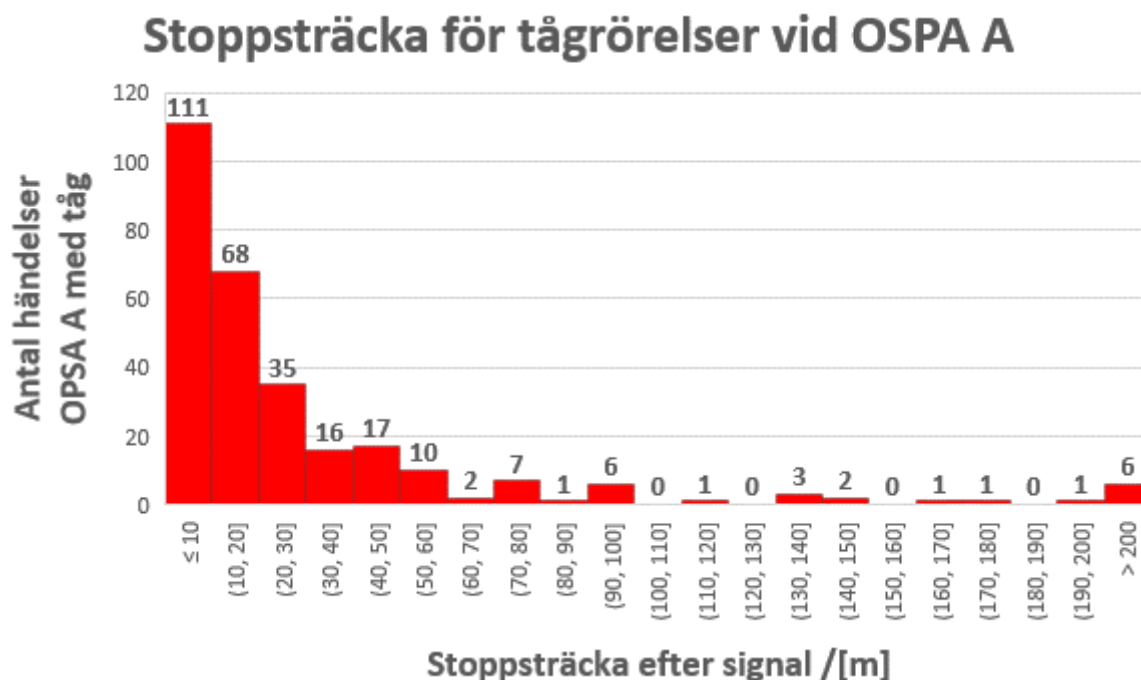
2021, 55 ärenden

¹³ Sjöström, Karin, Trafikverket Nationella OSPA-gruppen, Samtal 2022-03-31

2.5.3 Utnyttjande av skyddsavstånd vid OSPA

Skyddsavstånd mäts i meter och därför kommer en översikt av hur långt tågrörelser i praktiken passerar en stoppsignal att presenteras för att ge en bild av detta. I statistiken för registrerade OSPA A-händelser kan ses att förare ofta spelar en aktiv roll i att stanna tågfordonet, även om det antagandet delvis bygger på tolkningar av stoppsträckornas längd samt även vissa utsagor om broms hade inletts innan stopp-passagen när händelser detaljstuderas. Händelseförloppet går att kontrollera genom att avläsa loggfiler från tågskyddssystemet vilket enbart görs i speciella fall på grund av att det är omständligt.

OSPA A-händelser för tågfärd är insamlade mellan 2016-01-02 - 2021-12-27 ur Synergi (Sjöström¹⁴) och består av 362 händelser varav tre sorteras bort då de enligt en manuell bedömning av data uppenbart har hamnat fel. Händelserna i Figur 9 tar i detta material inte hänsyn till om det har funnits teknisk övervakning på fordonet eller banan. Information om vilken frisläppningshastighet slutpunkterna har finns inte heller.



Figur 9 Utdrag ur Trafikverkets system Synergi över OSPA A för tågfärd, manuellt bearbetad av rapportförfattare E.Skoglund

¹⁴ Sjöström, Karin, Trafikverket Nationella OSPA-gruppen, intervju 2022-04-04.

Antaganden och icke redovisad data i Figur 9 är de 71 stycken händelser som inte har angiven stoppsträcka samt där angiven sträcka är ”en loklängd” finnes dessa i spannet 10-20 meter.

Några av staplarna är värda att titta på närmre.

- Stoppsträcka < 20 meter. Ungefär hälften av fordonen får stopp inom 20 meter vilket tyder på att fordonen är välbromsade, redan ligger på tillsatt broms och/eller har en mycket låg hastighet.
- Stapel för 90-100 meter är ett utslag för att det i rapporteringar avrundas och anges ”ca 100 meter”.
- Stoppsträcka > 200 meter. Dessa händelser utgörs troligtvis till stor del av tågrörelser utan teknisk övervakning då det har registrerats avstånd som är bland annat 350 meter samt 1000 meter (ungefärliga avstånd).

2.6 ERTMS och skyddsavstånd

2.6.1 Skyddsavstånd och frisläppningshastighet i ERTMS

För cirka 15 år sedan (sett från 2022) tillsattes en grupp signalexperter för att se över hur säkerheten skulle ses ut inför ERTMS och där beslutades att ATC skulle försöka ”återvinnas” för att slippa ett omfattande bevisarbete för att visa att valet var trafiksäkert.

40 km/h är en väletablerad frisläppningshastighet i ATC och antogs som en rimlig och säker hastighet vilket även anammades som ERTMS frisläppningshastighet för platser med skyddsavstånd på 200 meter mot tågfärder. När det gäller 10 km/h som är den lägre hastigheten i ATC så går det att ligga i överhastighet upp till 19 km/h med ATC. Därför tilläts det lite mer än 10 km/h för frisläppningshastighet i ERTMS och som kompromiss blev det 15 km/h. 15 km/h är troligtvis inte baserat på mätningar och analys utan är mer som en variant av 10 km/h fast utan tillåten överhastighet. Ju mer som hastigheter trycks ner desto sämre körbarhet blir det, och ett av målen med ERTMS var att ge bättre tågtrafik, och då ville man inte välja en mer restriktiv hastighet (Eden¹⁵).

Gällande ERTMS påverkan på skyddsavstånd och skillnader från ATC så har det gjorts en jämförelseanalys medan ATC och ERTMS. Resultaten finns beskriven i Trafikverkets rapport Jämförelse av frisläppningshastighet i

¹⁵ Eden, Samuel, Trafikverket, intervju 2022-04-08

system ATC och ETCS (2022f) och presenterar också stoppsträckor för olika tåg. I denna jämförelseanalys beräknades det stoppsträckor för tre tågtyper:

- Godståg med bromsgrupp P och bromsprocent 83 med max tåglängd 730 meter,
- Persontåg med bromsgrupp P, bromsprocent 133 och max tåglängd 200 meter,
- Malmtåg med bromsgrupp G, bromsprocent 41 och max tåglängd 800 meter.

Beräkningar gjordes för lutningar noll och -10 promille.

För ATC-övervakade persontåg var stoppsträckor i beräkningsresultat inom skyddsavståndslängder. Gods- och malmtågs stoppsträckor var längre än skyddsavstånd för hastigheter 40–49 km/h och även för överhastigheten i 10 km/h ATC-övervakningen (som är 19 km/h). Resultaten visas i Tabell 2.

Tabell 2 Nödbromssträckor med ATC-övervakning

Frisläppnings- hastighet (km/h)	Persontåg	Godståg	Malmtåg
	Stoppsträcka [m]		
Lutning 0 ‰			
45	135,53	253,84	393,72
40	113,28	214,59	329,85
19	39,47	79,89	116,54
10	17,54	37,08	52,28
Lutning -10 ‰			
45	142,69	271,7	461,91
40	118,94	228,7	383,73
19	40,75	83,07	128,7
10	17,89	37,96	55,65

Resultat för tåg med ERTMS visade att stoppsträcka översteg 200 m skyddsavstånd hos godståg vid inbromsningen från 40 km/h till stopp (vid både noll lutning och -10 promilles lutning). Även stoppsträcka hos malmtåg som bromsade från 15 km/h till stopp var längre än skyddsavstånd vid -10 promilles lutning. Resultaten i Tabell 3 gäller normalfall då övervakningssystemets ingrepp sker vid passering av balisgrupp som är placerad omedelbart innan målpunktstavla.

Tabell 3 Nödbromssträckor vid ETCS-övervakning i normalfall.

Frisläppnings- hastighet (km/h)	Persontåg	Godståg	Malmtåg
	Stoppsträcka [m]		
Lutning 0 ‰			
40	120,28	221,59	-
15	36	66,76	92,97
Lutning -10 ‰			
40	125,94	235,7	-
15	36,8	68,74	100,55

Slutsatsen i denna jämförelseanalys var att ERTMS-systemet är säkrare än ATC på grund av att det inte tillåts överhastighet i ERTMS och stoppsträckan påbörjas vid 40 km/h istället för 45–49 km/h som i ATC. Även balisfel upptäcks tidigare i ERTMS som gör den säkrare än ATC. Dessutom tillåts inte frisläppningshastighet 40 km/h med ERTMS på Malmbanan, vilket gör stoppsträckan för malmtåg kortare. Gällande resultat för stoppsträckans längder var slutsatsen att dessa kunde vara kortare i verkligheten eftersom den teoretiska beräkningen baserades på långa tåg med låga bromsprocent och på en konservativ bromsmodell.

2.6.2 Danger Point, DP

Projekteringskrav för skyddsavstånd för system E2 tillåter 100 m skyddsavstånd med frisläppningshastighet 15 km/h, i samma fall som ATC-frisläppningshastighet 10 km/h (mot normal tågväg, förenklad och särskild tågväg, linjespår). Förutom den mindre restriktiva frisläppningshastigheten (som i sin tur inte tillåter någon överhastigheten, vilket är möjligt med ATC upp till 9 km/h) är övriga skyddsavståndskraven i System E2 ibland mer restriktiva än i ATC. Krav på skyddsavstånd bortom slutpunkt för normal tågväg i System E2 till växlingsväg eller lokalfrigivningsområde är 50 m (vid 15km/h frisläppningshastighet). Medan samma krav i ATC (vid frisläppningshastighet 10 km/h) är noll meter. Övriga krav på skyddsavstånd till olika rörelsevägar i System E2 stämmer med deras motsvarigheter i ATC.

Det finns dock ett annat begrepp i ERTMS som i sin funktion kan vara kopplat till skyddsavståndets funktion, kallat Danger Point (DP). Detta är en punkt som nödbromskurvan i ETCS (med full övervakning) pekar på och den ligger bortom slutpunkten för en rörelseväg. ERTMS-projekteringskrav säger att ”för varje slutpunkt i System E2, ska ett fast avstånd till nödbromskurvans målpunkt - Danger Point - finnas” (Trafikverket, 2021a). Det finns alltså, i

detta system (E2), ett fast projekterat avstånd bortom slutpunkten som inte är ett skyddsavstånd/en skyddssträcka, utan ett tredje reserverat avstånd.

Till skillnad från skyddsavstånd som kan vara gemensamt för två parallella tågvägar kan inte ett spåravsnitt där DP-avstånd projekteras användas samtidigt som DP-avstånd till parallella rörelser. För att lösa detta problem ska ena tågvägens DP-avstånd projekteras kortare, vilket i sin tur påverkar vilken frisläppningshastighet som tillåts, eftersom kortare DP-avstånd innebär lägre frisläppningshastighet. Projekteringskrav för DP-avstånd från slutpunkt i system E2 är följande:

- Max längd 255m
- DP avstånd \leq skyddssträcka
- DP avstånd \leq skyddsavstånd

Eftersom DP-avståndet inte kan vara längre än skyddsavståndet men kan ändå vara max 255m finns det projekteringsråd att skyddsavstånd kan projekteras längre än vad som finns i krav för skyddsavstånd om det behövs längre DP avstånd för effektivare trafikering (Trafikverket, 2021a).

2.6.3 Minsta krav på retardationsförmåga i System E2

En analys över behovet för tågs bromsprestandareglering i system E2 har utförts av Trafikverket nyligen (2022c). Sådan reglering finns inte i nuläget men det finns skäl att utreda behovet då system E2 innehåller begränsningar som kan påverkas av tågets bromsprestanda. Frågeställningen i analys var att testa om tågen med lägsta bromsprocent (från befintliga bromsprocenttabeller) kan köra med högre STH än det tillåts idag och var gränsen går för största tillåtna hastigheten. De två begränsningar i system E2 som analysen tog i åtanke vid beräkning av STH för tåg med sämsta bromsprestanda var:

- Tåget skall hinna stanna inom 120s i de fall där radiokontakten förloras (broms till stopp vid utlösning av T_NVCONTACT); I detta fall beror stoppsträcka direkt av STH och tågets bromsprestanda.
- Vid aktivering vägskyddsanläggning skall teoretiska väntetiden inte överstiga 150 s (tiden som vägtrafikanter får vänta från vägskyddsaktivering till tågpassage). I ETCS tillåts det tekniskt upp till 200 s för den teoretiska väntetiden men projekteringsriktlinjen för tiden accepterad av vägtrafikanter är max 150 s för STH \leq 140 (A-anläggning). I ATC-systemet kan den teoretiska väntetiden projekteras med val av aktiveringspunkter (spårledning) för igångsättning av

vägskyddsanläggning. Med ETCS beror den teoretiska väntetiden på tågets bromskurva och därför påverkar bromsprocent och STH.

Det vill säga, tågen med låga bromsprocent kan inom system E2 köra med högre STH men hastigheten påverkas av vissa begränsningar i systemet som ställer ytterligare krav på bromprestanda. Analysen över dessa två begränsningar har visat att med en lutning som inte överstiger -15‰ kan godståg och persontåg med minsta bromsprocent 61 ha STH 120 km/h, som är högre än dagens tillåtna STH med 70km/h (på de flesta sträckor med några få undantag, exempelvis Citybanan). Persontåg med bromsprocent 103 får ha STH 200km/h vilket är högre än dagens tillåtna STH (Trafikverket, 2022c).

2.7 Skyddsavstånd och kapacitet

För att förstå hur skyddsavstånd kan vara kopplat till kapacitet är det viktigt att förstå vad kapacitet på järnvägen innebär. Kapacitet kan beskrivas med antal tåg som kan trafikera en viss bandel på en tidsenhet (t.ex. en timme). Att kunna köra längre tåg gör att fler människor/mer gods kan transporteras i varje tåg, vilket också kan mäta kapacitet. Kapacitet beror inte endast på antal tåg per tidsenhet utan snarare på hur effektivt dessa tåg utnyttjar kapaciteten, eftersom även få tåg kan ta upp mycket plats i tidtabellen.

Kapacitetsutnyttjande beror bland annat på infrastrukturutformning. Nya banor höjer kapaciteten men även små åtgärder riktade mot befintlig infrastruktur har visat sig öka kapaciteten.

En av faktorerna inom infrastruktur som påverkar kapaciteten är tågmöten och hur effektiva de är. Tågmöten påverkar kapacitet på enkelspår eftersom bara ett tåg i taget normalt kan trafikera spåret mellan två mötesplatser. Därför är det viktigt med dels hur stort avstånd det är mellan mötesplatser men också hur effektivt dessa möten sker (Trafikverket, 2022b).

Att bromsa mot en 10/15-övervakad eller mot en 40-övervakad slutpunkt borde teoretisk inte ge någon skillnad i kapacitet, bromskurvorna är ju desamma. Den 40-övervakade slutpunkten har också 100 meter längre skyddsavstånd vilket minskar den möjliga spåranvändningen dessutom. Det visar sig dock att körstilen påverkas beroende av frisläppningshastigheten och förare beter sig generellt mer restriktivt vid körning mot en 10/15-övervakad slutpunkt. Det är svårare att parera broms och lossning för långa godståg och rädslan för att tågskyddssystemet skall ingripa leder till en restriktivare körstil som tar längre tid. Lokförarkollektivet och speciellt godstågförarna är därför

inte glada över 10 km/h som frisläppningshastighet. Det kan också ta långt tid att komma igång efter stopp mot en 10-övervakning med ATC (Backman¹⁶).

Två åtgärder på skyddsavstånd som påverkar kapacitet är frisläppningshastighetshöjning för befintliga skyddsavståndslängder eller mindre restriktiva krav på skyddsavståndslängder för befintliga frisläppningshastigheter (40 km/h och 10 km/h). Båda dessa åtgärder höjer kapaciteten på var sitt sätt (ibid).

Kravet på skyddsavstånd gör att om det inte uppfylls på en driftplats blir samtidig infart omöjlig (kräver annars skyddsväxel) och resulterar i tidsfördröjningar vid möte. Det påverkar kapaciteten då tågvägen för första tåget som kommer in på mötesstationen först behöver lösas ut innan mötande tåg får köra in. Detta tar tid då tågvägsutlösningen tar cirka två minuter och det mötande tåget som inväntar på tågvägsutlösningen blockerar utfarten så att tåget som kom in på mötesstationen först kan avgå då det har kört in på driftplatsen. Tidsfördröjningen i dessa möten äter upp kapaciteten i tidtabeller då flera minuter går förlorade (Trafikverket, 2022b).

Abril et al. (2008) analyserade förändringar i kapaciteten då ett nytt uppehåll (vid tågmöte, där tåget vanligtvis endast passerade stationen) för endast ett tåg infördes i en befintlig tidtabell på en linje med ERTMS. Upphållet påverkade både restid och headway-tid. Kapaciteten på linjesektionen där tåguppehållet gjordes minskade från 29 tåg till 14 tåg under samma tidsintervall. Resultatet visar på minskad kapacitet när tåg behöver stanna vid tågmöte.

Ett scenario där alla tåg i homogen trafik behöver stanna vid varje möte resulterar i längre restid och mindre antal resor på samma tidsintervall. Ett tåg börjar minska hastigheten inför stopp redan innan det kör in på stationen, vilket ökar både restiden och gör tåget långsammare. Att ersätta några långsamma tåg med snabba skulle minska antalet möten för alla tåg i tidtabellen och på så sätt minska deras restider. Det vill säga, att tillåta några tåg i detta scenario att köra utan att stanna vid möte (jämför med att ersätta med snabbare tåg) skulle även minska restiden för övriga tåg som behöver stanna och öka kapaciteten då antalet resor per tidsintervall blir större (Harrod, 2009).

Kortare tillåtna skyddsavstånd skulle även ge mer plats på spåret för längre tåg och möjliggöra simultana rörelse för dessa. Att korta ner skyddsavstånd med 40 m innebär plats till en till två vagnar (Backman¹⁷).

¹⁶ Backman, Magnus, Trafikverket Kapacitetscenter, intervju med Mattisson, J., Dyrssen, E. och Backman, M. 2022-05-13

Frisläppningshastighet påverkar kapaciteten och som nämnts tidigare riskerar möten bli långsammare med lägre frisläppningshastighet, på grund av bland annat restriktivare körstill. Låg frisläppningshastighet påverkar främst långa godståg då lokföraren behöver köra i låg hastighet tills sista vagnen har kommit in på ett mötesspår, det kan därför ta lång tid med den lägre hastigheten om tåget är långt. I de fall då ATC-systemet ändå ingriper och stoppar det långa godståget tar det lång tid innan bromsarna lossar (lossningstiden är uppskattningsvis ungefär tre gånger så lång som bromstillställningstiden) så att tåget kan fortsätta köra in på mötesstationen. Dessa händelser påverkar även mötande tåg (Trafikverket, 2022b).

Åtgärder riktade mot skyddsavstånd kan därför påverka kapaciteten positivt genom att antingen tillåta samtidig infart vid kortare skyddsavstånd och/eller att tillåta högre frisläppningshastigheter på befintliga skyddsavstånd, speciellt med 100 m skyddsavstånd.

En plats där skyddsavstånd bedöms vara för restriktiv är Stockholm C där det finns ett stort kapacitetsbehov. En arbetsgrupp för ”Alternativa signaleringsprinciper på Stockholm C” undersökte möjlighet till kortare skyddsavstånd på Stockholm C. Undersökningens resultat beskrivs i Trafikverkets PM Ansats till skyddsavstånd Stockholm C (2017).

Nödbromssträckor för analys i denna undersökning baserades på bromskurvor som används vid ATC (excelark Göran Rönn ”cstbroms4.xlsm”) med banlutningen på noll promille. Antaganden kring vilka längder på skyddsavstånd som är tillräckliga baserades på fall med redan ansatt broms, det vill säga när föraren redan hade påbörjat inbromsningen innan men missbedömt målpunkten. Undersökningens resultat presenterades i form av nödbromskurvor för olika tågtyper, där bromssträckor för tåg med redan ansatta bromsar av kategori ”tåg med sämst broms” (retardation $0,43 \text{ m/s}^2$) var:

- 180 m för inbromsning från 45 km/h till stopp)
- 20 m för inbromsning från 15 km/h till stopp

Tåg utan ansatt broms fick stoppsträcka på 295m vid inbromsningen från 45 km/h till stopp (retardation $0,43 \text{ m/s}^2$ samt tåglängd 500 m). 200 m skyddsavstånd vid ATC-frisläppningshastigheten 40 km/h ansågs av arbetsgruppen att vara tillräckligt baserad på ”empirisk erfarenhet genom en

¹⁷ Backman, Magnus, Trafikverket Kapacitetscenter, intervju med Mattisson, J., Dyrssen, E. och Backman, M. 2022-05-13

mångårig praktisering”, medan skyddsavståndet på 100 m vid 10 km/h frisläppningshastighet bedömdes vara för restriktivt, i alla fall på Stockholm Central. Arbetsgruppen föreslog skyddsavstånd på 25 m då frisläppningshastigheten är 10 km/h (ATC) eller 15 km/h (System E2) vilket bedömdes ha motsvarande skyddsnivå som 200 m skyddsavstånd vid 40 km/h ATC-frisläppningshastighet. För tåg utan ATC föreslogs en maxhastighet på 20 km/h och minst 70 m siktsträcka (Trafikverket, 2017).

3 Skyddsavstånd historiskt

3.1 ”Reglemente för tjänstgöring vid trafiken å statens jernvägar”

Styrningen av järnvägstrafik började med tidtabeller och tågordningen, där tågen fördelades i tid och rum. Det var förutbestämt hur tågen skulle köra in på stationen för ett möte. Med ökande trafik uppstod dock förseningar som visade på behovet att ha någon typ av signalering vid stationsgräns, eftersom förseningar gentemot tidtabellen gjorde det svårt att hålla samma tågordning och utföra planerade tågmöten (Trafikverksskolan, 2021).

Grunden för framtida signaltekniska regelverk blev ”Reglemente för tjänstgöring vid trafiken å statens jernvägar” (1858). I denna fanns bestämmelser för järnvägspersonal, bland annat tågklarare. I kapitel två, som berör ”säkerhet och försiktighetsmått”, beskrivs bland annat att signalering med stoppsignal till nästa tåg ska, vid tågrörelse på huvudspår ske ”i tillräcklig tid”. Tågrörelse och signalering på stationen styrdes på den tiden av personal som följde säkerhet och försiktighetsregler. Även tågmöte beskrivs i Tjänstgöringsreglemente (1858). För att tågmöte ska vara möjligt på en mötesplats ska tåget som kommer till stationsgränsen invänta tills mötande tåget kommer in och stannar helt. Det fanns alltså inte möjlighet till samtidig infart. Det uppdaterade Tjänstgöringsreglementet från 1862 beskriver tågmötesplatsen som en plats där två tåg ska mötas eller passera förbi varandra med krav på att båda tåg ska stanna även om det ena tåget endast ska passera stationen (Welin, 1906). Skyddsavståndet fanns ännu inte och alla tågrörelser var separerade i tid och på så sätt skyddade från kollisioner.

Bland de första fasta reserverade spåravsnitt på stationen fanns det i 1877 års reglemente krav på avstånd från fast signal i stopp, där tåget ska stanna, till yttersta växel på stationen, detta avstånd var då 100 m (ibid). Detta reglemente var en viktig historisk punkt då det, till skillnad från sin föregångare, innehöll de första riktiga trafikreglerna med bland annat uppdelningen i station och linje (Pålsson¹⁸).

En förändring i hur trafiken styrdes på stationer kom år 1890 med införandet av det första mekaniska ställverket. Detta byggde kopplingen mellan växlar och signaler och styrdes av stationspersonalen och växlar kunde nu förreglas i signaler (Forsström, 2021). Den hade även säkerhetsfunktioner som kunde kontrollera tågklararens manövrer. Säkerhetskontrollen bestod bland annat av kontroll att spårväxlar och spårspärrar var i rätt läge, att

¹⁸ Pålsson, Ulf, Trafikverket konsult, intervju 2022-04-01

tågvägen var spärrad för omläggning, och att körbeskedet visats via semafor eller signal. Hinderfrihet kontrollerades fortfarande av personalen (tågklarare eller tågvägsinspektör) (Trafikverksskolan, 2021). Den nya tekniken med mekaniska ställverk med förreglade växlar möjliggjorde högre hastighet på de tågvägar som gick rakt genom växeln. År 1900 kom första ändringen på kravet att tåg skulle stanna vid möte. Det tilläts att endast det ena av tågen behövde stanna vid möte, men bara under vissa förutsättningar och med försiktighet. Det andra tåget kunde passera med lägre hastighet vid möte (Welin, 1906).

3.2 Säkerhets- och signalordningar vid Statens järnvägar

År 1907 utkom första ”Säkerhets- och signalordningar vid Statens järnvägar” (SÄO) vilken ersatte SJ reglemente och innehöll trafikeringsregler på järnvägen. Installationen av det första elektriska ställverket, kallat ”ställar-ställverk”, påbörjades år 1910. Ställverket hade samma principer som mekanisk motsvarighet medan växlar och semaforer fick elmotorer. År 1915 hade det tidigare kravet på avstånd mellan infartssignal och yttersta växel på stationen ökat från 100 m till 200 m (Forsström, 2005).

1906 fastställdes en ny signalordning, där det bland annat föreskrevs att semaforerna skulle visa körsignal med vingarna snett uppåt i stället för snett nedåt. Detta var helt genomfört 1915. Ändringen innebär att semaforvingen faller till stopp vid fel i stället för till kör (Holmgren¹⁹).

Under 1920-talet började elektriska signaler och spårledningar införas. Hinderfrihetskontrollen behövdes nu inte utföras av personalen på stationen (Trafikverksskolan, 2021). I 1923 års SÄO beskrivs samtidig infart på stationer med enkelspår som inte möjligt. Ena tåget skulle komma in på stationen och stanna innan den andra får köra in. Samtidig infart eller utfart åt samma håll tilläts inte. Det tilläts inte heller att ena tåget ska köra in på stationen medan den andra kör ut. Undantagsvis tilläts det samtidig infart då tågvägar var oberoende av varandra eller tryggade mot varandra genom förreglade växlar, det vill säga även i fall med skyddsväxlar om sådana fanns (Statens Järnvägar, 1923).

År 1934 kom det ytterligare undantag som tillät samtidig rörelse på stationen (inklusive samtidig infart). Dessa var särskilda undantag som kunde medges av Kungliga järnvägsstyrelsen. Från och med år 1941 skulle även dessa undantag från styrelsen att dokumenteras i tidtabellsboken för att vara giltiga

¹⁹ Holmgren, Lars, Trafikverket, mejlkonversation 2022-05-15

och från år 1947 även finnas dokumenterade i instruktionen för säkerhetsanläggningen (Statens Järnvägar, 1934, 1941, 1947).

3.3 Första diskussionerna om automatiskt tågskyddssystemet

I artikeln “Hur kan signalanordningar öka trafiksäkerheten?” (Teknisk Tidskrift 1948, häfte 18) nämns, bland olika möjliga lösningar till vid den tiden tidigare järnvägsolyckor, en lösning för att förebygga obehörig stoppassage med diskussion om automatiskt tågstopp. Det hade nämligen noterats sedan tidigare att lokföraren kan missa signaler och köra förbi en signal i stopp. Att tåget ska stanna vid en stoppsignal kontrollerades på den tiden bara av lokföraren och därför kunde den mänskliga faktorn leda till obehöriga stoppassager. En femårsanalys (under 40-talet) visade att lokförare hade under denna tid passerat 16 in- eller utfartssignaler utan att uppmärksamma dessa. Ytterligare 11 övriga signaler med restriktiva körbesked passerades otillåtet. Den enda lösningen under den tidsperioden var att öka personalens uppmärksamhet vilket inte var det säkraste lösningen. Även om dubbelbemanning med lokförarbittråde är ett alternativ bygger detta fortfarande på den mänskliga barriären. Därför föreslogs undersökningen av möjligheten för automatiskt tågstopp där ett system skulle kunna ingripa genom att påbörja inbromsningen vid en viss punkt nära signalen i stopp. Något genomförande av detta system ansågs dock inte vara aktuellt då det endast skulle lösa en liten procent av otillåtna händelser och var inte ekonomiskt lönsamt.

En av den tidens befintliga lösningar för otillåten utrullning på annat tågs tågväg var spårledningssystemet, vilket kunde upptäcka dessa händelser och signalera i tid. Spårledningen kunde visa att ett spåravsnitt var belagt och sätta infartssignalen i stopp. Om inte det skulle vara ett tillräckligt skydd fanns det en annan lösning, nämligen skyddsväxlar förreglade med infartssignalen (Karsberg, 1948).

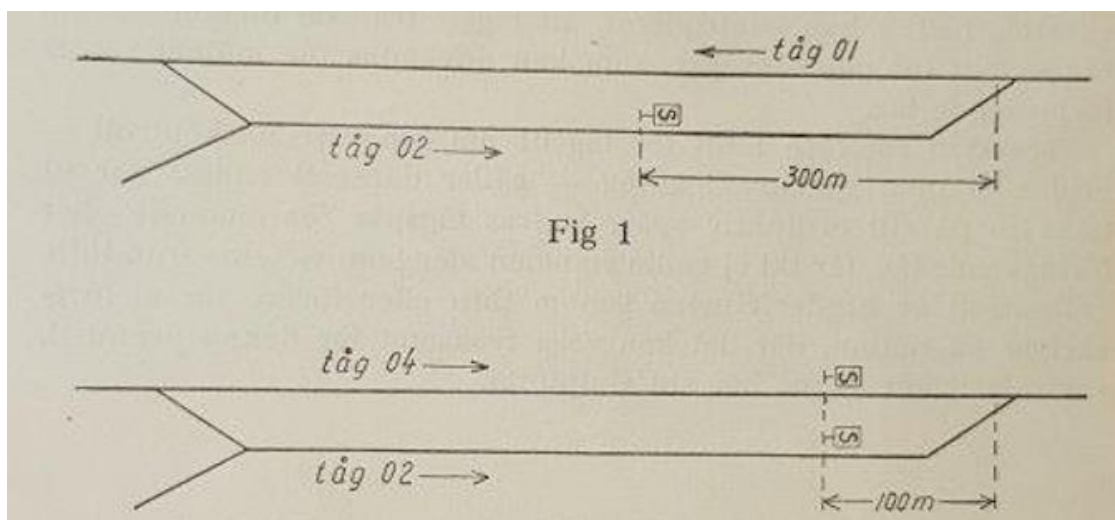
Denna problemanalys visade tidiga idéer på framtida tågskyddssystemet och befintliga skyddsalternativ under 1940-talet med spårledningar och skyddsväxlar. Denna diskussion visar också att historiskt valdes det lösningar som förhindrade misstag hos TKL (genom till exempel ställverk) där satsningen på att förhindra misstag hos lokförare (obehörig stoppassage) inte fick samma fokus (Pålsson²⁰).

²⁰ Pålsson, Ulf, Trafikverket konsult, intervju 04-04-2022

3.4 Första skyddsavståndet

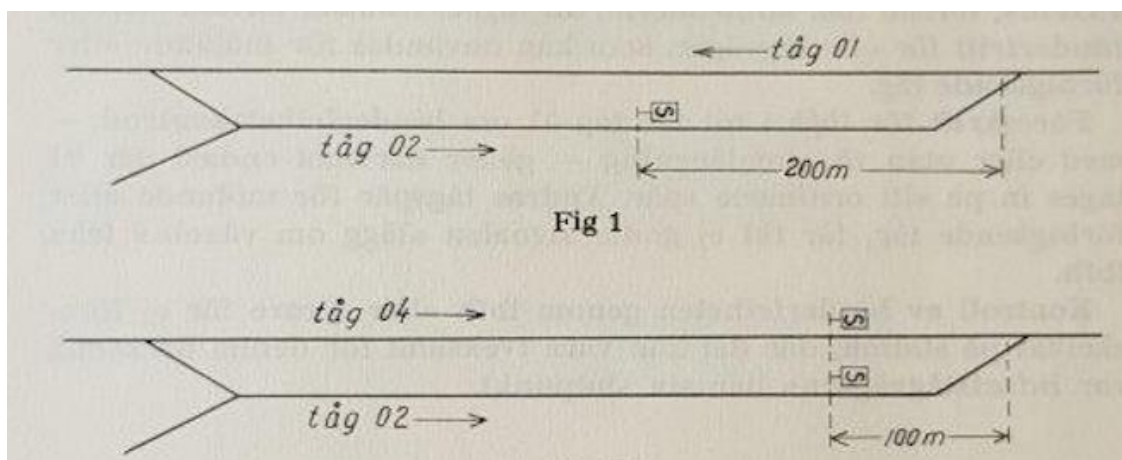
1959 års SÄO visar nya undantag som tillät simultana rörelser på station. Huvudregeln var fortfarande att samtidig infart inte var tillåten på stationen, med undantag då tågvägar var oberoende av varandra eller tryggade mot varandra med förreglade växlar. Detta nya undantag (som möjligtvis kunde finnas även tidigare genom Kungliga Järnvägsstyrelsens undantag) var den första motsvarigheten till skyddsavstånd.

Samtidig infart tilläts då avståndet från ena tågets slutpunkt till punkten där två tåg skulle kunna kollidera var 300 m (om endast ena tåget skulle köra för långt) eller 100 m (om bägge tågen, i samma färdriktning, skulle passera sin respektive slutpunkt) (Statens Järnvägar, 1959). Detta visas i Figur 10.



Figur 10 Första skyddsavståndet i SÄO 1959

År 1963 justerades dessa första skyddsavstånd i SÄO (1959) från 300 m till 200m (Figur 11).



Figur 11 Första skyddsavståndet blir mindre restriktiv

3.5 Införande av automatisk tågstyrning (ATC)

I slutet av 1960-talet började SJ att utveckla den första prototypen för det framtida tågskyddssystemet ATC (Trafikverket, 2020). ATC-systemet projekterades 1978 och de första sträckorna med ATC kom 1980, det var ATC1 (vid tiden enbart kallades ATC, här beskrivet som ATC1 för att skilja de olika versionerna åt) som installerades på SJ's tåg. Tekniken med ATC-frisläppningshastighet liknade den teknik som diskuterades redan på 1940-talet. År 1993 ersatte ATC2 den första versionen ATC1 (Städje, 2008).

Med det nya ATC-systemet blev det möjligt att halvera skyddsavståndet från 200 m till 100 m då det fanns ATC med 10-övervakning. År 1986 publicerades "SJM dokument" (SJ meddelande), som innehåller information om de två nya stationstyper som tillät samtidigt infart. Dessa var ESIK och ESIL med sina 100 m indragna signaler eller stopplykter, vilka utgjorde skyddsavstånd vid samtidig tågrörelse (Statens Järnvägar, 1986).

De skyddade avstånden bortom tågvägens slutpunkt benämndes ursprungligen som skyddssträcka – ett, vid den tiden, samlingsbegrepp för både reserverat spåravsnitt till ett annat fordon i rörelse (idag benämnt skyddsavstånd) och till stillastående fordon/annat objekt (idag benämnt skyddssträcka). Begreppet skyddssträcka nämns först i SÄO år 1987. Skyddssträcka beskrivs då på följande sätt: *"Vid tågrörelse på bevakad station skall det i vissa fall finnas en skyddssträcka bortom tågvägens slutpunkt. Till tåget har stannat skall skyddssträckan hållas fri från hinder i form av annan tågrörelse, pågående växling, stillastående fordon eller fast hinder"* (Statens Järnvägar, 1987).

Begreppet skyddsavstånd finns dock nämnt tidigare (1986), i SJM-dokumentet, vari även de nya ESIK- och ESIL-anläggningarnas 100 m reserverat spåravsnitt efter indragna signal/stopplykta beskrivs som just skyddsavstånd och inte skyddssträcka.

De första skyddsavstånd som beskrevs i SÄO innehåller, till skillnad från moderna regelverk, endast avstånd för tågvägar mot: annan tågväg, växling, fast hinder. Och med slutpunkt för tågväg endast i antingen huvudsignal/stopplykta eller S-tavla. Hastigheter uppdelades i 40 eller >40 km/h. Exempel på hur skyddsavstånd beskrevs i SÄO 1994 (jfr SÄO 1987) visas i Tabell 4.

Tabell 4 SÄO 1994 Skyddssträcka (skyddsavstånd)

Tågväg		Skyddssträcka med avseende på		
Sth	Slutpunkt	annan tågväg	växling, fordon	fast hinder
40	Huvudsignal i "stopp", slutpunktsstopplykta i "stopp", S-tavla med dvärgsignal i "stopp"	200 m *)	0	0
	S-tavla (utan dvärgsignal i "stopp")	200 m	100 m	0
över 40	Huvudsignal i "stopp"	200 m *)	100 m	50 m
	S-tavla	200 m	200 m **)	200 m **)

*) 100 m inom ATC-område
 **) 100 m, om tåget har fast uppehåll

En annan skillnad från dagens krav på skyddsavstånd var gällande hastighet som tilläts med ATC-frisläppningshastighet 10 km/h, vilken beskrivs i SÄO (1994) på följande sätt: *"I de fall som är markerade med *) i tabellen används i regel 10-övervakning i ATC-systemet om skyddssträcka är kortare än 200m"*. I Tabell 4 kan vi avläsa att 100 meters skyddssträcka (skyddsavstånd) med frisläppningshastighet 10 km/h var tillåten för tåg med STH >40 km/h. Dessa gällande hastigheter tilläts också i SÄO år 1996 (Statens Järnvägar, 1994 & 1996).

I dagens regelverk tilläts 100 m skyddsavstånd mot en annan tågväg då gällande optiska signalbesked är 40 km/h med frisläppningshastighet 10 km/h. Orsaken till ändringen med restriktivt körbesked, tidigare nämnt, Tallåsenolyckan 1993.

SÄO, som innehöll all information om skyddsavstånd var egentligen endast trafikeringsregler inom järnväg. 1988 grundades Banverket och den svenska järnvägen fördelades mellan SJ (som tidigare hade allt ansvar inom järnväg) och det nya Banverket. SJ och BV hade då olika ansvarsområde. De första Banverksregelverken hette Banverkets föreskrifter (BVF) och innehöll de första tekniska styrande normerna för signalering. På den tiden saknades dialog mellan Banverket som skrev dessa normer för signalering, och SJ, som fortfarande hade ansvar för trafikledning. Detta ledde till att det förekom avvikelser mellan Banverkets signaleringsnormer och SJ:s trafikeringsregler. År 1996 övergick trafikledningsansvaret från SJ till Banverket, men fram till 2000 använde Banverket fortfarande SJ:s SÄO (Pålsson²¹).

²¹ Pålsson, Ulf, Trafikverket konsult, intervju 04-04-2022

Den historiska utvecklingen av regelverk visar att det från början inte fanns separata tekniska normer för signalering utan dessa fanns som delar i trafikeringsregler (SÄO) eller bestämmelser för personalen inom järnväg (SJ:s reglemente). Det kan tyda på att mycket av den kunskap som fanns hos signalingenjörer inte dokumenterades, vilket gör det svårare att hitta ursprungliga orsaker till förändringar av olika signaleringsprinciper, bland annat skyddsavstånd.

Övergång från SJ till Banverket skulle också kunna vara en orsak till att viss kunskap gick förlorad eftersom den inte var dokumenterad sedan tidigare.

Från de intervjuer vi har genomfört under examensarbetes gång, har vi ofta fått höra att ett gäng ingenjörer på 1990-talet fick i uppgift att samla ihop all kunskap som fanns hos de gamla signalingenjörerna och skriva ner allt på papper. Flera av de som har intervjuats påpekar även att det inte gick att spåra vart just 200 m avstånd kommer ifrån, och att det troligtvis saknas beräkningar som grund till beslutet. Det var troligare baserat på stoppsträckor från bromstester eller kanske erfarenheter från utlandet (Englands 200 yard-avstånd).

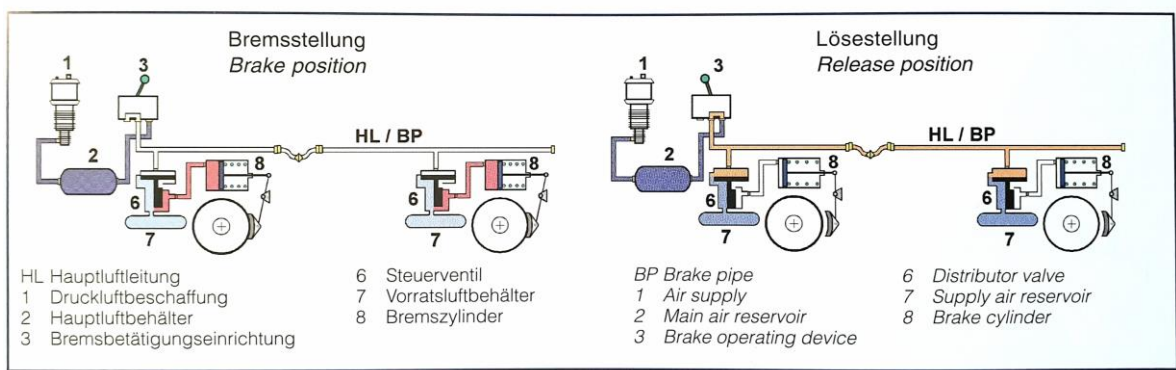
4 Beräkning av stoppsträcka

De viktigaste frågeställningarna i detta arbete är om skyddsavstånden är anpassade till tågens faktiska stoppsträcka, samt om regelverken borde säga något om detta. För att ta reda på hur det ser ut idag behövs en teoretisk modell att göra beräkningar med samt förståelse för vad som påverkar modellen, hur indata är kopplat till olika tekniska system samt hur marginalerna i modellen ser ut, detta för att göra antaganden om ändrade förutsättningar som svarar på frågan om hur behoven av skyddsavstånd kommer se ut i framtiden. Det behöver byggas modeller, antingen med tillgänglig data eller genom att göra antaganden som är rimliga för att beräkna framtida scenarier.

4.1 Huvudbromssystem

För att kunna modellera och beräkna en stoppsträcka för ett tåg i en nödsituation för att göra en bedömning om skyddsavståndet är lämpligt krävs förståelse för hur bromssystemet på fordon är uppbyggt. Bromssystemet är ett säkerhetssystem vilket gör att en rimlig bedömning av vilka bromssystem som bör få vara en del av beräkningen behöver göras. Det system som anses vara säkert är huvudbromssystemet och detta ligger till grund för beräkningarna. Ett förslag på en tillsatsbroms (magnetskenbromsar) kommer dock att diskuteras och användas för beräkningar. En viktig del att förstå och kunna modellera är tillsättningstiden av bromsen. Tillsättningstiden påverkas av olika delar främst beroenden som ges av tåglängden. Kortare tåg påverkas främst av omställningstiden i styrventiler och för längre tåg får tiden för hur snabbt trycksänkningen i huvudledningen kan ske en ökad betydelse. Att extrapolera en tillsättningstid för längre tåg är därför något som måste göras med mycket stor varsamhet då felmarginalerna kan bli stora.

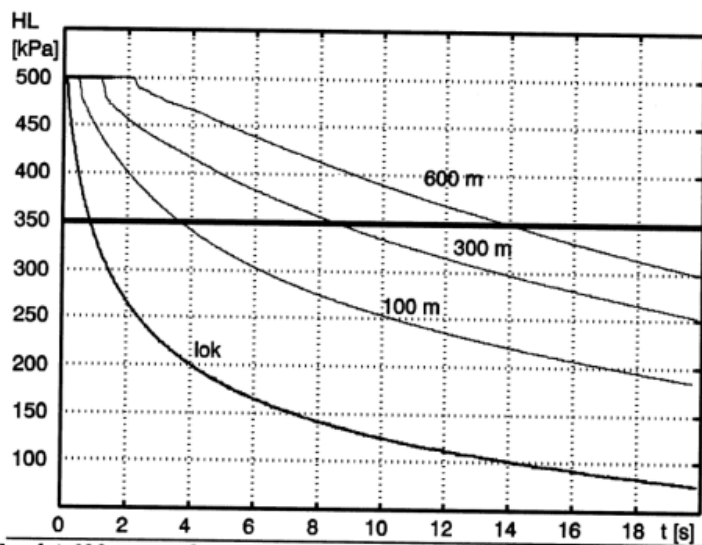
Huvudbromssystemet består av en genomgående luftledning, huvudledningen som i ett rent pneumatiskt system styr bromstillsättningen och lossningen genom en tryckförändring som normalt styrs från förarhytten. Krav på bromssystemet är att det skall vara ett ”indirekt” automatisk system. Detta innebär väldigt enkelt beskrivet att huvudledningen är trycksatt med 500 kPa när bromsen är loss och när bromsen skall sättas till släpps luft ut ur huvudledningen (HL/BP i Figur 12). Skälet till detta är den viktiga säkerhetsmässiga aspekten. Om huvudledningen av något skäl går sönder kommer fordonet automatiskt bromsa (Knorr-Bremse, 2007).



Figur 12 Automatisk broms i loss- och tillsatt läge. Bildkälla: Knorr-Bremes Basics of Brake Technology

Att bromssystemet är uppbyggt på detta vis gör att det sker fördröjningar. Lufttrycket i huvudledningen styrs från förarhytten och släpps även ut längst fram i tåget vid loket. Fördröjningar för att broms skall gå till beror på flera saker (Bergstedt, 2004a) och beskrivs nedan. Dessa sammantagna fördröjningar innefattas i begreppet ”tillsättningsstid” och skall modelleras. Detta fenomen kommer få en stor roll för beräkningarna i detta arbete.

- Inledningsvis skall tryckförändringen fortplanta sig hundratals meter (tågets längd) genom en ledning med en hastighet som är ungefär som ljudets hastighet.
- Ventilerna i bromsutrustningen skall öppna och låta luft passera (där kan olika typer av ventiler ha stor skillnad i karaktäristik).
- Luften skall transporteras ut, vilket går snabbare när tryckskillnaderna är stora men den hastigheten avtar med en minskad tryckskillnad (förändrad tryckgradient) vilket ses i Figur 13.
- Ojämnheter i huvudluftledningen bland annat av kopplingsnävar skapar ökad turbulens i luftflödet. Huvudledningen kan också tillåtas ha olika storlekar på diametern.
- Hastigheten av lufttömningen beror också på hur stor area hålet har där luften släpps ut och detta skiljer sig för en driftbroms och en nödbroms.



Tryck i 600 meters huvudledning vid olika avstånd från lok (nödbroms)

Figur 13 Luftrycket som funktion av tiden i huvudledningen på olika avstånd från loket vid nödbroms. Bildkälla: Bromsning av rälsburna fordon. L. Fehrnlund

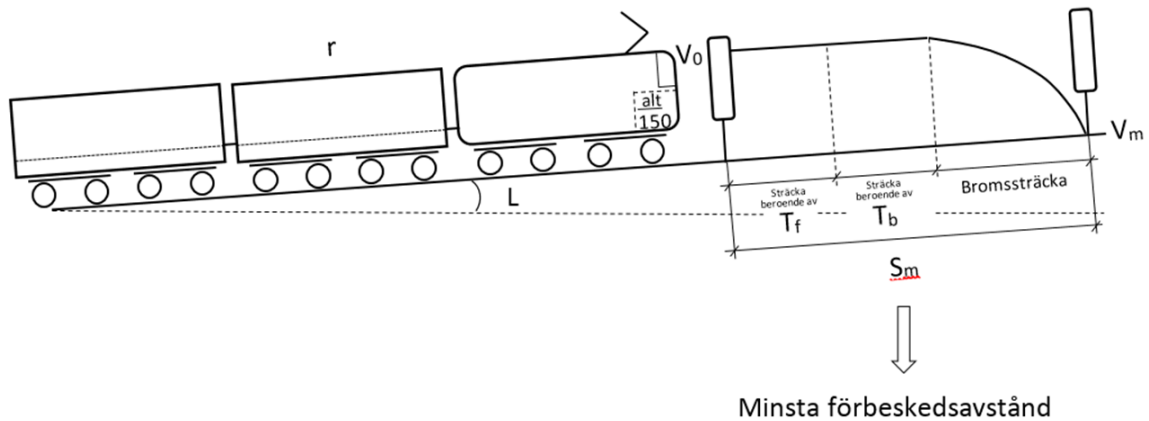
4.2 Modell för att beräkna stoppsträcka

Tåg har mycket långa stoppsträckor, vilket är både dess stora fördel då tåg kan rulla energieffektivt med låg friktion men också dess nackdel när det är dags att stanna (Bårström & Granbom, 2017).

När signalsystemet projekteras görs det med hänsyn till ett dimensionerat förbeskedsavstånd, vilket är ett avstånd som är framräknade utifrån flera olika dimensionerande faktorer och presenteras i tabeller i TRVINFRA-00302 (Trafikverket, 2022d) och som tar hänsyn till lutning L . Detta avstånd kan delas in i tre teoretiska delar baserat på dessa faktorer, se Figur 14.

- T_f , tid för förvarning, vilken multipliceras med utgångshastigheten (v_0). Den tid som lokföraren har på sig att reagera eller utnyttja för att bromsa mjukare.
- T_b , tid för bromsarna att tillsättas, vilken multipliceras med utgångshastigheten (v_0). Tillsättningstiden beror i huvudsak på tåglängden och kommer beskrivas mer utförligt i 4.2.2.
- Bromssträckan, den sträcka som förflyter från när bromsen är tillsatt tills fordonet når sin målpunkt (v_m). Bromssträckans längd styrs i ett teoretiskt normalfall av fordonets retardation (r), banans lutning (L) samt utgångshastighet (v_0).

Detta arbete fokuserar på de två sista punkterna, tågets bromssträcka samt även den del som behandlar sträckan som beror på tillsättningstiden av bromsen (T_b).



Figur 14 Trafikverket, Rapport - Bromsprocenttabeller, övergripande beskrivning, Marika Thalén

Ingående parametrar och värden för att ta fram de dimensionerande förbeskedsavstånden (S_m) beskrivs nedan i Formel 1. Hur dessa förbeskedsavstånd har tagits fram beskrivs eller berörs inte i detta arbete, då detta är en relativt komplex process och ligger utanför arbetet. Grundmodellen skall dock användas för att i steg brytas ner till att anpassas för ändamålet att beräkna stoppsträcka (ej att sammanblandas med bromssträckan, som är en del av stoppsträcka) för ett tåg som nödbromsar. Formel 1 förenklas till Formel 2 då vissa parametrar får givna värden i fallet för ”nödbroms vid slutpunkt, där tåg varken accelererar eller har påbörjad inbromsning”.

Formel 1 Beräkning av minsta förbeskedsavstånd

$$s_m = \frac{v_0^2 - v_m^2}{2\left(\frac{alt}{150}r + \frac{L}{1000}g\right)} + v_0(t_f + t_b)$$

S_m = dimensionerande sträcka (m)

v_0 = utgångshastighet (m/s)

v_m = målhastighet (m/s)

r = retardation (m/s)

L = lutning (‰)

g = jordacceleration, satt till 10 (m/s²)

t_f = förvarningstid (s) tid till bromsengrepp

t_b = tillsättningstid (s) för broms

alt = 150 (fullbromsläge) eller 100 (mjuk övervakning) (kPa)

“alt”

Det värde som används för att uppnå maximal retardation är 150, och även om huvudledningstrycket sänks mer och går mot noll kommer inte bromscylindertrycket att bli högre än motsvarande trycksänkning i huvudledningen på 150 kPa. En större trycksänkning i huvudledningen än 150 kPa påverkar t_b till att bli kortare. Detta samband kommer beskrivas ytterligare. Att alt är 150 innebär att hela den tillgängliga retardationen används.

$$\text{alt} = 150$$

“ v_m ”

Hastigheten står för målhastigheten och den hastighet som är av intresse för målpunkten är noll.

$$v_m = 0$$

“g”

Jordaccelerationen avrundas på samma sätt som ATC gör.

$$g = 10$$

“ t_f ”

Förvarningstiden blir noll eftersom det som är intressant i denna beräkning är när tågskyddssystemet tillsätter bromsen. Mycket korta tider som övervakningssystemet behöver för att reagera kommer att ignoreras.

$$t_f = 0$$

Ovan fastställda givna värden sätts in i Formel 1 och förenklas till Formel 2.

$$s_m = \frac{v_0^2 - 0}{2\left(\frac{150}{1000}r + \frac{L}{1000}10\right)} + v_0(0 + t_b)$$

Formel 2 Förenklad formel för beräkning av stoppsträckan för situation "nödbroms utan acceleration"

$$s_m = \frac{v_0^2}{2\left(r + \frac{L}{100}\right)} + v_0 \cdot t_b$$

4.2.1 Retardation

Retardationen (r) som erhålls av huvudbromssystemet beror på bromsprocenten (λ) som i sin tur är ett förhållande mellan bromsvikten (B) och den ekvivalenta massan (m_e). Bromsvikten är ett tal som är framtaget experimentellt för varje given existerande bromstyp och är enkelt beskrivet med vilken kraft bromsbeläggen ligger an på hjulet/bromsskivan och beskrivs i ton (Knorr-Bremse, 2007). Detta samband är verifierat för hastigheter upp till 200 km/h. Vid hastigheter över 200 km/h behövs andra metoder för att bestämma retardationsförmågan.

Den ekvivalenta massan är tågvikten med tillägg för roterande massor (Andersson, Berg, Stichel, & Casanueva, 2018). Att använda bromsprocent görs av operativa skäl eftersom detta erbjuder ett enkelt sätt att beräkna bromsförmågan hos ett tåg. ATC kräver dock inmatning av retardationsvärde i förarpanelen i lokhytten, samt att fysikaliska beräkningar kräver det. Ombordutrustning i tåg som skall köra på ERTMS-banor finns i olika varianter, de som kräver inmatning med retardation (γ) och de som hanterar bromsprocent (λ) (European Railway Agency, 2018). I Sverige används hittills bara ETCS-utrustningar som kräver inmatning i bromsprocent.

Bromsprocenten (λ) bestäms enligt Formel 3 på följande sätt för tåg:

Formel 3 Beräkning av bromsprocent

$$\lambda = \frac{B}{m_e} \cdot 100$$

λ = Bromsprocent (%)

B = Bromsvikt

m_e = Ekvivalent massa

När bromsprocenten väl är framräknad kan den översättas till retardation, vilket görs enligt tabellvärden (Trafikverket, 2014). Ett samband där retardation är en funktion av bromsprocenten enligt Formel 4 finns men detta är en efterhandskonstruktion som beskriver sambandet och är inte grundsambandet som tabellvärdena kommer från (Trafikverket, 2022d). Den är dock praktisk att använda i detta arbete. Modellen kallas även ”conversion-modellen”.

Formel 4 Omvandling mellan retardation och bromsprocent enligt conversion-modellen

$$r = f(\lambda) = 0,007 \cdot \lambda + 0,075$$

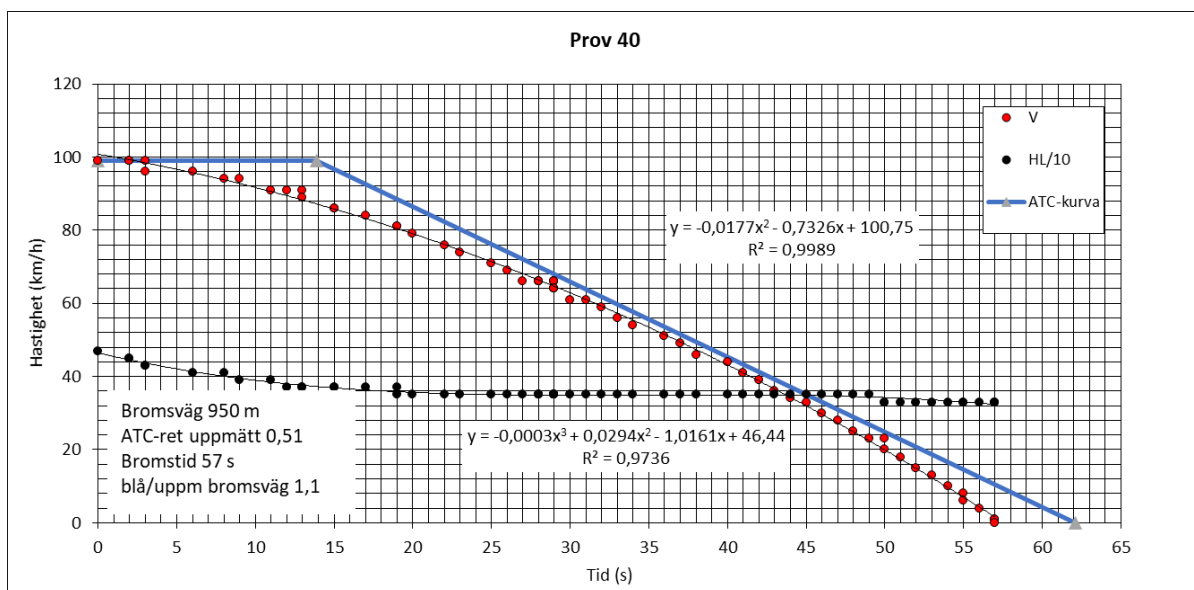
Sambandet fungerar relativt bra men med undantag för mycket låga värden och mycket höga. I bromsprocentintervallet 61 – 112 ligger

översättningsdifferensen gentemot tabellvärden på mindre än $\pm 0,01 \text{ m/s}^2$. Se bilaga i 15.2. Att använda detta samband istället för översättningstabellerna gör analys av data smidigare och kommer därför att användas.

4.2.2 Tillsättningstid

Tillsättningstiden (t_b) för ett tåg som bromsar med ett luftburet huvudbromssystem är främst tåglängdsberoende och tillsättningstiden ökar med ökad tåglängd. Tillsättningstiden definieras som "halva den tid som förflyter mellan det att bromsen på första vagn går till och 95 % av max bromskraft uppnås på sista vagn" (Svenska Järnvägar, 1976).

I enklare teoretiska modeller och i ATC-beräkningar så visas tillsättningstiden som en tid där tåget inte sänker sin hastighet alls, vilket är en teoretisk modellering av verkligheten. I Figur 15 "Prov 40" visas den modellerade ATC-kurvan i blått och faktiskt hastighetssänkning från ett bromstest efter en viss tid med röda punkter. Tillsättningstiden är den vågräta blå delen. Det som kan utläsas i bilden är att det finns en differens mellan faktisk hastighet och teoretisk hastighet.



Figur 15 Bromstest, plottade faktiska händelser och blå sträck för teoretisk beräkning

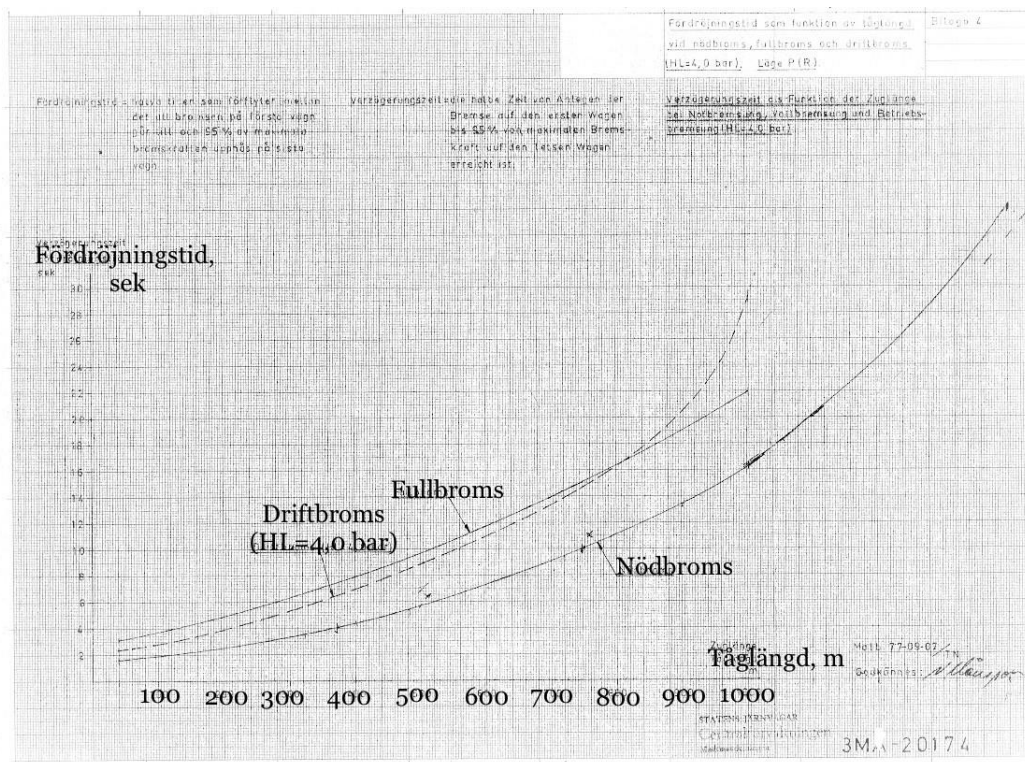
Detta är en förenkling som passar bra för inbromsningar med större hastighetsskillnad men kan ge ganska stora ökade avstånd i beräkningen gentemot i verkligheten beroende på när i tiden det mäts. Det är dock åt det säkrare hållet, under förutsättningar att bromskurvan ges så att de röda punkterna ligger under det blå sträcket. Även om denna beräkningsmodell används för små hastighetsskillnader och för låga hastigheter utgör resultatet

ingen säkerhetsrisk, problemen kommer när ett avstånd skall optimeras och göras så kort som möjligt. Detta kräver mer exakta beräkningar.

Data från “Mätningar av fördröjningstider vid bromsningar i tåg med varierande tåglängder (ATC) gjorda i Sävenäs 19761228 - 29” (1976) används för att beskriva en funktion mellan sambandet tåglängd och tillsättningsstid för fullbroms samt för nödbroms. Data för 50 meter långa tåg samt skärning med y-axeln är adderad uppskattad data vilken är tillagd utöver data från rapporten. Då dessa data är gammal intervjuades ingenjörer på Knorr-Bremse och sambandet för tillsättningsstiderna i Figur 16 diskuterades och verifierades. Även om data som används är gamla är också bromstekniken det och har för det rent pneumatisk huvudbromssystemet inte utvecklats på detta hänseende. Testdata från 70-talet bedöms stämma överens med nutidens bromssystem och kan användas för att bygga simuleringsmodeller (Schneider²²). Modellerna beskrivs matematisk i Figur 17. Ur modellen togs sambandet för nödbromstillsättningsstid (Formel 5) ut.

Formel 5 Formel för översättning från tåglängd (x) till tillsättningsstid för nödbroms

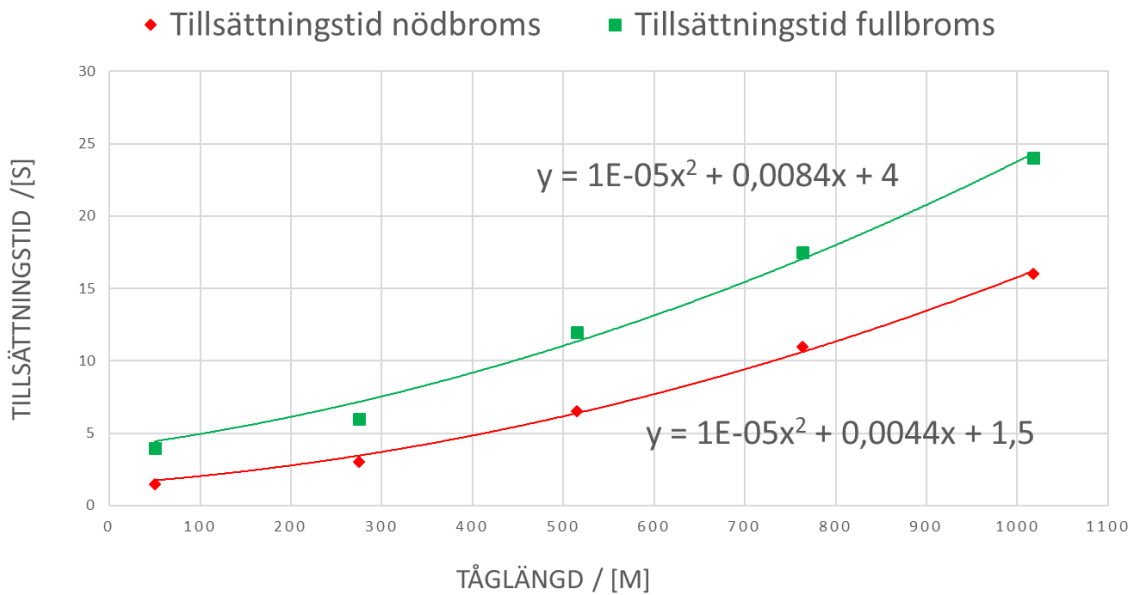
$$t_{bnöd}(x) = 0,00001x^2 + 0,0044x + 1,5$$



Figur 16 Bilaga 4 i Mätningar av fördröjningstid. Mat reg nr 9/77 (Svenska Järnvägar, 1976)

²² Schneider, Stefan, bromsberäkningsingenjör på Knorr-Bremse i München, intervju 2022-03-29

TILLSÄTTNINGSTIDER P/R



Figur 17 Samband byggda på data från ATC-tester på 70-talet

4.2.3 Utgångshastighet

Utgångshastighetens maximum (v_0) kommer i ett normalfall främst bero på vilken övervakningsgrad slutpunkten har. Det finns 40-övervakade signaler/slutpunktstavor i både ATC och ERTMS system samt 10-övervakning i ATC och 15-övervakning i ERTMS. I ATC är överhastigheten begränsad till 9 km/h och i ERTMS är den 4 km/h, detta gäller dock inte i fallet för frisläppningshastighet mot signal i stopp där den är 0 km/h med ERTMS (Trafikverket, 2014). Mer om när överhastigheten för ATC kan utnyttjas kan ses i Figur 2.

Tabell 5 Frisläppningshastighet samt maximal hastighet vid slutpunkt

System	Frisläppningshastighet mot signalen	Maximal hastighet, v_0
ATC	40 km/h	49 km/h
ATC	10 km/h	19 km/h
ERTMS	40 km/h	40 km/h
ERTMS	15 km/h	15 km/h

4.2.4 Minsta krav på retardationsförmåga

Krav på bromsförmåga är en fråga om säkerhet men även om kapacitet. Det finns också fysikaliska minsta krav samt tekniska begränsningar. Fysikaliskt kan vi analysera vår stoppsträcka och dess ingående delar. Nedan rödmarkerade delar i

Formel 2 Förenklad formel för beräkning av stoppsträckan för situation "nödbroms utan acceleration" visar vilka delar i formel som resonemanget bygger på.

$$s_m = \frac{v_0^2}{2(r + \frac{L}{100})} + v_0 \cdot t_b$$

Om nämnaren blir noll (matematisk; går mot noll) blir stoppsträckan oändligt lång vilket inte kan accepteras. Retardationen måste därför vara betydligt större än lutningen i promille delat på hundra, $r \gg L/100$.

Dimensionering av signalsystemet bygger på framtagna förbeskedsavståndstabeller som i sin tur har byggts på retardationstabeller (Trafikverket, 2022d). I dessa tabeller är det lägsta tillåtna värdet $0,43 \text{ m/s}^2$. I bromsprocenttabeller (bromsgrupp P/R) ställs ett krav på bromsprocent om minst 61, vilket kan översättas till en retardation på $0,51 \text{ m/s}^2$. ATC-systemet omfattar giltiga värden på mellan $0,3\text{-}1,5 \text{ m/s}^2$ vilket gör att värden under $0,3$ kommer att ge fellarm om det görs försök att mata in det tågdatat.

I ERTMS där stoppsträckorna beräknas för varje tåg blir det en kapacitetsfråga om för dåligt bromsade tåg finns i systemet, då de kräver en lång reserverad sträcka framför sig. Se delen 2.6.3 "Minsta krav på retardationsförmåga i System E2" för ytterligare begränsningar.

4.3 Marginaler i teori jämfört praktik

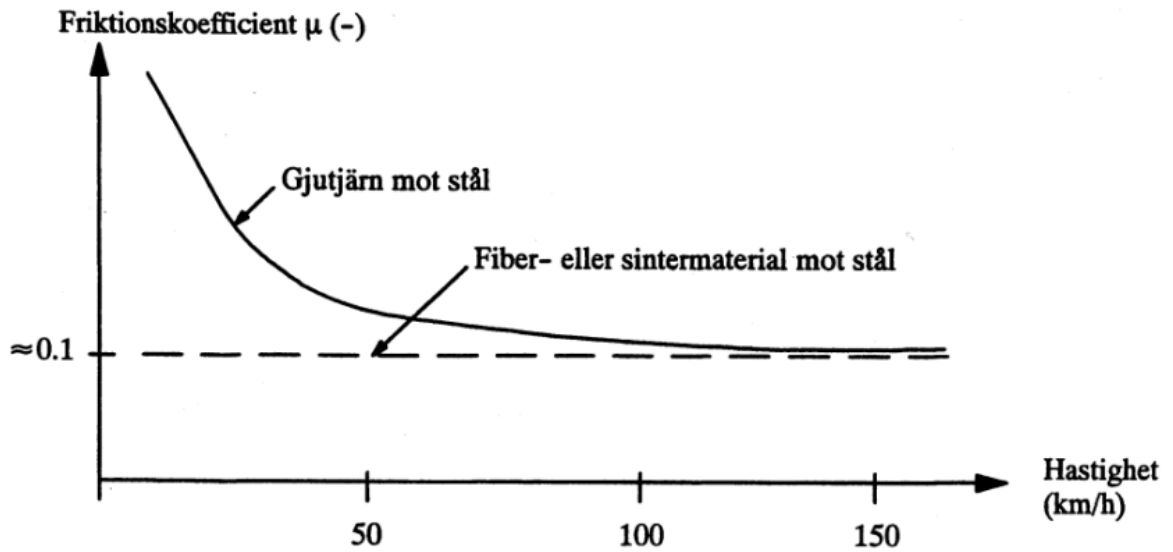
Beräkningsmodeller skall vara enkla och tydliga samt ligga tillräckligt nära sanningen, och för säkerhetssystem så måste den teoretiska modellen alltid ligga på den säkrare sidan. Ekvationen i Formel 6 beskriver den skillnad i stoppsträcka som den teoretiska modellen ger jämfört med den verkliga händelsen. $T(t)$ är den teoretiska modellen uppdelad på två delar, dels den inledande med en tillsättnings-tid (t_b) där tåget inte antas minska i hastighet alls och dels den delen som beror på konstant retardation mellan t_b till tiden för målhastigheten (t_{vm}). $P(t)$ är den faktiska bromskurvan som främst fås från verkliga bromstester eller mer avancerade beräkningsmodeller.

Formel 6 Praktisk bromsvägs-marginal

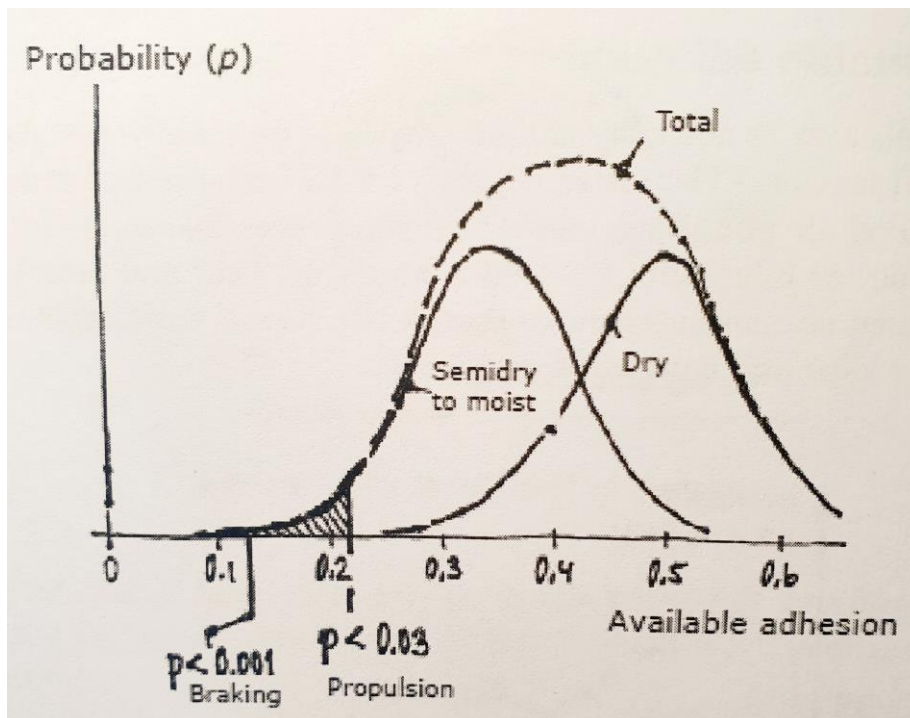
$$\int_0^{t_b} T(t)dt + \int_{t_b}^{t_{vm}} T(t)dt - \int_0^{t_{vm}} P(t)dt = \text{bromsvägs-marginalen}$$

Modellen används för att beräkna tågs möjlighet att kunna stanna till målpunkt eller innan en farlig punkt utifrån bromsförutsättningarna för tåget. Detta kan kallas den praktiska bromsvägsmarginalen. För detta arbete kan modellen användas för att se vilka inneboende marginaler de beräknade stoppsträckorna skulle kunna ha. I teorin är detta enkelt men i praktiken krävs en stor mängd verifierade bromstester då variationen på bromsförmåga är stor samt även beroende av mer slumpmässiga händelser. Dessa kan bland annat vara (Bergstedt, 2004a; Andersson, Berg, Stichel, & Casanueva, 2018):

- Hastigheten. Friktionskoefficienten är hastighetsberoende med ökande friktion för lägre hastigheter. Bromsens anliggande kraft kan alltså generellt överföras i högre grad vid lägre hastigheter.
- Material i bromsblocken. Olika material har olika stora hastighetsberoenden av friktionskoefficienten. Gjutjärnsbromsblock har en mycket starkt ökande friktionskoefficient vid låga hastigheter vilket kan låsa hjulen och öka bromssträckan i och med fordonet glider istället för att rulla. Se Figur 18.
- Typ av bromsar. Skivbroms eller blockbroms, samt eventuella tillsatsbromsar. Skivbromsar som sitter närmare rotationscentrum ”upplever inte” samma hastighet som blockbromsar som ligger an på hjulets löpbana för samma hastighet.
- Adhensionsförhållanden mellan hjul och räl. Väderfaktorer spelar in stort samt även hur ”inkörda” hjul och räl är gentemot varandra. En större kontaktyta ger större möjlighet till bromskraftöverföringen. Detta är oerhört svårt att både förutse och räkna på exakt. Olika tillgänglig adhesion kan variera stort och eftersom bromssystemet är ett säkerhetssystem måste marginalerna vara goda för att även klara sämre förhållanden. Se Figur 19.
- Rullmotstånd samt luftmotstånd. De, framförallt luftmotstånd är försumbara för bromsning i låga hastigheter.



Figur 18 Friktionskoefficienten som funktion av hastigheten för olika bromsblockmaterial. Bildkälla: Bromssystem, Bergstedt (Bergstedt, 2004a).

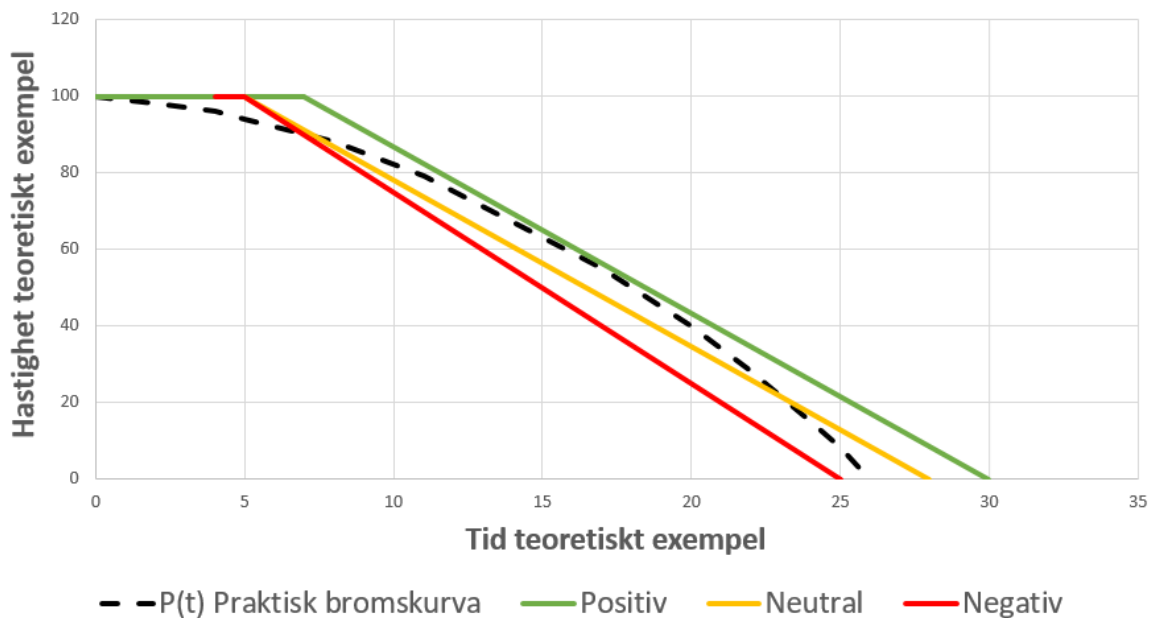


Figur 19 Krav på sannolik tillgänglig adhesion är hög för bromsning. Bildkälla: Rail Systems and Rail vehicles kap 12 (Andersson, Berg, Stichel, & Casanueva, 2018).

Kontentan av beräkningsmetoder är att vid rätt antagna värden skall det finnas en positiv marginal. Detta illustreras genom att visa att om det för en given faktisk uppmätt praktisk bromskurva $P(t)$ används olika tillsättningstider eller retardationsvärden kommer möjligheten att inte passera målpunkten att variera.

I Figur 20 visas den praktiska bromskurvan tillsammans med tre olika val där tillsättningsstid samt retardation har varierats. För ”positiv” är både tillsättningsstiden samt retardation (lutningen på $T(t)$ mellan t_b och t_{vm}) väl avvägd och risken att passera målpunkt består främst av andra faktorer såsom exempelvis extrem halka. För ”neutral” har tillsättningsstiden kortats något och retardationsförmågan klarar precis av att hantera att bromsa tåget till målpunkten, det finns i detta fall inga marginaler mot andra negativa faktorer. Figuren skall illustrera att ekvationen i Formel 6 blir noll, det vill säga att arean mellan linjerna $P(t)$ och ”neutral” precis tar ut varandra. För ”negativ” är även retardationen antagen vara högre än den i själva verket är, tillsammans med en för kort tillsättningsstid, och därför klarar inte tåget av att stanna vid målpunkten. Dessa olika alternativ skall visa på hur viktiga valen av korrekt indata är men även att det finns marginaler i beräkningssättet.

Praktiska bromsvägsmarginaler



Figur 20 Modellen visar på hur olika val av tillsättningsstid och retardation ger olika bromsvägsmarginaler.

5 Baseline – nutidsanalys av skyddsavstånd

Som ett första steg för att kunna göra jämförelser hur olika förändringar påverkar behovet av längd på skyddsavstånd görs en nutidsanalys. Denna nutidsanalys som vidare kallas baseline syftar till att fastställa ett tillstånd som förändringar kan mätas gentemot samt att analysera om skyddsavståndens längd är tillräcklig utifrån ett tågs teoretiska stoppsträcka i en nödsituation idag. Frågan som ställs inledningsvis är om dagens trafik klarar skyddsavstånden samt om det finns goda marginaler. Dessa kan skilja sig utifrån plats, trafikeringstyp samt signalernas frisläppningshastighet och flera olika baselines kommer behöva fastställas.

- Baseline - godståg på Södra stambanan
- Baseline - malmtåg i bromsgrupp G
- Baseline - stor lutning. Persontåg, samt värsta scenario i Citybanan

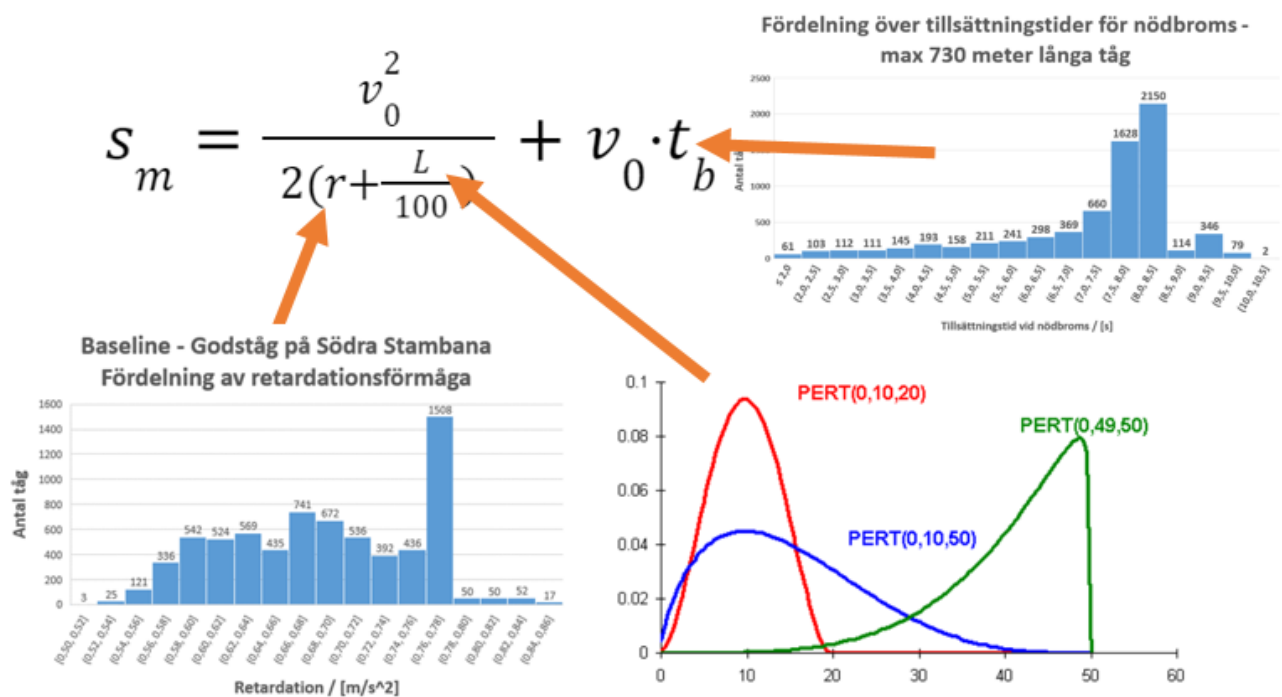
Det kan även se olika ut över tid där exempelvis tåglängden kan variera med konjunkturens upp och nedgångar. En baseline skall därför ses som någon form av färskvara med en viss naturlig variation samt att den förändras över tid på grund av ändrade förutsättningar.

5.1 Metodbeskrivning

Beräkningar har gjorts enligt beskrivning i Figur 21, där bilden teoretiskt visar vilka värden som slumpas in utifrån en given fördelning som antingen är värden tagna ur givna data eller på något sätt antagna värden och för jämförelser i kommande kapitel är dessa manipulerade på ett sätt för att beskriva olika framtida antagna scenarier.

Metoden består i att bestämma vilken grupp av tåg som är begränsande, det vill säga vilken grupp av tåg har den längsta stoppsträckan och göra en baseline för dessa. Detta utesluter normalt de bäst bromsade tågen som normalt är persontåg, men det finns även sträckor där även godståg har helt olika förutsättningar såsom på Malmbana, med sina tunga malmtåg som kör enligt en egen bromsprocenttabell GM eller sträckor där det normalt bara går persontåg såsom Citybanan (Stockholm) och Citytunneln (Malmö). Utläsandet av olika typer av sannolikheter i resultatdelen skall därför inte ses för tågtrafiken totalt utan för det urval för den grupp av sämst bromsade tåg som utgjort baseline. Förutsättningar och antaganden som ligger till grund för beräkningar:

- Simuleringar har gjorts i ett tillägsprogram till Excel, @risk.
- Om inget annat nämns, antas varje simulering vara gjord med 5000 iterationer.
- Tåget antas inte ha någon tillsatt broms eller påbörjad tillsättning av broms. Tåget antas inte ha någon acceleration.
- Om inget annat värde anges för lutning på banan används en Pert-fördelning med minimi värde -15 promille, vanligaste värde 0 promille, samt maximalt värde 5 promille. Detta ger ett medelvärde på -1,67 promille.



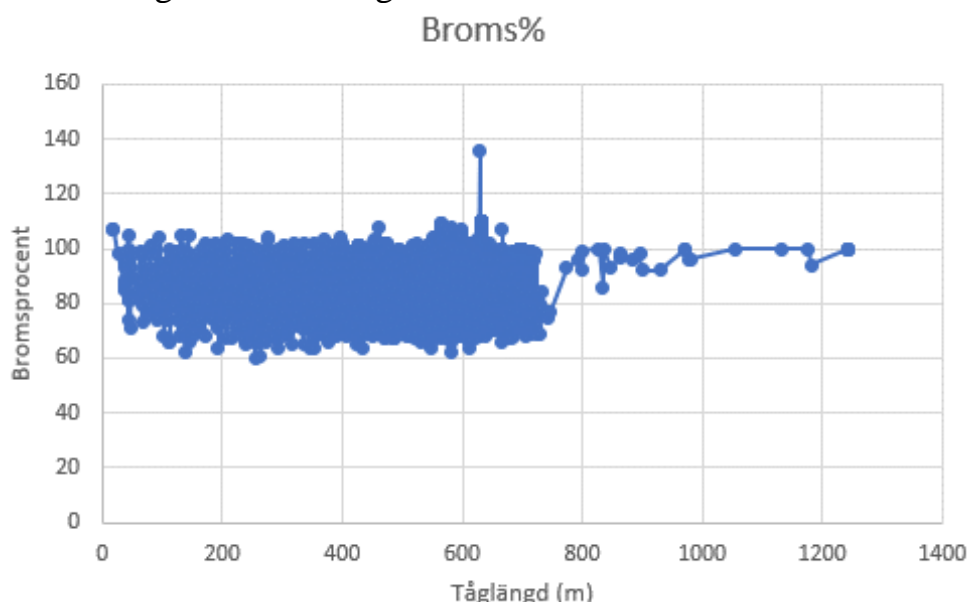
Figur 21 Beskrivning över indata inför simuleringarna. Bildkälla: Pert-fördelningen, modelassist.epixanalytics.com/display/EA/PERT+distribution

5.2 Baseline - godståg på Södra stambanan

Denna analys bygger på en stor mängd insamlad data för faktiskt körda godståg. Data som används består av cirka 7000 godståg körda helt eller delvis på Södra stambanan mellan december 2015 och februari 2017 och är insamlad av Sven-Arvid Eriksson direkt från järnvägsföretagen. Data antas bestå av alla eller nästan alla godståg som trafikerade sträckan under tidsperioden både i nordlig och sydlig riktning. Dessa rådata, levererad i en Excelfil, för bromsprocent och tåglängd har därefter vidare bearbetats till värden som används för beräkningarna. Bromsprocent översätts till retardation och

tåglängd översätts till tillsättningstid. Det som är av intresse i dessa beräkningar är tillsättningstiden för en nödbroms, eftersom den skiljer sig åt från tillsättningstid för fullbroms (som översättningstabeller beskriver och används för inmatning i ATC). Det finns antagna värden, i form av data för loken i de fall som enbart data för vagnarna har levererats från järnvägsföretagen. De antagna tillagda värdena är för ett typiskt RC-lok med bromsvikt 87 och lokvikt 89 ton (ekvivalent massa).

Det finns inget beroende mellan tåglängd och bromsprocent som behöver tas hänsyn till. Ett exempel på beroende skulle kunna vara att ett lok med mycket låg bromsprocent systematiskt drar ett fåtal vagnar. Dessa typer av beroenden ses som mycket osannolika och svaga och kommer helt bortses ifrån, med stöd i Figur 22 där relationen mellan bromsprocent och tåglängd fördelar sig huvudsakligen i en rektangel.



Figur 22 Relationen bromsprocent/tåglängd. Bildkälla: Sven-Arvid Eriksson

Data som sticker ut, det vill säga i det här fallet antingen har en bromsprocent över 120 eller under 61 (undre gränsen för att få köra tåg enligt gällande bromsprocenttabeller (Trafikverket, u.å.e)) kommer att sällas bort, exempel på detta i Figur 23. Tåglängd över 730 meter sällas bort som felaktig data av samma skäl, den maximalt tillåtna tåglängden för tåg i bromsgrupp P/R är idag (juni 2022) 730 meter. Dessa data tillsammans består av cirka 20-30 poster och kan tydligt ses i Figur 22. I denna figur är varje tåg en punkt som är placerad beroende på dessa bromsprocent (y-axeln) samt tåglängd (x-axeln). Tågen klumpar på detta sätt ihop sig i en väl avgränsad rektangel och dessa få punkter som sticker utanför är normalt feldata. Gränserna för denna ”rektangel” består horisontellt av att det finns minsta krav på bromsprocent på 61 samt uppåt är det en mer naturlig gräns av mer praktisk karaktär, tågen kan

bara bromsa upp till en viss nivå. Längden är idag begränsad till maximalt 730 meter långa tåg. I denna figur går det dock inte att skönja någon fördelning eftersom antalet punkter är för stort, detta görs bäst i fördelningsfigurerna Figur 25 samt Figur 27. I simuleringarna kommer därför värden från retardation (bromsprocent) och tillsättningstid (tåglängd) att slumpas helt fritt från varandra.

Vg-vikt	Tot-vikt	Vg-brom	Br-vikt tot	Från stn	Till stn	Broms%	Längd tot
695,3	784,3	389	476	MGB	HRBG	60	255
696	784	388	481	Mgb	Hrbg	61	264
247	336	124	211	MGB	HRBG	62	139
1931	2107	1192	1326	Hrbg	Mgb	62	583
813,9	902,9	494	581	HRBG	MGB	64	193
754	842	476	543	Mgb	Hrbg	64	294
1245,2	1334,2	777	864	HRBG	MGB	64	345
1110,5	1199,5	690	777	HRRG	MGR	64	352

Figur 23 Utdrag av tågdata. Röd markering för exempelvis bromsprocent 60 har sorterats bort.

5.2.1 Retardationsfördelning för godståg

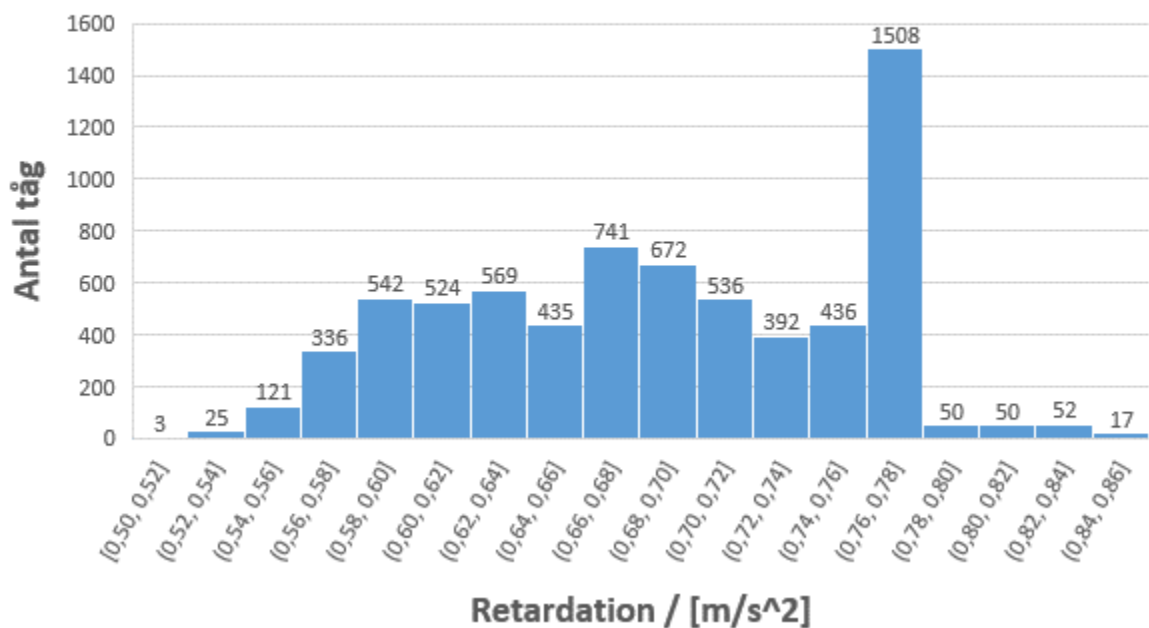
Fördelningen av vilken bromsförmåga tåg har med hänseende på retardation (r) beräknas genom att ta bromsprocenten (λ) och sätta in den i Formel 4:

$$r = f(\lambda) = 0,007 \cdot \lambda + 0,075$$

Bromsprocenten översätts normal via tabellvärden i ATC Anvisningar för ATC ombordsystem (Trafikverket, 2014) till retardation, men för enkelhetens skull används det matematiska sambandet här. Figur 24 visar det histogram med vald stapelbredden om $0,02 \text{ m/s}^2$ för antal tåg med denna retardationsförmåga. Denna fördelning är vidare omvandlad till andelar i Figur 25 som sedan är grunddata för simuleringssporprogrammet att slumpmässigt välja värden från, vilka utläses enklast i Tabell 6.

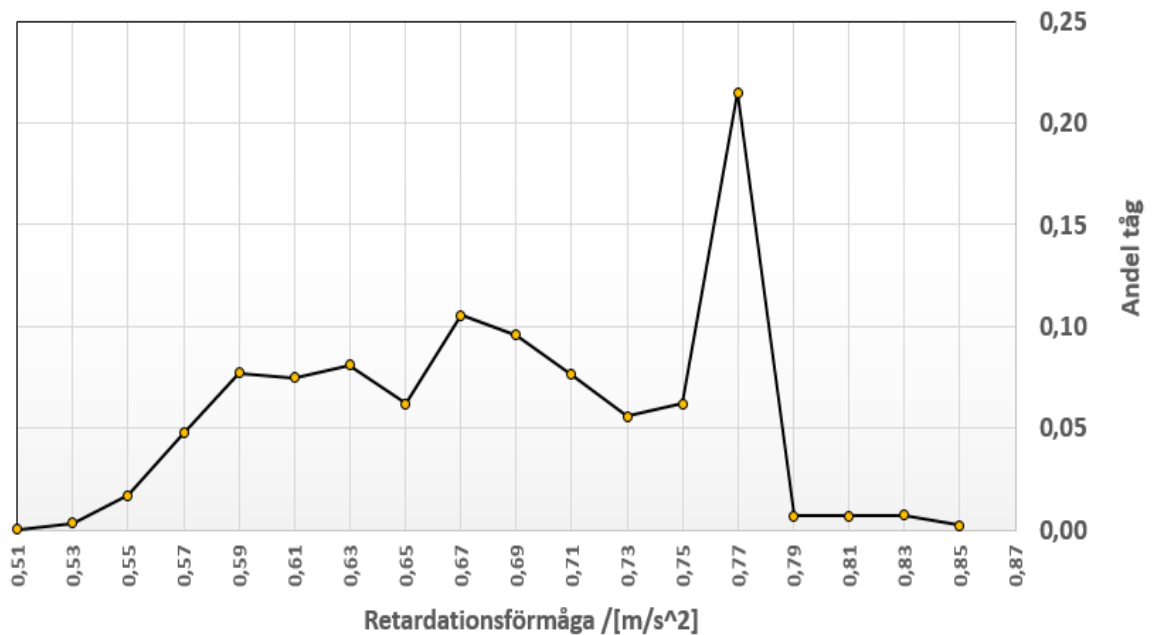
I Figur 24 kan noteras att den högsta stapeln kommer från tåg med bromsprocent exakt 100 (retardationsintervallet $0,76-0,78$). Det kan misstänkas komma från felaktig data men datainsamlaren Sven-Arvid Eriksson förklarar detta; *“Det beror på att det är containertrafik. Vagnarna är utrustade med s.k. lastbromsautomater, vilket betyder att upp till en viss vagnvikt är bromsvikten lika. Containerlasten är mycket sällan tyngre än att vagnvikt = bromsvikt. Totalvikten skiljer sig några entaliga ton från tågets bromsvikt beroende på loktyp. Vid beräkningen av bromsprocent har jag använt AVKORTA(J57/H57*100;0) som betyder att bara heltalsdelen i kvoten blir bromsprocenten precis så som jag tror att förare räknar (om inte reglerna ändrats på sistone). Av dessa anledningar blir det många ”100”.”*

Baseline - Godståg på Södra Stambana Fördelning av retardationsförmåga



Figur 24 Fördelning över tågs retardationsförmåga, antal tåg.

Baseline - Godståg på Södra Stambanan



Figur 25 Fördelning av tågs retardationsförmåga, andel tåg.

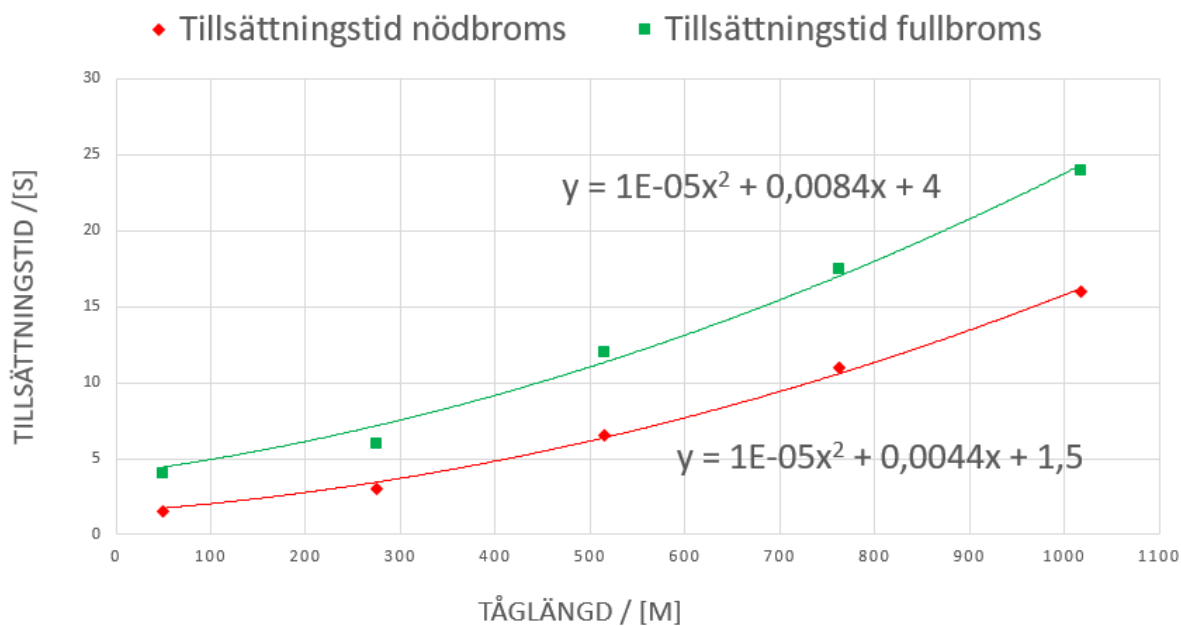
Tabell 6 Tabell över sannolik retardationsförmåga för godståg på Södra stambana

Retardation	Andel
0,51	0,00043
0,53	0,00357
0,55	0,01726
0,57	0,04794
0,59	0,07733
0,61	0,07476
0,63	0,08118
0,65	0,06206
0,67	0,10572
0,69	0,09588
0,71	0,07647
0,73	0,05593
0,75	0,06221
0,77	0,21515
0,79	0,00713
0,81	0,00713
0,83	0,00742
0,85	0,00243

5.2.2 Tillsättningstidsfördelning för godståg

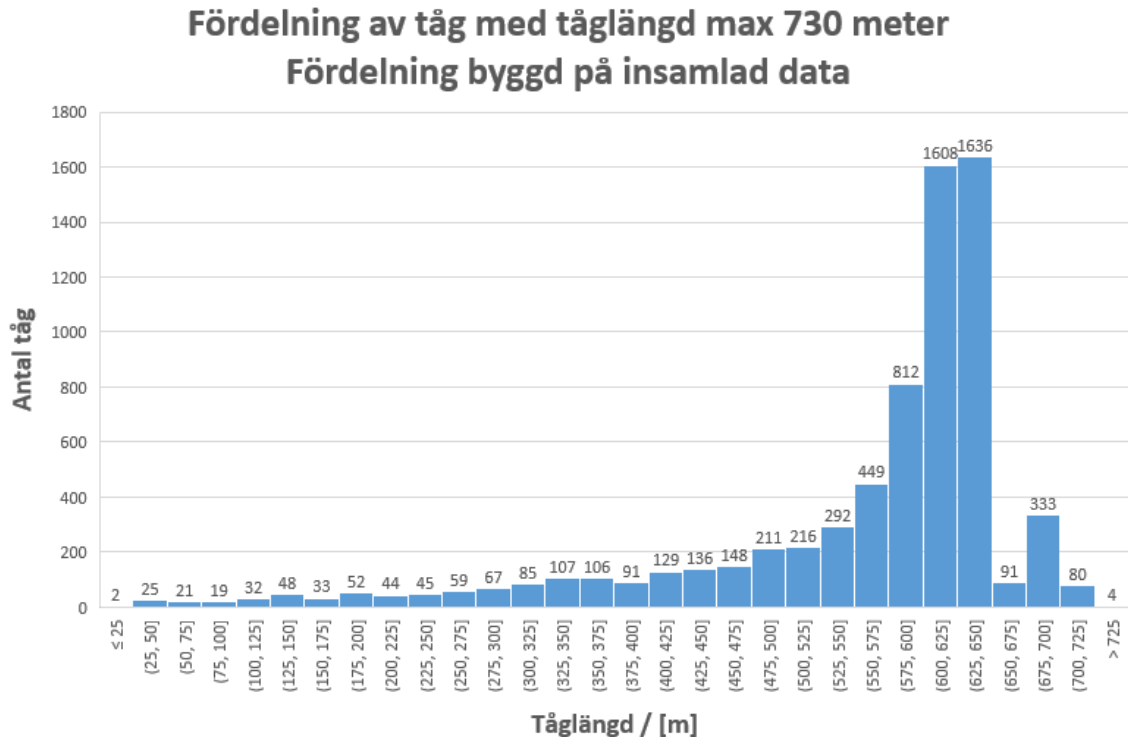
Tillsättningstiden beror generellt på tåglängden och därför översätts tåglängdsfördelning till en nödbromstillsättningstidsfördelning enligt det framtagna sambandet i Figur 26. Det som är av intresse är händelsen nödbroms vilket gör att Formel 5 används ($t_{bnöd} = 1E-05x^2 + 0,0044x + 1,5$).

TILLSÄTTNINGSTIDER P/R

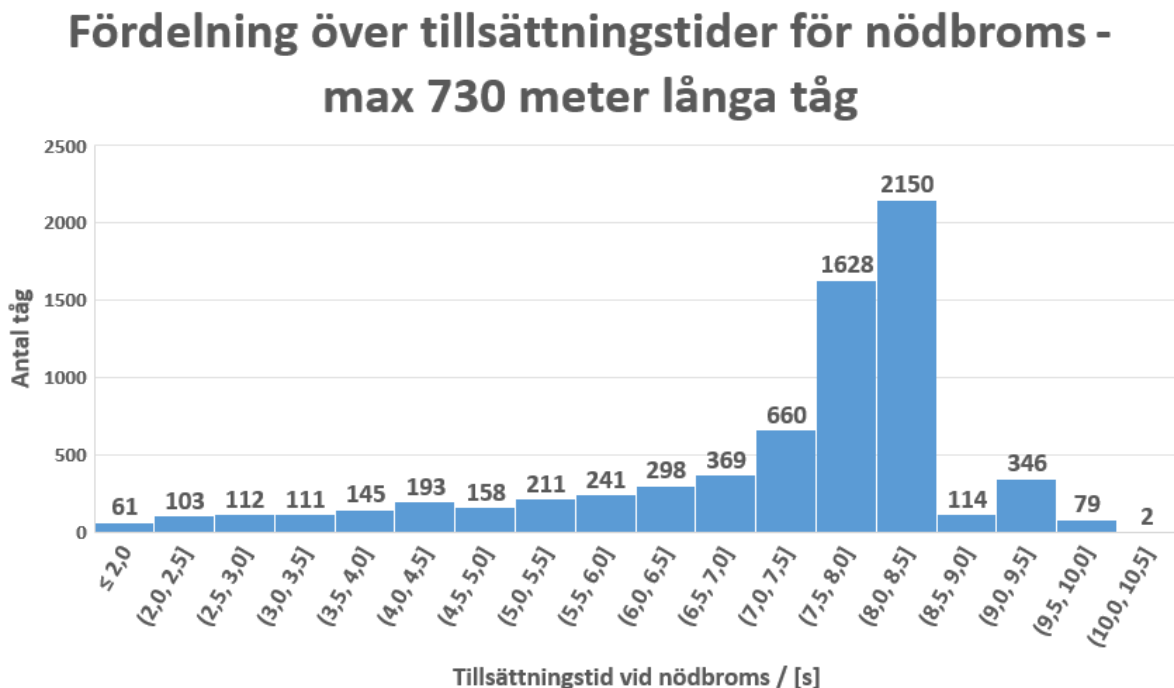


Figur 26 Samband byggda på data från ATC-tester på 70-talet

På samma sätt som för hur fördelningen för retardation togs fram görs sedan en fördelning för tillsättningstiden ur insamlade data. Från dessa data kan utläsas att en majoritet av tågen har en tåglängd runt 600 meter (Figur 27) vilket ger en nödbromstillsättningstid på cirka 8 sekunder (Figur 28).



Figur 27 Data som beskriver faktisk fördelning av tåglängd för godståg



Figur 28 Tåglängden omvandlad till fördelning för nödbromstillsättningstid

5.2.3 Beräkningar – baseline godståg på Södra stambanan

Beräkningar och simuleringar görs enligt den modell som beskrivs i Figur 21 och har indata enligt Tabell 7. Då det finns olika frisläppningshastigheter som är kopplade till hur långt skyddsavståndet är görs två separata beräkningar för dessa.

Tabell 7 Indata baseline godståg Södra stambanan

Godståg Södra stambanan - baseline	
Parameter	Fördelning
Retardation	Diskret fördelning enligt Figur 25
Lutning	Pert(-15;0;5) → (ger medelvärde på -1,67)
Tillsättnings tid	Diskret fördelning enligt Figur 28

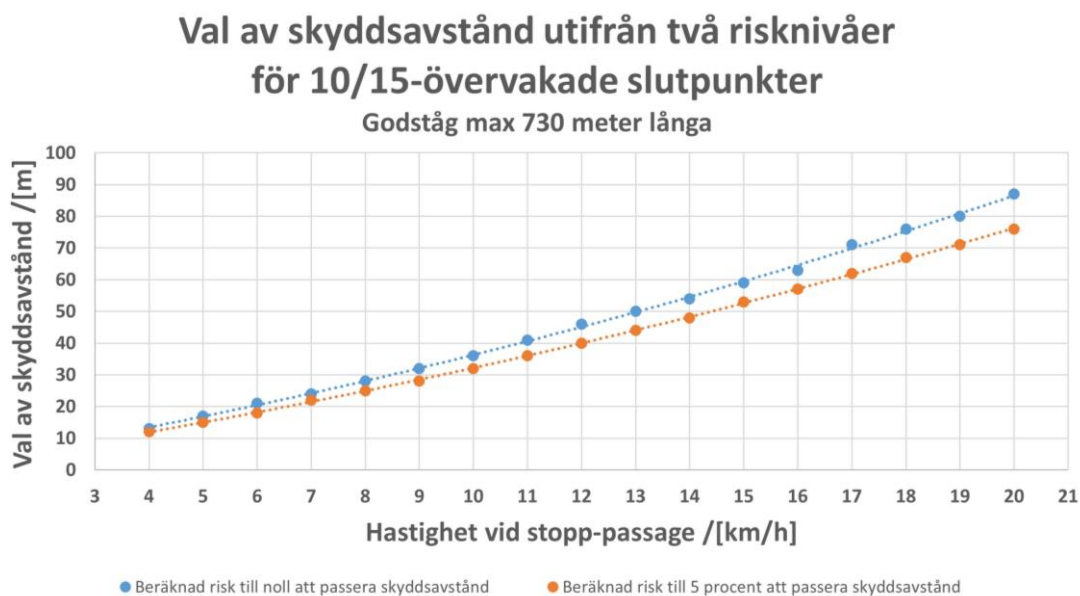
Hastighet vid stoppsignal/stopp-passagen innebär samma sak och är den hastighet som tåget håller när tågskyddssystemet ingriper med en nödbroms på grund av stoppsignalpassagen. Figur 29 beskriver en händelse där tåg kör mot en 40-övervakad slutpunkt resultatet presenteras som en sannolikhet för att tåget skall passera skyddsavståndet. Valet av denna presentationsmodell ligger i att hastigheten kopplat till där sannolikheten ökar ligger runt 40 km/h. Vad resultatet visar är att sannolikheten att tåg skall komma ut i annan ställd tågväg uppstår för hastigheter från och med 37 km/h. Ett tågs teoretiska maximala hastighet är vid punkten 40 km/h för ERTMS-banor samt 49 km/h för ATC-banor. Önskvärt hade varit om denna sannolikhet först hade visat sig strax över 40 km/h.



Figur 29 Baseline – Sannolikhet att stoppsträckan är längre än 200 m

I Figur 30 beskrivs händelsen hur långt ett godståg passerar en stoppsignal för olika lägre hastigheter (mellan 4 och 20 km/h). Valet av denna presentationsmodell beror på att sträckan för 10/15-övervakade slutpunkter för denna typ av tåg är överdimensionerad. Ett tågs teoretiska maximala hastighet är vid punkten 15 km/h för ERTMS-banor samt 19 km/h för ATC-banor. Vid inledande beräkningar som inte framgår här visar att godståg först vid 25 km/h riskerar att passera ett skyddsavstånd på 100 meter.

Beräkningar på två olika risknivåer utförs, dels där den teoretiska modellen säger att risken är noll samt för en risk där fem procent av tågen teoretisk kan passera avståndet. Att även ta med en riskhändelse (som här 5 procent) i beräkningarna motiveras med att de inneboende marginalerna som finns i den teoretiska modellen, speciellt där låga hastigheter modelleras, är stor. För en hastighet på 15 km/h kan ett skyddsavstånd på 60 meter anses vara säkert för platser som trafikeras med ”normala” godståg.



Figur 30 Baseline - hjälptabell för val av skyddsavstånd

5.2.4 Jämförelse av frisläppningshastigheter i ATC och ETCS

Bromssträckor för persontåg har i den tidigare belysta rapporten ”Jämförelse frisläppningshastighet i system ATC och ETCS” visat sig att vara inom befintliga skyddsavståndslängder. Det är just långa godståg och tunga malmtåg som har de längre stoppsträckorna. I rapporten visade sig redan 730 m långa godståg att ha stoppsträckor som vid inbromsningen från 40 km/h är längre än 200 m. Resultat från våra egna beräkningar över stoppsträckor för längre tåg visar att sannolikheten med maximal tåglängd på 730 m att långa godståg att passera 200 m vid inbromsningen från 40 km/h är 10 % medan för 835m och 1000 m långa tåg närmar sig denna sannolikhet 40 % respektive 80

%. Våra beräkningar stämmer överens med resultat från rapporten och visar att 200 m skyddsavstånd inte är tillräckligt redan vid 730 m långa godståg då frisläppningshastigheten är 40 km/h. När det gäller 10/15 km/h övervakningen så visar våra beräkningar att redan 60 m långt skyddsavstånd är tillräckligt för 730 m godståg. Den tidigare nämnda undersökningen fick dock stoppsträckor från 15 km/h till stopp i -10 promilles lutning till ca 69 m. Båda beräkningarna visar att 100 m skyddsavstånd vid 10/15 km/h frisläppningshastighet kan anses vara för restriktivt.

De små som stora skillnader i våra beräkningsresultat i jämförelse med tidigare undersökningar kan bero på flera olika faktorer, som val av tågparametrar för ingångsdata och skillnader i själva beräkningsmodellen, men även andra tekniska faktorer som kan påverka tågs stoppsträcka. Alla dessa beräkningar är teoretiska, och faktiska bromstester skulle kunna visa en bättre bild över olika tågs stoppsträckor. En teoretisk modell kräver dock goda marginaler som täcker in även sämre bromsförhållanden som sällan uppstår.

5.3 Baseline – Malmtåg i bromsgrupp G

Malmtågen körs som homogena tåg (helt lastade eller olastade) med i stort sett samma värden med en så pass liten variation så en simulering blir överflödig. I stället låses värden för retardation och tillsättnings tid, och lutningsförhållanden varieras i tre steg, se Tabell 8. Malmbanans maximala lutning ligger på 11 promille. Malmtågen har en egen översättningstabell för översättning mellan tåglängd till tillsättnings tid samt för bromsprocent till retardation, se bilaga 15.1 Översättningstabell för Malmtåg. Tillsättnings tiden för nödbroms som används är inte helt enkel att bestämma för bromsgrupp G, det landade dock i att värdet som ERA:s bromssimuleringsprogram för ERTMS valdes.

De lastade malmtågen är de dimensionerande, de med den längsta stoppsträckan på Malmbanan Luleå – Narvik (Sista biten innan Narvik är den Norska delen Ofotenbanan och ingår inte arbetet). Som jämförelse beräknas också olastade Malmtåg även om de inte är dimensionerande. Det är dessa tåg som främst planeras för att stanna för tågmöten medan de lastade i den mån det går skall få rulla utan stopp.

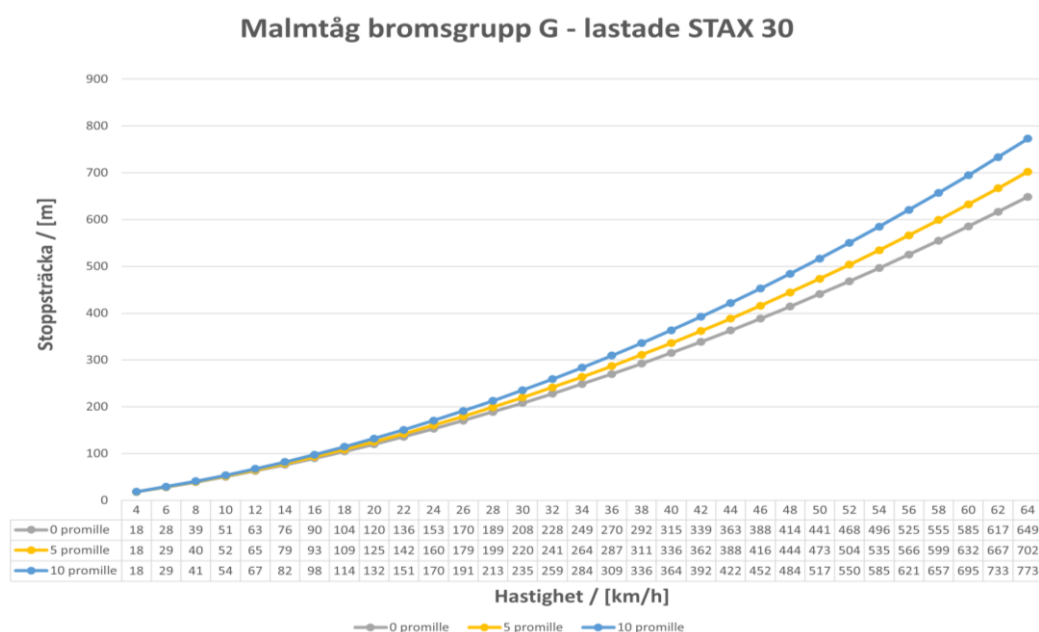
Karaktäristiken på Malmtåg är att de är långa, mycket tunga samt har en bromsventil som ger en extra lång tillsättnings tid. De har alltså värden som alla bidrar till en lång stoppsträcka. Begränsningen i bromsventilen gör att tillsättnings tiden för nödbroms blir betydligt kortare för tåg i bromsgrupp R/P (här finns dock en liten osäkerhet och delvis motstridiga data).

5.3.1 Beräkningar för lastade malmtåg

Malmtåg visade sig ha en mycket lång stoppsträcka vid inledande beräkningar och därför presenteras beräkningarna som stoppsträcka (även kallad ”val av skyddsavstånd” i andra delar av arbetet). Beräkning av stoppsträckan för Malmtåg görs över hela hastighetsspannet, men det som är av intresse är att läsa av hur tåg klarar 10/15-övervakning samt 40-övervakning. Figur 31 presenterar för avläsningens enkelhet stoppsträckans längd i meter under hastigheten för olika negativa lutningsförhållande. Ett lastat malmtåg har en teoretisk stoppsträcka på ca 350 meter vid 40 km/h vilket är 150 meter längre än vad skyddsavståndet medger. För en hastighet under 26 km/h skall avståndet vara tillräckligt. En 10/15-övervakad slutpunkt klaras om tåget håller en hastighet på max 16 km/h, eftersom stoppsträckan blir cirka 100 meter. Differensen som beror på lutning ökar desto högre utgångshastigheten och är relativt liten för låga hastigheter och den borde kunna försummas för hastigheter upp till 20 km/h.

Tabell 8 Indata baseline lastade malmtåg

Malmbana – 750 m lastat tåg	
Parameter	Värde
Retardation	0,41 m/s ²
Lutning	Fasta värden mellan -10 till 0 promille
Tillsättningstid	14,8 sekunder



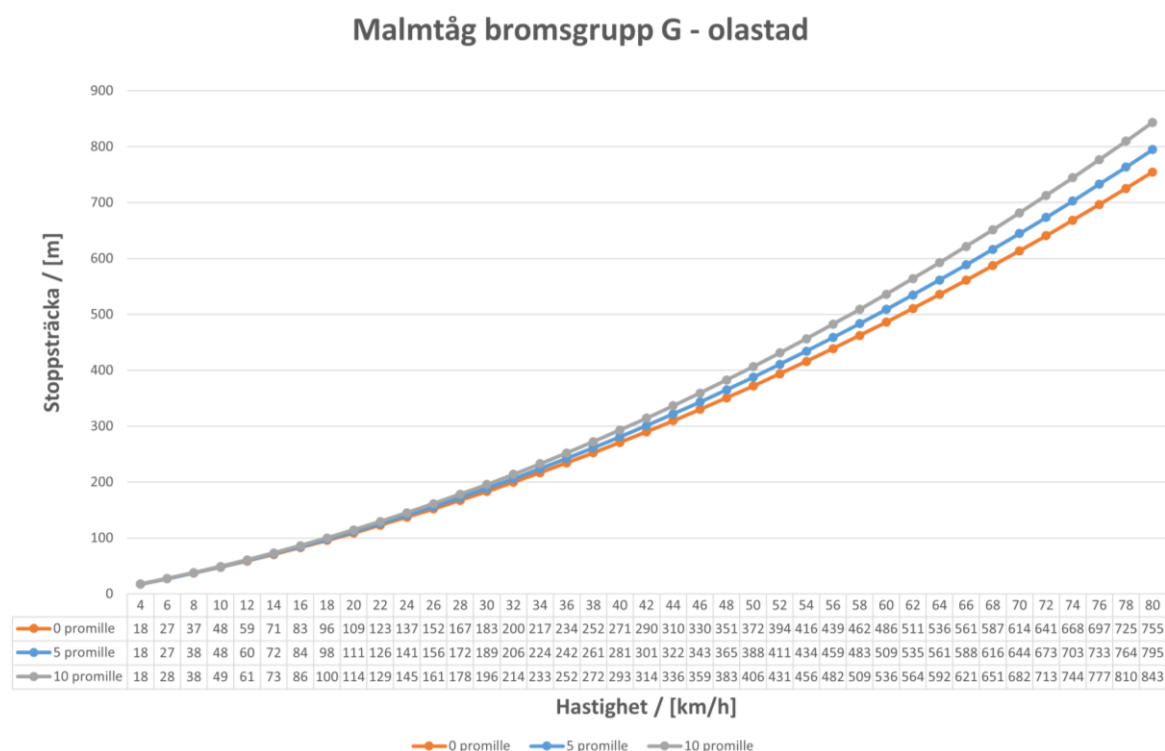
Figur 31 Stoppsträcka för lastade Malmtåg

5.3.2 Beräkningar för olastade malmtåg

Olastade malmtåg beräknas med indata från Tabell 9 på samma sätt som för lastade malmtåg men finns bara med som referens och vidare analys av dessa görs inte. Skälet är att lastade malmtåg är dimensionerande och dessa data för olastade malmtåg blir bara intressanta att titta vidare på i specifika undantagsfall. Generellt klarar inte olastade malmtåg kraven mot 40-övervakade slutpunkter men klarar det mot 10/15-övervakade slutpunkter, se Figur 32.

Tabell 9 Indata baseline olastade malmtåg

Malmbana – 750 m olastat tåg	
Parameter	Värde
Retardation	0,58 m/s ²
Lutning	Fasta värden mellan -10 till 0 promille
Tillsättningstid	14,8 sekunder



Figur 32 Stoppträcka för olastade Malmtåg

5.3.3 Tidigare utredning om skyddsavstånd på Malmbanan

Lastade malmtågens stoppsträckor har i Swecos rapport (2018) visat sig inte uppfylla skyddsavstånd vid 40 km/h frisläppningshastighet. De resultat som Sweco fick fram visade dock att vid noll lutning blev stoppsträckan för malmtåg 229 m som ansågs vara tillräckligt säker trots överstiget skyddsavstånd. Våra beräkningar visar stoppsträcka på lite över 300 m vid inbromsningen från 40 km/h till stopp. Med brantare medlut på banan blir stoppsträckan ännu längre. Frisläppningshastighet på 10/15 km/h gör att skyddsavstånd uppfylls både i Swecos undersökning och i våra beräkningar oavsett banlutningen inom de verkliga förhållandena som råder på Malmbanan.

5.4 Baseline - stor lutning på banan

Inne i städer går det normalt inte längre att dra järnväg ovan jord och då ställs valet mellan att dra spåren utanför staden eller under jord i tunnlar. Olika val har gjorts på olika platser och det som ofta blir ett resultat av att bygga tunnlar är att det kräver en stor lutning. Det som anses vara en stor lutning på järnväg är ofta runt 10-15 promille och 25 promille har länge varit maximal lutning som exempelvis förbeskedsavståndstabeller i TRVINFRA-00302 (Trafikverket, 2022d) länge varit dimensionerade för.

5.4.1 Citybanan – exempel på järnväg med kraftig lutning

På Citybanan i Stockholm är lutningen maximalt 31 promille. Citybanan har behövt anpassningar och en egen bromsprocenttabell "Citybanan" (Trafikverket, u.å.e) och den får enbart trafikeras av persontåg. Godstågstrafik kräver dispens (Trafikverket, 2021c).

En stor skillnad gentemot andra gällande bromsprocenttabeller för tåg i bromsgrupp P/R är att minimikravet på bromsprocent är högre. Normalt är detta 61, men i Citybanan är det 80, vilket motsvarar en retardation på $0,64 \text{ m/s}^2$, se Figur 33. Tågtrafiken som är homogen (X60B) på grund av specificerade krav bland annat på hur stationsutformningen är med plattformsavskiljande dörrar gör att bromsförmågan normalt är mycket större. Den kan dock trafikeras av andra tåg och ur en kapacitetssynpunkt kan omledningar behöva ske, dessa är dock också begränsade då fordons förmåga att kunna starta i stark lutning även måste kunna tillgodoses. Posttåget anges exempelvis ha en sådan dispens att trafikera Citybana (Trafikverket, 2019b).

Bromsprocenttabell Citybanan (Gäller bromsgrupp P och R)

Tillgänglig bromsprocent	Tåglängd (m) (För tåg med EP-broms används värdena för tåglängd upp till 100 m, oavsett den verkliga tåglängden.)						
	– 100	101 – 200	201 – 300	301 – 400	401 – 500	501 – 600	601- 730
	medger sth (km/h)						
80 – 81	50	50	50	40	-	-	-
82 – 84	50	50	50	50	50	-	-
85 – 87	50	50	50	50	50	40	-
88 – 89	60	60	60	50	50	40	-
90	60	60	60	60	50	50	-
91	60	60	60	60	60	50	-
92 – 93	70	70	70	60	60	50	-
94	70	70	70	70	60	50	-

Figur 33 Utdrag ur bromsprocenttabell Citybana, Stockholms linjebok

Beräkningar på behov av skyddsavstånd kan göras utifrån olika principer. En ”baseline” över normal trafik i Citybanan skulle innebära beräkningar som byggde på väl bromsade motorvagnar (retardation $1,12 \text{ m/s}^2$). Även ”värsta tänkbara fall” är intressant att undersöka, det vill säga sämst bromsade tågsätt i lutningen -31 promille.

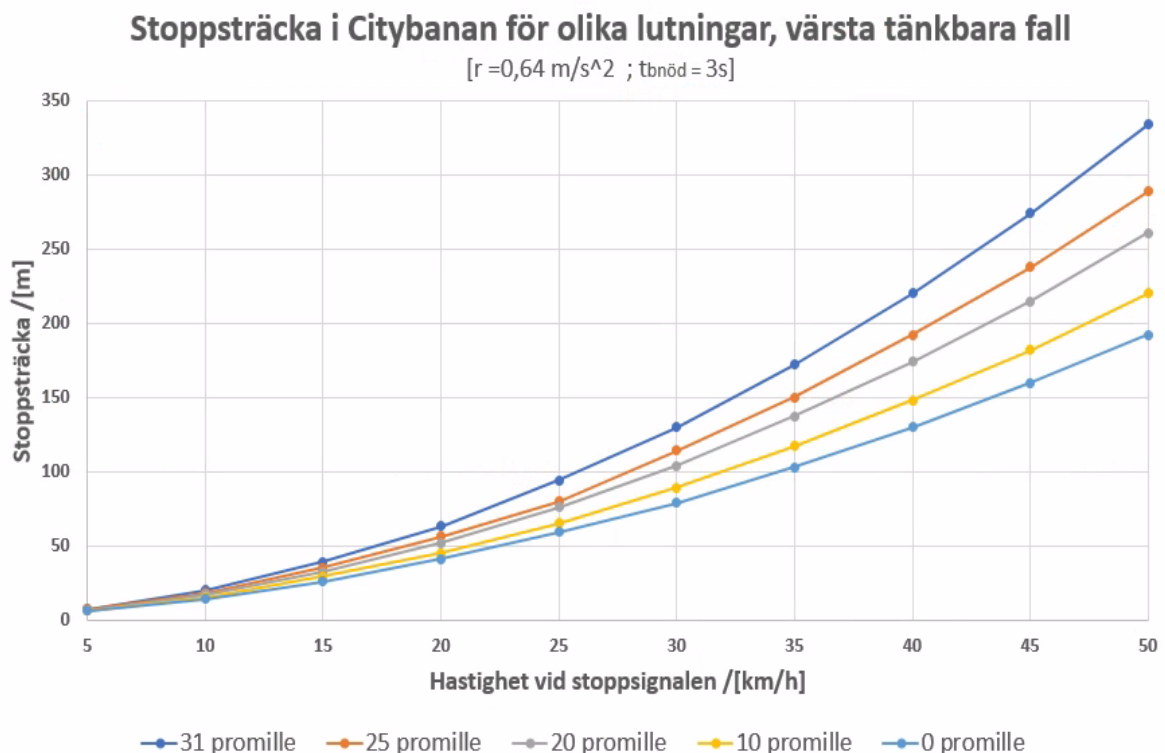
5.4.2 Beräkningar för värsta fallet på Citybanan

I Tabell 10 anges indata för beräkningar för det värsta fallet, noterat är att tillsättnings tiden är kort då långa lokdragna tåg inte antas kunna trafikera sträckan på grund av problemet att kunna starta i en uppförsbacke som är så pass brant. En begränsning av vikten innebär inte att tåget måste vara kortare, men antagandet att bromsprocenten stiger om tåget är långt och lätt görs för att kompensera detta något korta värde för tillsättnings tid.

Tabell 10 Indata baseline Citybanan värsta tänkbara fall

Citybanan – värsta tänkbara fall	
Parameter	Värde
Retardation	0,64 m/s^2
Lutning	Fasta värden mellan -31 till 0 promille
Tillsättnings tid	3 sekunder

I Figur 34 ses att lutningen får en stor betydelse. Lutningens betydelse blir större om tågets retardation är lägre eftersom den procentuella delen som lutningsförhållandet när det är negativt (och stort) drar ifrån av retardationen blir större. Lutningen får större påverkan på stoppsträckan om retardationen är lägre. Detta är en av förklaringarna till varför det är högre krav på retardation i Citybanan än på andra platser. Resultatet visar att skyddsavstånden på 200 meter inte räcker till för kombinationen: en maximal lutning, sämsta tänkbara tågkombination och en hastighet på 40 km/h. Det ger en teoretisk stoppsträcka på cirka 220 meter, det vill säga längre än skyddssträckan på 200 meter.



Figur 34 Stoppsträcka för olika lutningar, sämsta tåget som får trafikera Citybanan

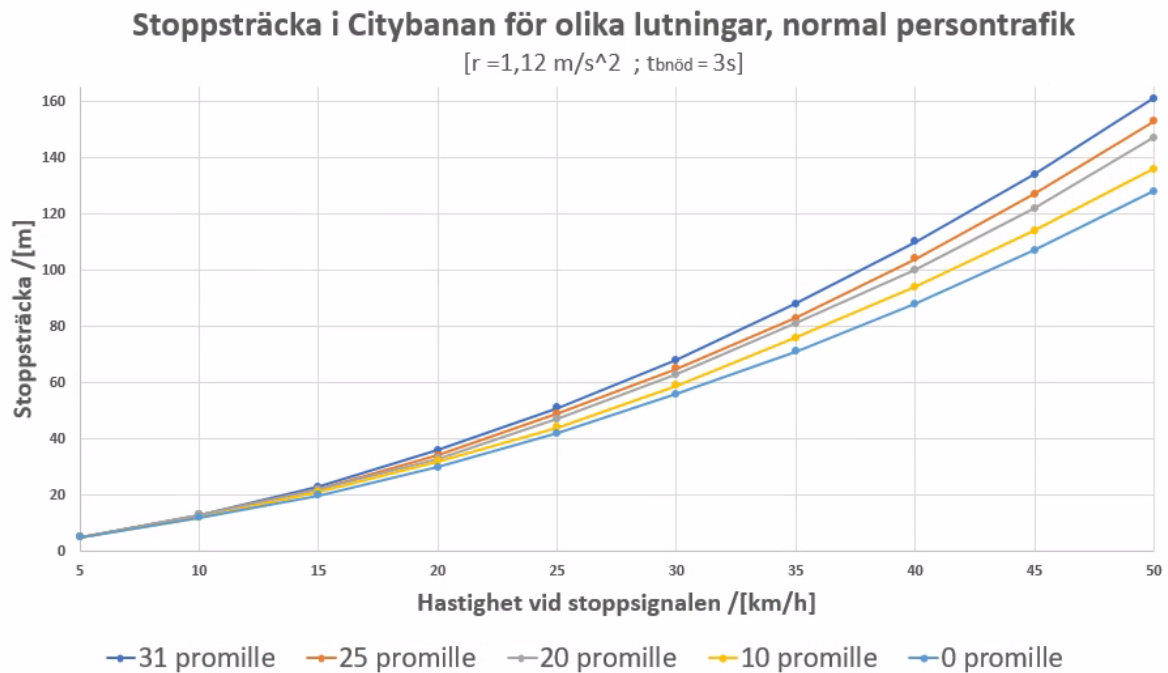
5.4.3 Beräkningar för normal persontrafik på Citybanan

I Tabell 11 anges indata för den normala trafiken som körs på Citybanan. Att observera är att dessa tåg exempelvis kan ha avstänga bromsar som sänker den tillgängliga retardation, då data samt frekvens för den typen av händelse saknas förenklas beräkningen till idealfallet.

I Figur 35 kan utläsas att marginalerna för att kunna stanna inom skyddsavstånden oberoende av frisläppningshastigheterna är mycket stora. Från 15 km/h stannar tåget på cirka 20 meter samt från 40 km/h stannar tågen på cirka 90 - 110 meter beroende på lutning.

Tabell 11 Indata baseline Citybanan normal persontrafik

Citybanan – normal persontrafik	
Parameter	Värde
Retardation	1,12 m/s ²
Lutning	Fasta värden mellan -31 till 0 promille
Tillsättnings tid	3 sekunder



Figur 35 Stoppträcka för olika lutningar, normal persontrafik på Citybanan

6 Skyddsavstånd när maximal längd på tåg ändras

En förändrad tåglängd ger en ändrad tillsättningsstid vilket leder till att stoppsträckan för tåget påverkas. Stoppsträckan bör inte vara längre än skyddsavståndet och detta skall kontrolleras för några typer av ändringar som påverkar tillsättningsstiden.

2019 fick Trafikverket uppdraget att redovisa arbetet i planering för trafikering av längre och tyngre tåg i befintlig infrastruktur. Trafikverket beskriver i sin rapport från 2020 åtgärder som kan genomföras i befintligt järnvägsnät för att anpassa denna för trafikering med en annan typ av godstrafik (längre tåg, tyngre tåg och större tåg). För att kunna trafikera järnvägen med längre och tyngre tåg, förutom åtgärder i infrastruktur behövs det även nya bromsprocenttabeller då den befintliga tabellen endast täcker tåglängder upp till 730 m (Trafikverket, 2020c). Översättningstabellen för tillsättningsstid behöver förlängas (samt förfinas).

För att undersöka vilka åtgärder som behövs för trafikering med längre tåg finns det först ett behov att definiera vilka sträckor som kommer att trafikeras av längre tåg och vilka av dessa som redan idag kan trafikera med tåglängderna i fråga, utan nya åtgärder. Ett järnvägsnät som utpekades i projektet LTS-tåg berör tåglängder upp till 750 m och omfattar inte hela Sveriges järnvägsnät. Ett undantag är en enskild sträcka som undersökt för trafikering av tåg upp till 835 m. Denna sträcka är Malmö godsbangård – Peberholm – Danmark som eventuellt skulle kunna vara godssträcka mot Hamburg. Tåglängder på majoriteten av järnvägssträckor är idag 630 m av praktiska skäl, dock finns det undantag där det redan idag är möjligt att trafikera med 730 m (vissa delar av Södra stambana) och 750 m (Malmbanan) långa tåg (sett ur perspektivet med olika begränsande faktorer) (Trafikverket, 2020c). Idag begränsas tåglängder sett ur ett trafikregelmässigt perspektiv till 730 meter för P/R-bromsade tåg samt till 880 meter för G-bromsade tåg (Trafikverket, 2016a). För att tillåta att längre tåg trafikera det berörda järnvägsnätet behövs det anpassningar i främst tre områden:

- (1) Längder på förbigångsspår och mötesplatser
- (2) Signaltekniska anläggningar
- (3) Bromsprocenttabeller

En del driftplatser som behöver förlängas utpekades i Trafikverkets rapport för anpassning för trafikering med längre tåg. Vissa av de utpekade områdena är

lämpade för ombyggnadsstart i nära framtid, som till exempel Hallsberg, andra behöver längre tid för planering.

När det gäller åtgärder i signaltekniska anläggningar som skulle tillåta trafikering med längre tåg så är det enda kravet att de ska uppfylla vissa gällande projekteringsregler. Nya bromsprocenttabeller som inkluderar längre tåg skapades utifrån befintliga regelverk för ATC-projektering. Alltså kan befintliga signalanläggningar som är projekterade enligt dagens projekteringsregler användas för trafikering med längre tåg. Dock är många anläggningar projekterade enligt äldre regelverk som var mindre restriktiva. Dessa behöver därför åtgärdas och bli mer restriktiva. De vanligaste ”felen” som behöver åtgärdas är:

- Kodningen för lutningar är mindre restriktiv och avviker från dagens ATC lutningskodtabeller
- Krav på förbeskedsavstånd är mindre restriktiva och uppfyller inte krav i gällande regelverk
- Det saknas projekterad reducerad målhastighet mot grenspår i en växel med lägre hastighet (Trafikverket, 2020c).

Med en ökad tåglängd kommer tillsättningstiden öka vilket ger en längre stoppsträcka för tåg. Denna fråga hanteras i stort genom att nya beräkningar görs, exempelvis nya samt uppdaterade bromsprocenttabeller för att säkerställa att tåg kan stanna vid sin slutpunkt. Frågan om vad som händer vid en avvikelse, en OSPA, behöver också hanteras vilket detta arbete fokuserar på. De skyddsavstånd (historiskt benämns på olika vis) som funnits tidigare och fungerat väl under vissa förutsättningar kanske med en förändrad trafik inte längre är tillräckligt säkra. För att inte riskera att bygga in ökade risker måste detta undersökas. Med en ökad tåglängd uppkommer behovet att utveckla ”tågförkortande teknik” ur ett bromshänseende där inte tillsättningstiden helt beror på tåglängden som för exempelvis elektorpneumatisk tillsats och liknande eller delvis som med end of train device.

6.1 Längre tåg, längre stoppsträckor

Att köra längre tåg kommer, om samma pneumatiska system används, att ge längre stoppsträckor. Denna del gör antaganden om fördelningar som ges för olika maximala tåglängder och räknar på behovet av utformning av skyddsavstånd utifrån dessa. För att utföra beräkningar behövs en fördelning över hur tåglängdfördelningen antas se ut vid för framtida tåglängsökningar.

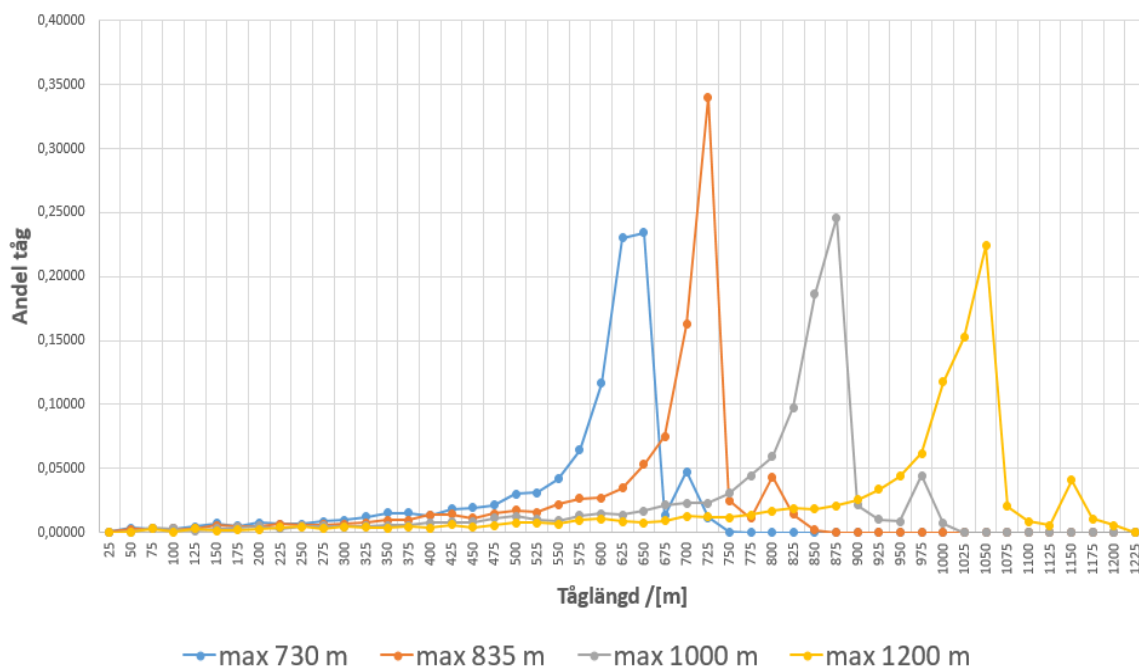
Metoden att procentuellt lägga på en ökning för varje tåg gjordes enligt Formel 7.

Formel 7 Omräkning till ny tåglängd beroende av maximalt tillåten tåglängd

$$\text{ny tåglängd} = \text{tåglängd från datamaterial} \cdot \frac{\text{Ny max tåglängd}}{730}$$

De 6981 tågen delades därefter in i intervall om 25 meter och andelen presenteras översiktligt i diagram nedan. Exakta värden finns som bilaga i 15.3.

Antagna fördelningar över framtida hypotetiska tåglängdsökningar.
Antaganden bygger på faktisk data (max 730 m) och ökas procentuellt upp till antagen maxlängd.



Figur 36 Antagande - Jämförande fördelningar för olika maximala tåglängder

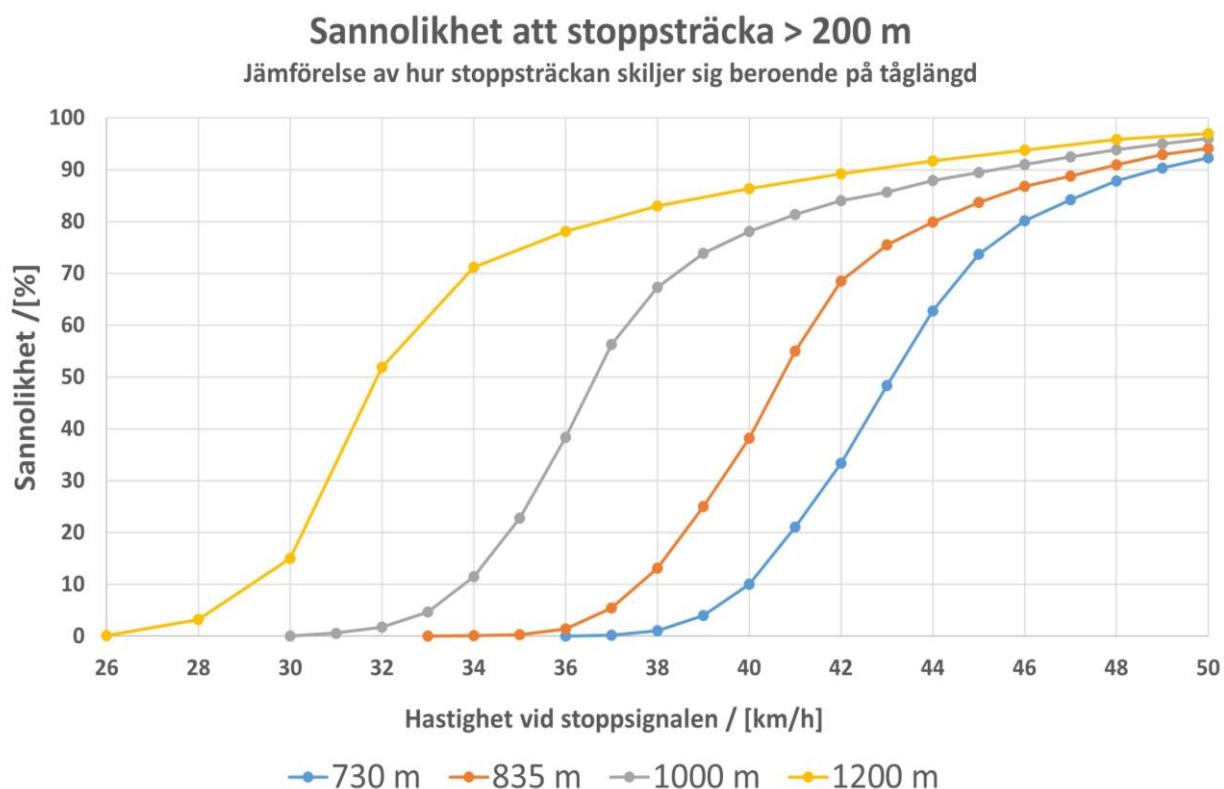
Tågen antas ha samma fördelning av retardation som baseline för godståg på Södra stambanan. Tre olika beräkningar för framtida möjliga (?) scenarier gjordes samt jämfördes.

6.2 Beräkningar när tågen blir längre

I Figur 37 jämförs olika maximala tåglängders inverkan på sannolikheten att passera skyddsavståndet. Referensberäkningen för max 730 meter långa tåg klarar inte skyddsavståndet, vilket vi visste sedan baseline fastställdes. Att öka tåglängderna kommer att kräva någon form av anpassning eller minskning av risker om 40-övervakade slutpunkter skall användas.

Tabell 12 Indata till beräkningar för längre tåg

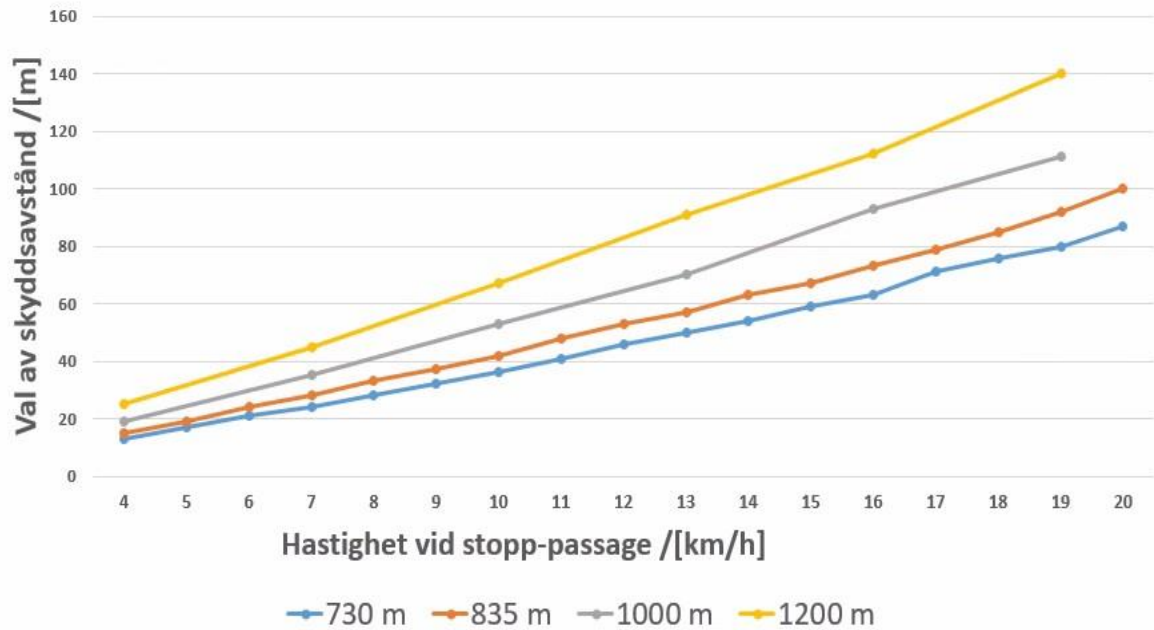
Godståg bromsgrupp R/P – långa tåg	
Parameter	Fördelning
Retardation	Diskret fördelning enligt Figur 25
Lutning	Pert(-15;0;5) → (ger medelvärde på -1,67)
Tillsättnings tid	Diskret fördelning enligt Figur 36 max 835/1000/1200 meter



Figur 37 Jämförelse - Sannolikhet att stoppsträckan är längre än 200 m för olika maximalt tillåtna tåglängder

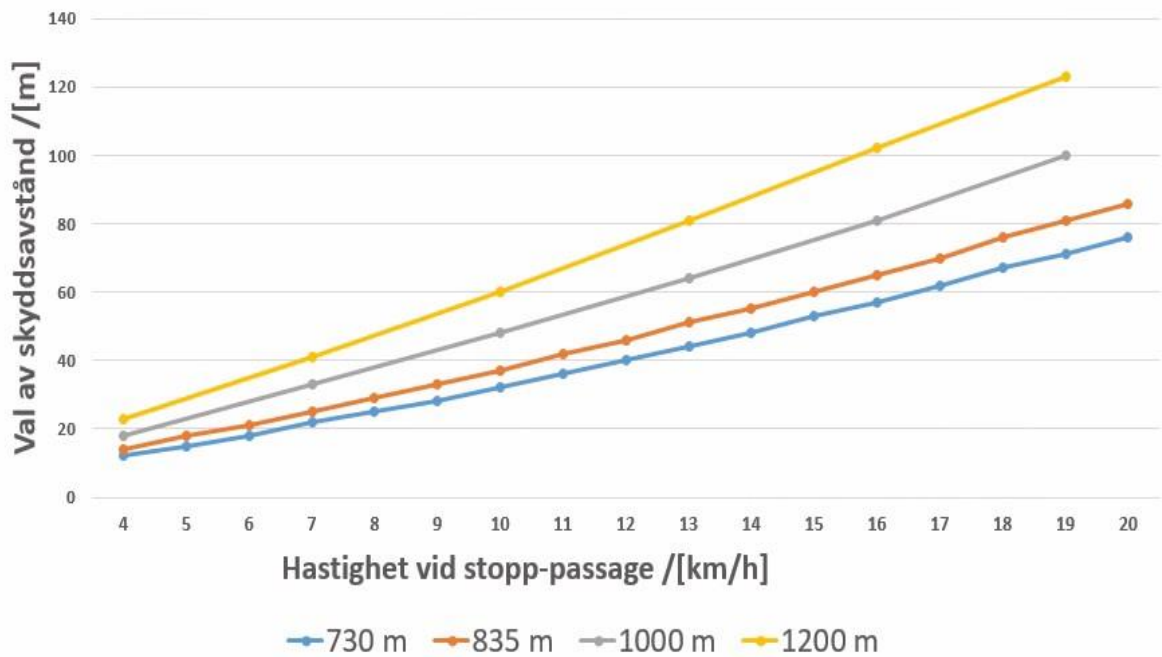
För 10-övervakade slutpunkter beräknas detta genom att ange stoppsträckans längd (val av skyddsavstånd) som beror på hastigheten med samma indata. Den presenteras med två olika risknivåer. Jämförelsen mellan risknivåerna visar att även för en risknivå på noll, Figur 38, kan tåg upp till 1200 meter tillåtas och stanna inom skyddsavståndet 100 meter när de håller en hastighet på 15 km/h. Risknivå 5 % ses i Figur 39 och om den bedöms kunna användas ger det ytterligare en marginal.

Jämförelse olika maximala tåglängder - val av skyddsavstånd utifrån risknivå 0% för 10/15-övervakade slutpunkter



Figur 38 Jämförelse - hjälptabell val av skyddsavstånd för olika tillåtna tåglängder risknivå noll

Jämförelse olika maximala tåglängder - val av skyddsavstånd utifrån risknivå 5% för 10/15-övervakade slutpunkter



Figur 39 Jämförelse - hjälptabell val av skyddsavstånd för olika tillåtna tåglängder risknivå 5%

6.3 Teknisk tågforkortning

Även om tågen blir längre kan teknik som verkar ”tågforkortande” med hänseende på tillsättningsstiden användas. Två olika idéer hur detta kan fungera presenteras. Att minska den upplevda tåglängden för bromssystemet gör att bromsarna tillsätts snabbare vilket ger en kortare stoppsträcka och kan göra att ett tåg i en nödsituation lyckas hålla sig inom skyddsavståndet samt om detta blir en norm skulle skyddsavstånden generellt kunna kortas.

6.3.1 End of Train - device en tågforkortande teknik ur bromsperspektiv

End of train-device är ett system som placeras längst bak på godståg som på Figur 40 med pneumatiskt bromssystem för att duplicera bromsbeslut från föraren så att bromsarna tillsätts både från loket och även nästan samtidigt i sista vagnen på tåget, genom att luften från huvudledningen släpps ut även längst bak. Huvudfunktionen för detta system är bromsassistans av huvudbromssystem som förkortar bromstillsättningsstiden i godståg.

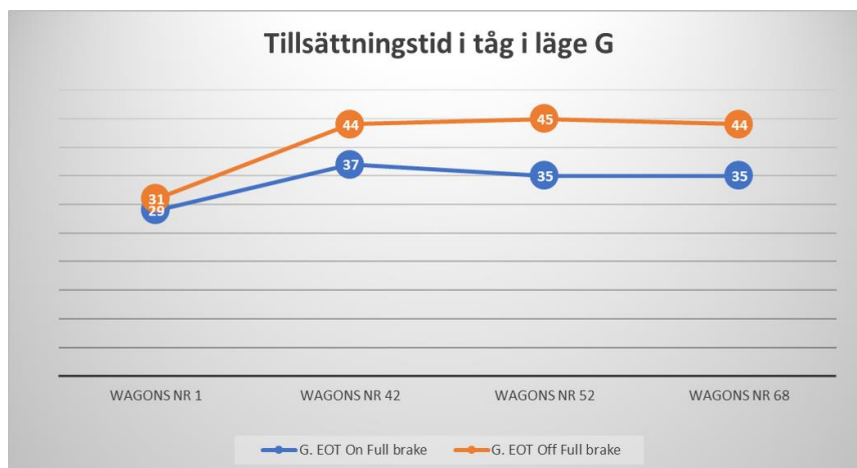


Figur 40 EOT-device monterad på godståg. Bildkälla: End of train equipment for rail freight "S-EOT", Knorr-Bremse presentationsmaterial (Knorr-Bremse, u.å).

Inbromsningen i systemet sker med pneumatiska styrda bromsar, där huvudluftledningen i sista vagnen öppnas i samband med bromstillsättningen från föraren. Systemet innehåller även elektro-pneumatisk inbromsning ifall huvudsystemet går ur funktion vilket är en säkerhetsfunktion som bara används vid behov. EOT har flera fördelar som förkortar stoppsträckan, till exempel möjligheten att uppfylla strängare krav på bromsegenskaper i tåget,

och även möjlighet att köra längre tåg som fortfarande kan ha godkända bromsegenskaper (Knorr-Bremse, u.å).

Bland annat LKAB Malmtåg har provkört tåg med EOT och har dragit slutsatsen att den gör relativt lite nytta vid nödbroms då huvudledningen töms mycket snabbt på luft ändå. EOT är mest fördelaktigt vid normal körning där tillsättnings tiden blir betydligt kortare, de longitudinella krafterna minskar i tåget eftersom bromsen tillsätts tidigare med större kraft längst bak i tåget än i mitten av tåget (Strand²³). Skillnaden på effekt av EOT i bromsgrupp G och P visas i nedanstående figurer. Observera att begreppet tillsättnings tid här inte används på samma sätt som definitionen “halva den tid som förflyter mellan det att bromsen på första vagn går till och 95 % av max bromskraft uppnås på sista vagn” (läs mer om detta i 4.2.2). Diagrammen visar hur lång tid det tar för bromsen att sättas till genom mätningar i olika delar av tåget (tåglängd på strax under 750 meter med 68 vagnar). I Figur 41 visas skillnaden på tillsättnings tid för en fullbroms (trycksänkning med 150 kPa i huvudledningen) för tåg i bromsgrupp G, den typ av broms som Malmtågen idag (2022) använder, med och utan EOT.

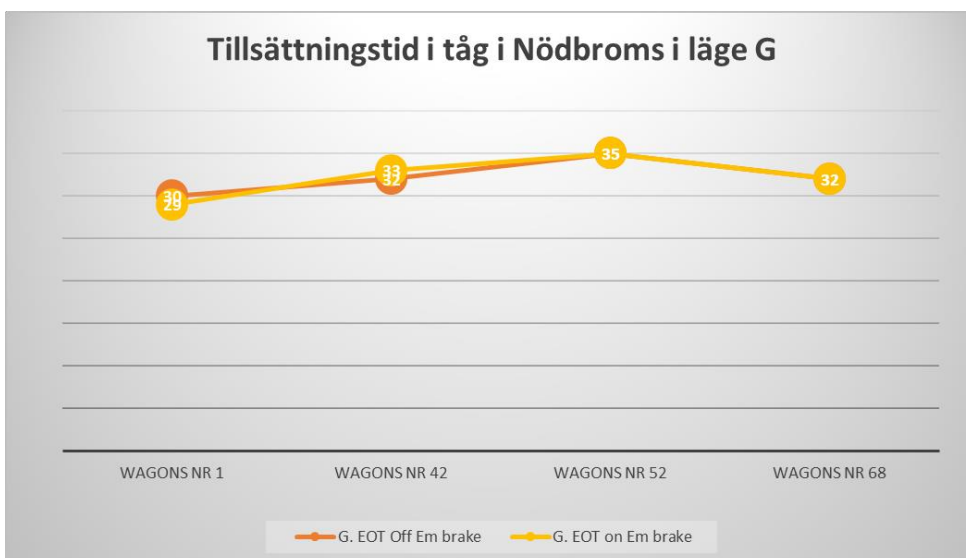


Figur 41 Tillsättnings tid tåg i bromsgrupp G med och utan EOT. (Bildkälla: LKAB ppt-presentation. EOT. End of train Equipment)

I Figur 42 visas skillnaden på tillsättnings tid för en nödbroms (trycksänkning går mot 0 kPa övertryck i huvudledningen) för tåg i bromsgrupp G, den typ av broms som Malmtågen idag (2022) använder. Som kan utläsas finns det ingen skillnad för dessa typer av händelser. Enstaka sekunder i mätdata är främst ett utslag för en normal variation (Strand²⁴).

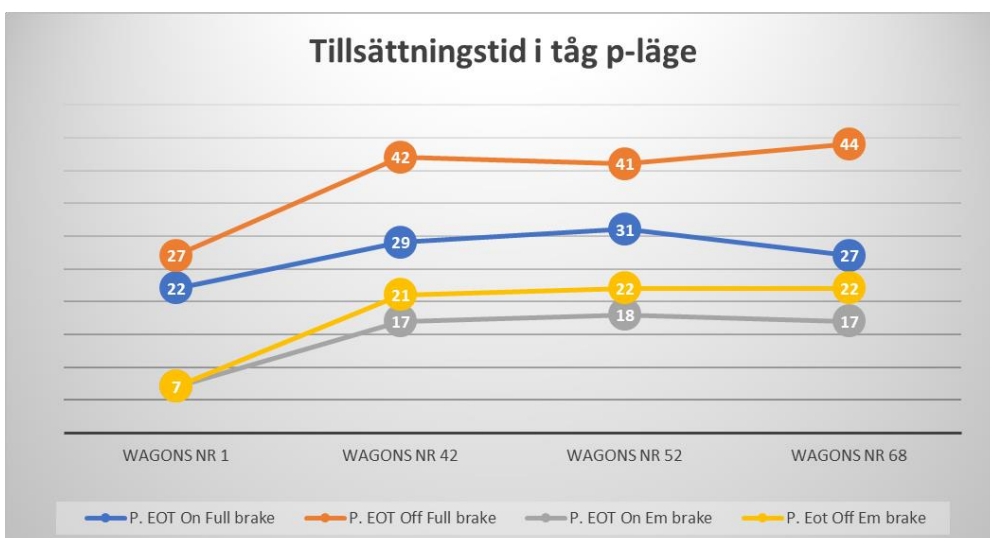
²³ Strand, Lars, LKAB Malmtåg, intervju 2022-01-03

²⁴ Strand, Lars, LKAB Malmtåg, presentation av bromstester i bromsgrupp P för malmtåg samt EOT-device för Trafikverket 2022-03-21



Figur 42 Tillsättningstid för nödbroms tåg i bromsgrupp G med och utan EOT. (Bildkälla: LKAB ppt-presentation. EOT. End of train Equipment)

I Figur 43 kan utläsas att skillnaderna mellan med och utan användande av EOT i bromsgrupp P för fullbroms är mycket stor. ”Förarna som är vana vid bromsgrupp G tycker bromsen tar nästan obehagligt snabbt i körning med bromsgrupp P och tillägg av EOT” enligt Lars Strand, LKAB Malmtåg. Även för bromsgrupp P är skillnaden i nödbroms liten med eller utan EOT.



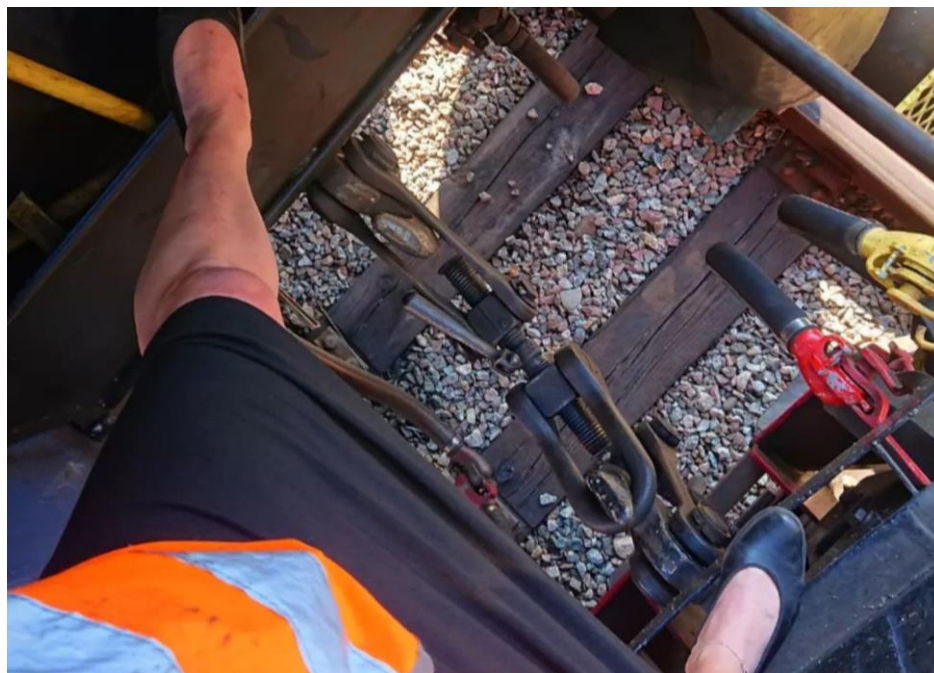
Figur 43 Tillsättningstid för nöd- respektive fullbroms tåg i bromsgrupp P med och utan EOT. (Bildkälla: LKAB ppt-presentation. EOT. End of train Equipment)

Enligt dessa tester med EOT har dessa liten eller ingen påverkan för tåg i en nödbromssituation, åtminstone inte för de testade tåglängderna. Inga beräkningar kommer därför utföras.

6.3.2 Utveckling av koppel

De två sätt som finns att koppla ihop vagnar i ett tåg som används i Sverige idag är skruvkoppel och automatkoppel. Skruvkoppel behöver sättas ihop manuellt av personal och är kostsam, tidskrävande och en inte helt riskfri metod, se Figur 44. Skruvkoppel brister även i sin funktion när det gäller längre och tyngre tåg då dragkraftsöverföringen är problematisk. En lösning med starkare koppel gör kopplet tyngre och svårare att hantera.

Den andra typen är automatkoppel där vagnarna kopplas automatisk i en mekanisk mekanism. Metoden behöver inte extra personal för i hopkopplingen och löser problemet med arbetsmiljörisker. Automatkoppel kan även lösa problematiken med längre och tyngre tåg då kopplen klarar högre krafter. Med ett modernt automatkoppel finns det möjlighet att koppla ihop bromssystem på tåget automatiskt och det öppnar upp för flera tekniska lösningar (Bergstedt, 2004b).



Figur 44, Klassiskt skruvkoppel, här en bild där högtrycksluftslangarna inte är hopkopplade ännu. Bildkälla: Järnvägskvinnors instagram, fotograf Sara Wiren

Trafikverket har under 2020 testat automatkoppel för godståg för effektivare godstrafik. Automatkoppel används sedan tidigare i Japan, USA och Ryssland men från början tilläts det inte automatisk inkoppling av alla ledningar (inklusive bromsledningen). Idag ställer det internationella järnvägsunionen UIC krav för automatkoppel i Europa att inkludera automatisk luft-, el- och signalledningar då möjligheten att införa elektro-pneumatiska (EP) bromsar skulle vara av stor betydelse för godstrafik (Bergstedt, 2004b).

Elektro-pneumatiska bromsar minskar fördröjningen i bromstillsättning mellan vagnarna då bromssignalen styrs av el istället för tryckförändring. Signalen skickas samtidigt till alla vagnar i tåget, vilket tillåter samtidig inbromsning av hela tåget. Bromssystemet är fortfarande pneumatiskt men kontrollsignaler skickas med el (Andersson, Berg, Stichel, & Casanueva, 2018). Detta gör stoppsträckan för tåget kortare då tillsättningstiden för bromsarna blir kortare.

6.3.3 Digitala Automatiska Koppel

Ett system med automatkoppel där även andra digitala kopplingar som elkraft och signalsystem kopplas ihop automatisk kallas för Digitala Automatiska koppel (DAC). Förutom fördelen med automatisk inkoppling av bromssystemet så ger DAC flera andra möjligheter såsom kompatibilitet med ETCS nivå 3, öppnar upp för intelligenta godståg och kan användas i längre och tyngre godståg med tillräckliga dragkrafter (Trafikverket, u.å.c).

Det finns dock vissa begränsningar med digitala automatkoppel, vilket kan göra det svårt att implementera det för bred användning i godstrafiken. Automatkoppel ska vara elektriskt och mekaniskt kompatibla på vagnar som ska kopplas ihop, det vill säga att koppellets position, dess storlek och andra egenskaper ska matcha, vilket kan variera hos olika tillverkare. För digitala automatkoppel ska kommunikationsteknologier också vara kompatibla. Kopplarna på bägge vagnarna ska vara försedda med inkopplingsmöjligheter för samma funktioner (broms, el, etc.). Allt detta betyder att alla koppel ska vara från samma tillverkare, av samma modell och serie och även ha samma mjukvara installerad. Och de funktioner som kopplas ihop ska vara kompatibla, vilket kan vara ett problem för tåg med blandade godsvagnar (Goikoetxea, 2016).

Teknisk utveckling med användning av digitala automatkoppel tillåter trafikering med längre och tyngre tåg som har längre stoppsträckor men samtidigt löser DAC delvis problemet med det längre stoppsträcka genom tillgång till EP-bromsar som kan användas med denna typ av koppel.

Satsning på DAC syns bland stora företag som levererar tekniska lösningar inom järnväg. Godståg kommer att gynnas mest av nya digitala koppel. Bland teknikföretagen finns företaget Knorr-Bremse som under 2022 satsar på testningar av nya DAC-produkter som följd av prognostiserad ökande efterfrågan på dessa inom godstrafik. Företagets syn på godstrafiken är att den är i behov av nya tekniska lösningar för att inverka på godsövergång från vägtrafik till järnväg. DAC-teknologi är en av dessa stora förändringar som öppnar upp för teknisk utveckling inom en rad system på godståg. Utveckling

av DAC för godståg möjliggör integrering av godståg i ETCS trafikstyrningssystem, automatisering av bromstester, att förse godståg med bättre bromssystem (EP-broms) och utveckling av kommunikation och digitaliseringsmöjligheter i det nya smarta godståget (Knorr-Bremse, 2021).

En annan teknisk lösning som blir möjlig med DAC och kan påverka tågets bromsförmåga är möjlighet till fjärrstyrning. En utvecklingsmöjlighet skulle vara att vagnarna innehåller egna hastighetsgivare och elstyrda bromsventiler som kan fjärrmanövreras med radiosignal. Detta system skulle kunna tillåta övervakning av vagnarnas hastighet och tillåta fjärrstyrd målinbromsning (Bark, 2005). Fjärrstyrning av inbromsningen skulle ha påverkan på tågets stoppsträcka och kapacitetsbilden.

6.3.4 Ej tåglängdsberoende bromssystem

Elektropneumatiska bromsar minskar fördröjning i bromstillättning mellan vagnarna då bromssignalen styrs av el istället för tryckförändring. Signalen skickas samtidigt till alla vagnar i tåget som tillåter samtidig inbromsning av hela tåget. Bromssystem är fortfarande pneumatisk men kontrollsignaler skickas med el (Andersson, Berg, Stichel, & Casanueva, 2018). Detta gör stoppsträckan för tåget kortare då tillsättningsstiden för bromsar blir kortare.

EP-broms har elektrisk styrd broms- och lossningsventil på varje fordon. Dessa ventiler sänker huvudledningen samtidigt på varje vagn då föraren tillsätter broms. Förutom snabb bromstillättning är lossningen också snabbare då det förutom huvudledningen också finns extra luft i matarledningen. Styrventilerna i EP-bromsar kontrolleras indirekt. Elektromagnetiska ventiler styr huvudledningstrycket som sedan påverkar bromssystemets styrventiler. Men fördröjningen i denna påverkan är försumbar då det är ett litet avstånd mellan elektromagnetiska ventiler och styrventiler. För ett tåg med EP-broms används värden för tillsättningsstiden i grupp P/R som motsvarar 100 m långa tåg, oavsett tågets riktiga längd (Trafikverket bromsprocenttabeller). EP-broms kan lämpligast användas i snabba expressgodståg och posttåg (Bergstedt, 2004a).

Ett annat elektriskt bromssystem som baseras på pneumatisk broms och är bättre lämpat för långa godståg är datorstyrda pneumatiska bromsar (ECP). Fördelen med ECP-broms i jämförelse med EP-broms är möjlighet till övervakning och styrning, förutom bromsar, även av andra funktioner på tåget. En sådan viktig funktion som kan kontrolleras med ECP-bromssystem men inte med EP-bromssystem är kontroll av tågintegritet. Detta är en övervakning som visar att hela tåget är intakt och alla tågledningar, både broms och

el/dataledningar, är i kontroll. Funktionen är nödvändig för tåg med ERTMS-system (L3).

I Europa finns det några stora projekt som undersöker datorstyrda bromssystem. Det första målet var att kunna ha ECP-bromsar på 1000 m långa tåg men det har visat sig att inte vara lönsamt då programvaran för styrning av tåg som är längre än 750 m skulle kosta alldeles för mycket att utveckla. Därför är längdbegränsningar i Europa för tåg med ECP-broms – 750 m (Bergstedt, 2004a). Krav på reaktionstider i datorstyrda (ECP) bromssystem som får användas i passagerare trafiken i USA är följande:

- Vid lätt driftbroms (10 %) uppnås bromscylinders sluttryck inom 2 s.
- Vid fullbroms uppnås sluttryck efter minst 4 s - max 6 s.
- Vid nödbroms uppnås sluttryck efter minst 1,5 s - max 3 s (American public transportation association, 2019).

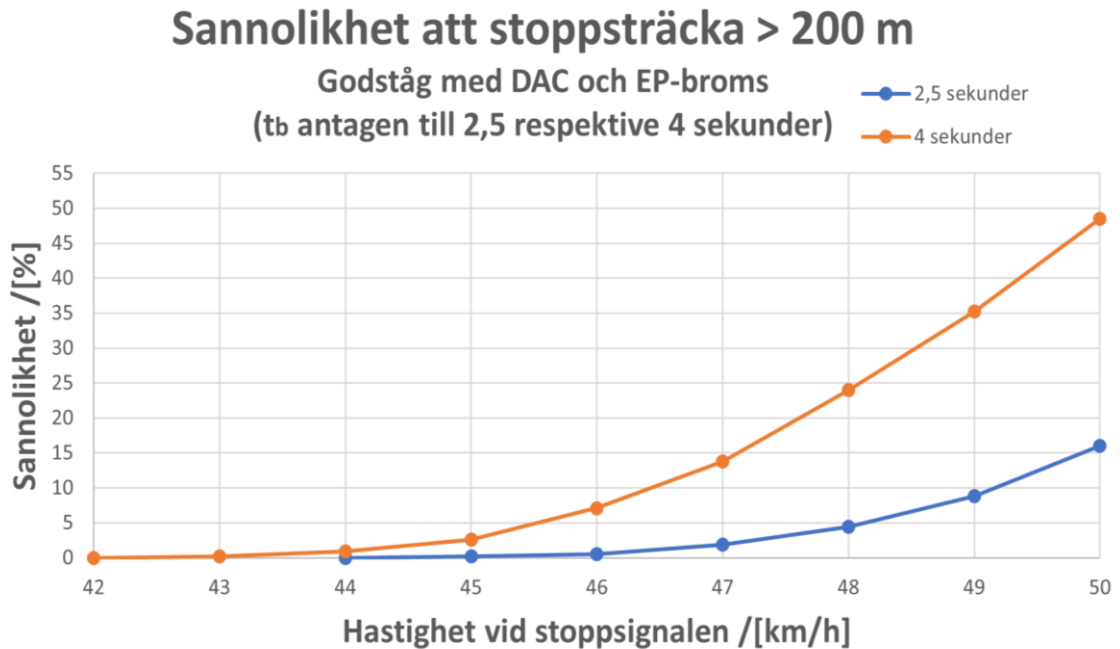
6.3.5 Beräkningar med tågförkortande teknik

Nedan görs beräkningar av stoppsträcka för godståg där tillsättningstiden inte är tåglängdsberoende. Tillsättningstiden är densamma och kommer i beräkningarna antas vara 4 sekunder samt 2,5 sekunder (Figur 45). 4 sekunder är troligtvis något längre än den faktiska nödbromstillsättningstiden men ett litet tillägg i beräkningarna görs för att ta höjd för osäkerheter och ha beräkningar för olika tillsättningstider för framtida behov. För 10/15-övervakade slutpunkter används enbart fyrasekundersberäkningen (Figur 46). Presentationen visar hur lång den faktiska stoppsträckan blir (val av skyddsavstånd) och presenteras med två olika risknivåer. Skillnaden i sannolikhet i dessa simuleringar bygger på data från godståg på Södra Stambanan och slumpdata i simuleringen beror bara på retardationsförmåga samt lutning (Tabell 13).

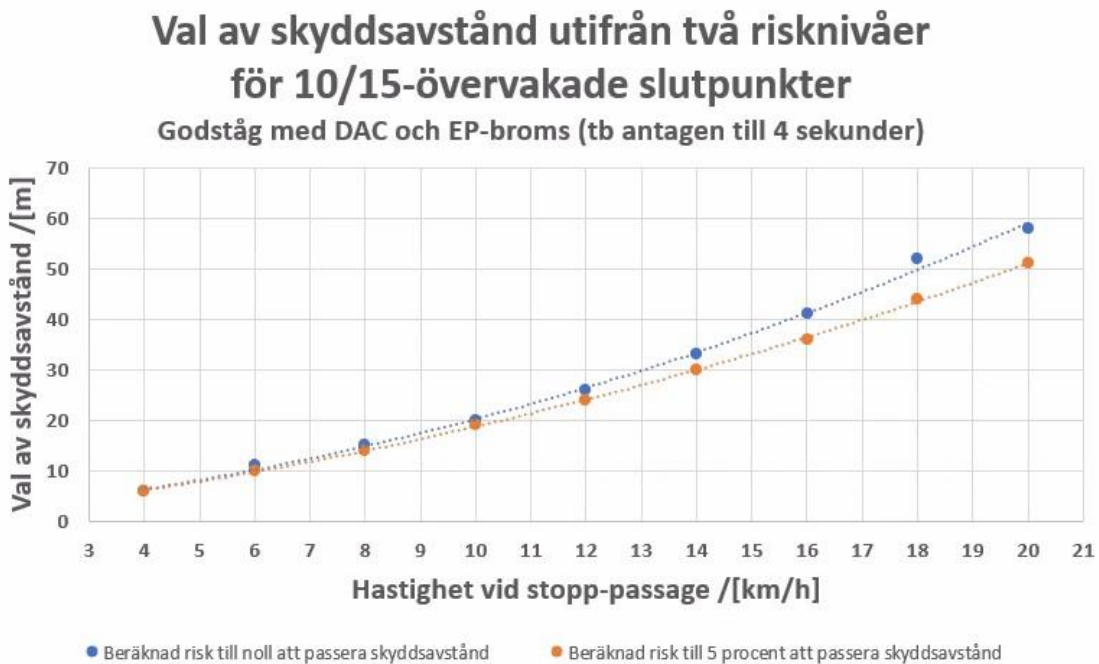
Tabell 13 Indata för godståg där tillsättningstiden inte är tåglängdsberoende

Godståg bromsgrupp R/P – tillsättningstiden ej tåglängdsberoende	
Parameter	Fördelning/värde
Retardation	Diskret fördelning enligt Figur 25
Lutning	Pert(-15;0;5) → (ger medelvärde på -1,67)
Tillsättningstid	4 sekunder eller 2,5 sekunder

När tillsättningstiden inte längre påverkas av tåglängden tas en stor del av stoppsträckan bort (sträckan som består av tiden för tillsättningstid förkortas) för stopp från låga hastigheter och alla godståg skulle kunna stanna med god samt extremt god marginal inom skyddsavstånden oberoende av frisläppningshastigheten mot slutpunkten.



Figur 45 Antagande - tillsättningstid 2,5, samt 4 sekunder för godståg



Figur 46 Jämförelse - hjälptabell för val av skyddsavstånd när tillsättningstid har fast värde

7 Skyddsavstånd vid ändrad bromsgrupp

Ändrad bromsgrupp, G till P/R påverkar tillsättningsstiden då den skiljer sig mellan de olika bromsgrupperna. En minskad tillsättningsstid kortar stoppsträckan för tåget, detta ger en markant skillnad speciellt för stopp från låga hastigheter.

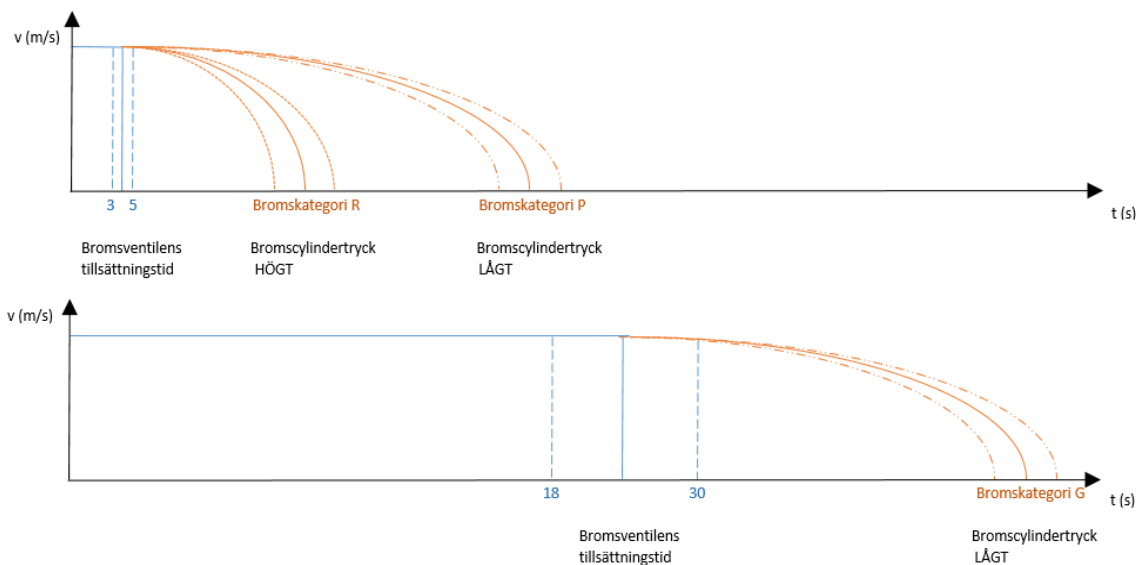
Tågtrafiken i Sverige i dag består främst av tåg som kör i bromsgrupp P eller R, dessa har samma tillsättningsstid, persontåg kör normalt i bromsgrupp R. Bromsgrupperna P och R är principiellt sammanslagna och därför talas det normalt om bromsgrupp P/R. Utöver det finns idag i Sverige bromsgrupp Ö, en grupp med speciella restriktioner som kan används när tågsammansättningen inte uppfyller kriteriet för de övriga bromsgrupperna (Trafikverket, 2016a). Internationellt används andra typer av bromsgrupper.

7.1 Användning av bromsgrupp G

På Malmbanan körs långa och mycket tunga malmtåg i bromsgrupp G, vilka har en avsevärt mycket längre tillsättningsstid, som beror på typ av styrventil. Enligt UIC 540 ställs krav på de olika bromscylindrarnas tillsättningsstid. Tillsättningsstiden för bromscylindrar som anges i Tabell 14 beror på hur snabbt 95 % av bromscylindern kan fyllas vid nödbroms och är ett intervall som inte får vare sig över- eller understigas. Denna tillsättningsstid (för bromscylindrar) skall dock inte sammanblandas med den som beräknas för ett helt tåg och används för beräkningen av stoppsträcka eftersom ”brake cylinder filling time” enbart är en del av hur tillsättningsstiden för tåg bestäms. Figur 47 ger en visuell bild av karaktäristiken av de olika bromsgrupperna.

Tabell 14 Tabell över tillsättnings- samt lossningstider för olika bromskategorier. Bild: Knorr-Bremse Basics of Brake Technology

UIC 540	Brake type G	Brake type P
Brake cylinder filling time ²	18 to 30 s	3 to 5 s, 3 to 6 s with load-controlled braking
Brake cylinder release time ³	45 to 60 s	15 to 20 s, 15 to 25 s for freight car with a total mass beyond 70 t

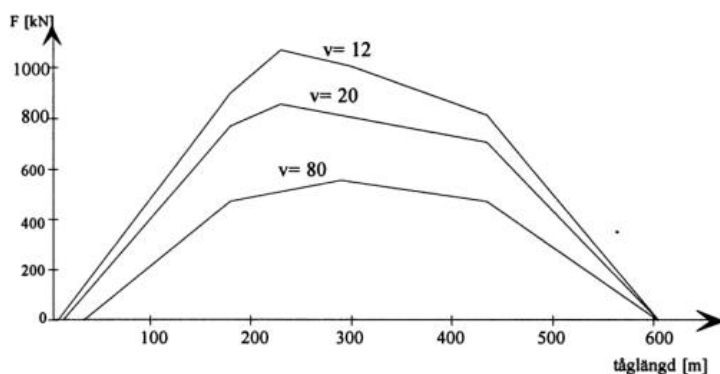


Figur 47 Visuell skillnad på olika bromskategorier med hänseende på tillsättningsstid (samt principiellt retardationsförmågan genom olika bromscylindertryck) Bildkälla: Presentation "Bromsprocenttabeller – förbeskedsavstånd ett system" av Marika Thalén

Malbanan, tillsammans med sidobanor, är den enda platsen det idag körs med bromsgrupp G i Sverige eftersom bromsprocenttabell GM är tillåten att använda där. Bromsprocenttabellen ställer krav på en viss typ av vagnar. Dessa vagnar håller sig inom ett snävare spann av bromscylindertillsättningsstiden (cirka 20 -25 sekunder) vilket gör att alla typer av vagnar som tillhör bromskategori G inte uppfyller dessa krav, då spannet kan ligga mellan 18-30 sekunder) (Trafikverket, u.å.e).

Skälet till att bromsgrupp G behövs är att behovet av att reglera bromskrafter som uppstår i fordonets längdriktning finns. Risker när en broms långt fram i tåget går till snabbt och tidigt medan luftutbredningshastigheten (ungefär 3 sekunder för ett 750 meter långt tåg) av tryckförändringen inte ens har nått längst bak i tåget är att vagnarna trycks ihop och skapar för stora tryckkrafter i tåget. Platsen i tåget som är värst drabbat för dessa krafter är ungefär 1/3 bak i tågsättet (Bergstedt, 2004a). Skillnader kan ses i ett exempel i Figur 48. Risker med att vagnar trycks ihop är att de riskerar att spåra ur i kurvor som exempelvis växlar. Detta även beror även på en mängd andra olika faktorer som inte kommer att presenteras närmare här. Genom att köra med en typ av bromssystem (bromsläge/kategori G) där bromsarna inte tillsätts direkt minskas dessa krafter.

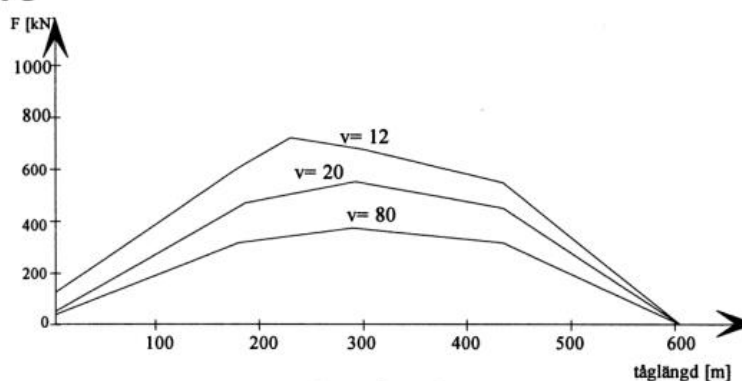
Bromsläge P



Exempel på maximala buffertkrafter vid nödbroms från olika hastigheter

Bromsläge P

Bromsläge G



Bromsläge G

Figur 48 Buffertkrafter som uppstår vid olika hastigheter för körning med bromsgrupp P samt G. Bildkälla: Bromsning av rälsburna fordon. L. Fehrnlund

Malmtågen som kör i bromsgrupp G har testkört ett tågsätt med vagnar som har byggts om till bromskategori P. Testerna har pågått under vintern 2021-22 och inget ökat slitage eller andra negativa upptäckter har gjorts. Skillnaden mellan bromsgrupp G och P är att tillsättningstiden av bromsen förkortas från 23 sekunder till någonstans runt 15 sekunder för ett normalt malmtåg som är mellan 700-800 meter långt. Det betyder att stoppsträckan kan förkortas med cirka 100 meter för ett lastat Malmtåg som kör i 60 km/h.

För att kunna byta till P-broms måste det också finnas stöt- och draginrättningar som klarar dessa krafter. Malmtågsvagnarna har ett centralkoppel med separata luftslangar och inte det mer klassiska skruvkoppel som draginrättning och buffertar som stötinrättningar. Tågen körs också homogent, alltid antingen lastade eller tomma (Strand²⁵).

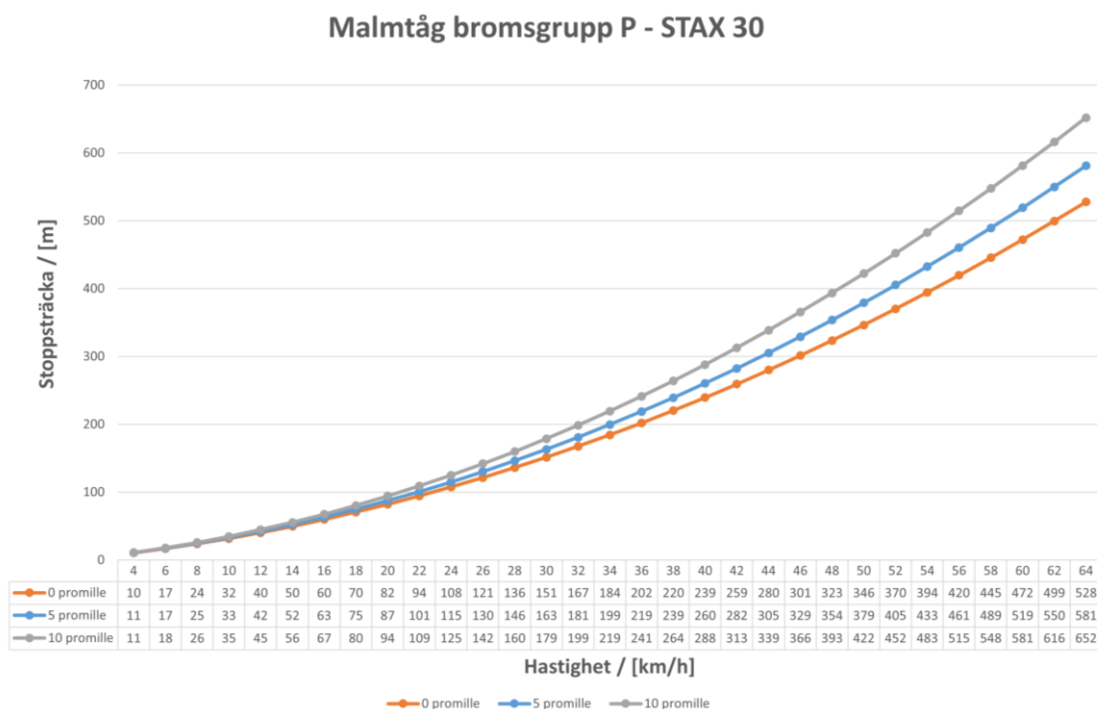
²⁵ Strand, Lars, LKAB Malmtåg, intervju 2022-01-03

7.2 Beräkningar - jämförelse bromsgrupp G och P

Beräkningarna bygger på baseline för Malmtåg och jämförelse mellan stoppstrecka i nödbroms i bromsgrupp G och P görs. Tillsättningstiden är vald till något längre än för normala godståg efter en avvägning som bygger på praktiska bromstester och anpassningar gjorda utifrån dessa.

Tabell 15 Indata för lastade malmtåg i bromsgrupp P

Malmbana – 750 m lastat tåg	
Parameter	Värde
Retardation	0,41 m/s ²
Lutning	Fasta värden mellan -10 till 0 promille
Tillsättningstid	8 sekunder

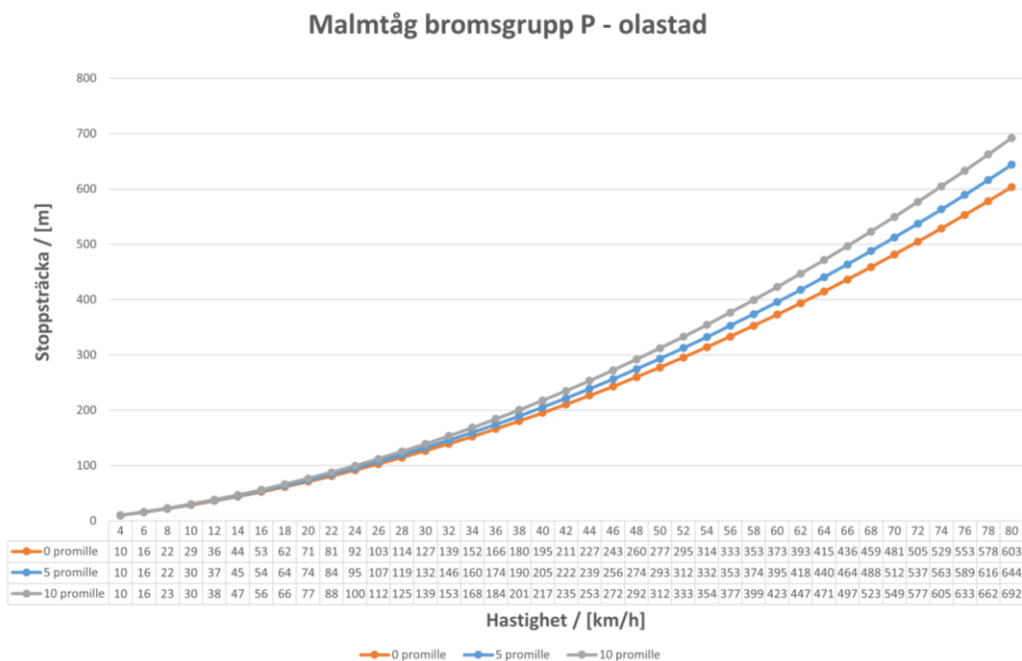


Figur 49 Stoppstrecka för lastade Malmtåg i bromsgrupp P

Beräkningarna i Figur 49 visar att ett lastat malmtåg i bromsgrupp P klarar att stanna på 100 meter om hastigheten är maximalt 20 km/h vilket är högre än den teoretiska hastigheten på 19 km/h för ATC samt 15 km/h för ERTMS. Detta anses därför säkert. För 40-övervakade slutpunkter klarar tåget att stanna på 200 meter om hastigheten är maximalt 32 km/h. Det senare är alltså inte säkert då teoretisk hastighet kan vara så stor som 49 km/h för ATC samt 40 km/h för ERTMS.

Tabell 16 Indata för olastade malmtåg i bromsgrupp P

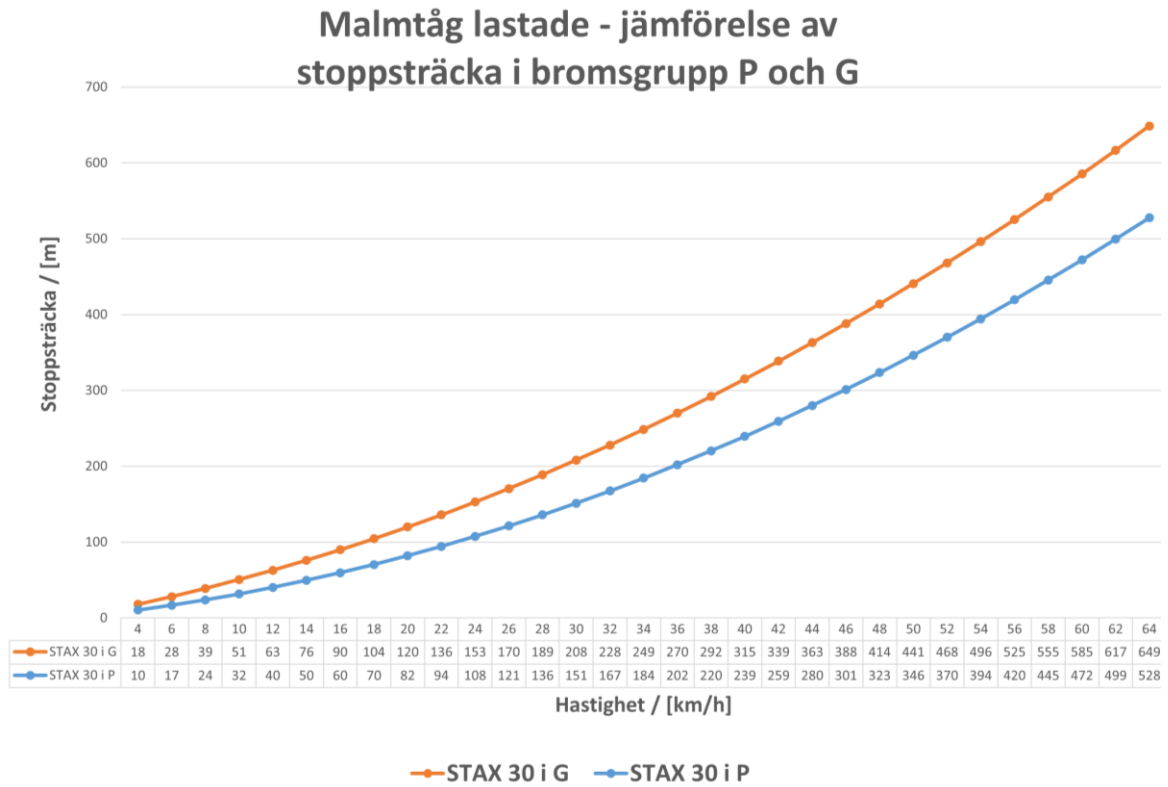
Malmbana – 750 m olastat tåg	
Parameter	Värde
Retardation	0,58 m/s ²
Lutning	Fasta värden mellan -10 till 0 promille
Tillsättningstid	8 sekunder



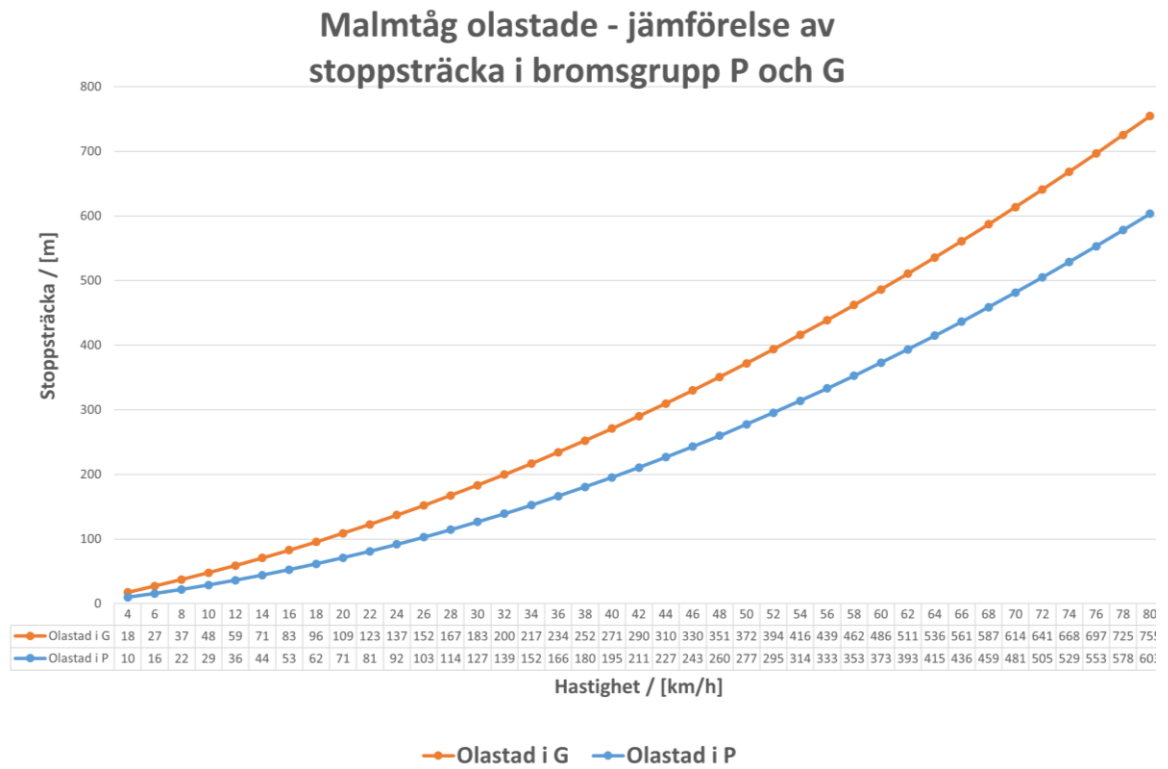
Figur 50 Stoppsträcka för olastade Malmtåg i bromsgrupp P

Beräkningarna i Figur 50 visar ett olastat malmtåg i bromsgrupp P klarar att stanna på 100 meter om hastigheten är maximalt 24 km/h vilket är högre än den teoretiska hastigheten på 19 km/h för ATC samt 15 km/h för ERTMS. Detta anses därför säkert.

För 40-övervakade slutpunkter klarar tåget att stanna på 200 meter om hastigheten är maximalt 38 km/h. Det senare är alltså inte helt säkert då teoretisk hastighet kan vara så stor som 49 km/h för ATC samt 40 km/h för ERTMS. Då detta är nära säkra värden får detta vid behov analyseras noggrannare. Behovet kommer troligtvis vara lågt då lastade malmvagnar är dimensionerande för sträckan. Lastade vagnar körs dock bara från gruvan till en hamn, det vill säga i normalläge åt ett av hållen på banan. Att ta hänsyn till olastade vagnars stoppsträcka kan i något specialfall eventuellt användas. Nedan i Figur 51 och Figur 52 görs jämförelser i hur mycket kortare stoppsträckorna blir vid byte av bromsgrupp för en plan bana.



Figur 51 Jämförelse stoppträcka för lastade Malmtåg i bromsgrupp P och G. Noll promilles lutning.



Figur 52 Jämförelse stoppträcka för olastade Malmtåg i bromsgrupp P och G. Noll promilles lutning.

8 Skyddsavstånd när tågen blir tyngre

Frågan om tyngre tåg kan definieras både som längre tåg som har större totalvikt eller tåg som har högre axellast. Största tillåtna axellast (STAX) idag är generellt 22,5 ton, dock finns det undantag beroende på järnvägssträckor. Malmbanan har möjlighet att tillåta STAX på 32,5 ton medan vissa andra banor som trafikeras av godstrafik tillåter STAX på 25 (STAX E) ton dock med hastighetsrestriktioner. Det finns också en restriktion som handlar om ton per meter som inte får överskridas.

Åtgärder som skulle behövas för att tillåta högre STAX på befintlig infrastruktur handlar om starkare underbyggnad och spårbyte, vilket är mycket kostsamt då det är långa sträckor som behöver åtgärdas. Ombyggnader i befintlig infrastruktur är inte ekonomiskt lönsamma. Högre STAX skulle kunna genomföras vid nybyggnationer eller redan planerade ombyggnader av befintliga sträckor (Trafikverket, 2020c). Åtgärder för att öka STAX är därför mindre effektiva i jämförelse med åtgärder riktade mot höjd totalvikt på tåg (dvs åtgärder mot långa tåg). Orsaken är höga kostnader på grund av att höjning av STAX kräver åtgärder riktade mot hela sträckan medan höjning av tågets totalvikt snarare kräver punktvisa åtgärder på driftplatser och andra utpekade område.

Vid ökad last (m_e) utan att tåget blir längre och får en högre bromsvikt (B) kommer bromsförmågan bli lägre enligt sambandet (Formel 3 Beräkning av bromsprocent):

$$\lambda = \frac{B}{m_e} \cdot 100$$

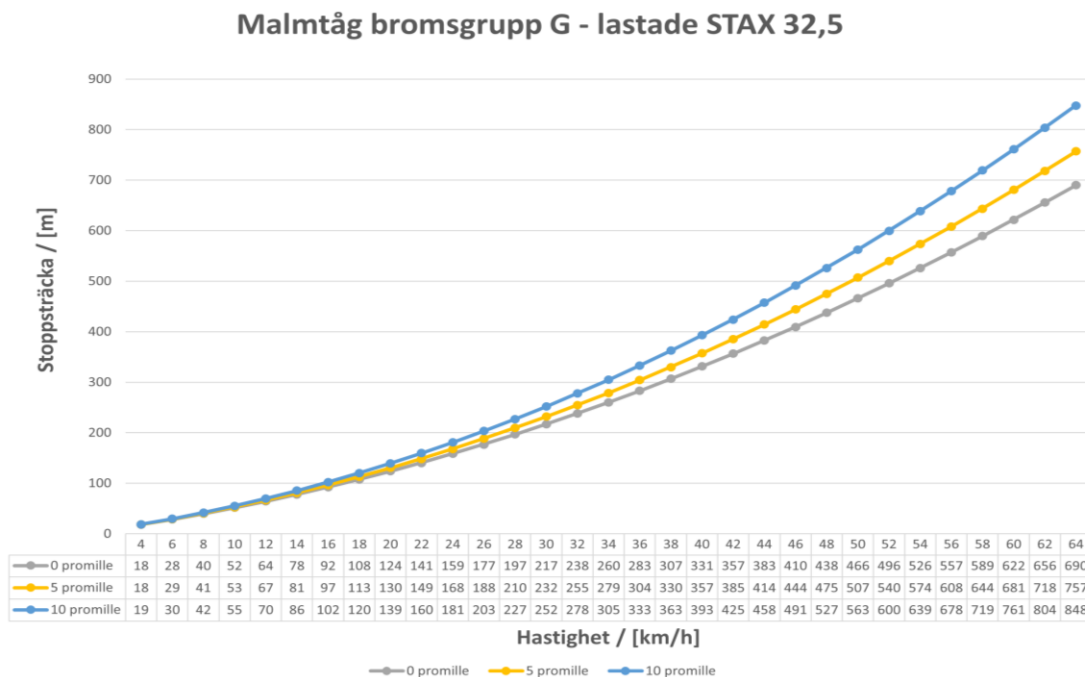
Vissa vagnar kan öka sin bromsvikt steglöst så för dessa vagnar gäller enbart sambandet om de överstiger en viss last. Dessa vagnar har normal $B = m_e$ vilket ger en bromsprocent (λ) på 100, detta fenomen ses i Figur 24. På Malmbanan har tester gjorts med en ökad last, vilket resulterar i en lägre tillgänglig retardation. En lägre retardation ger en längre stoppsträcka och det behöver därför beräknas hur detta påverkar behovet av skyddsavstånd.

8.1 Beräkningar - ökad vikt samt ändrad bromsgrupp

Inledningsvis beräknas hur lång stoppsträcka ett malmtåg med ökad last får samt även hur lång denna skulle bli om bromsgrupp P användes. Slutligen jämförs dessa båda med baseline för malmtåg för noll promilles lutning.

Tabell 17 Indata för beräkningar av ökad last på malmtåg

Malmbana – 750 m lastat tåg STAX 32,5 i bromsgrupp G	
Parameter	Värde
Retardation	0,37 m/s ²
Lutning	Fasta värden mellan -10 till 0 promille
Tillsättnings tid	14,8 sekunder



Figur 53 Stoppsträcka för lastade Malmtåg STAX 32,5

Beräkningarna i Figur 53 visar att ett lastat STAX 32,5 malmtåg i bromsgrupp G klarar att stanna på 100 meter om hastigheten är maximalt 16 km/h vilket är lägre än den teoretiska hastigheten på 19 km/h för ATC samt högre än 15 km/h för ERTMS. Detta anses därför relativt säkert.

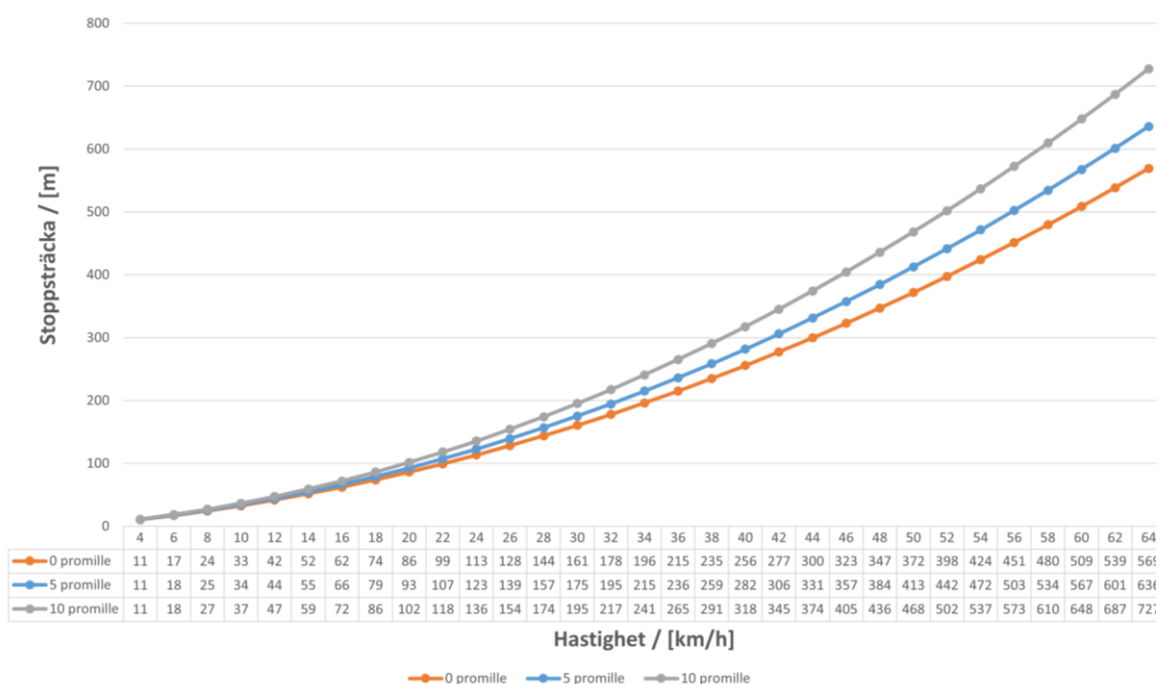
För 40-övervakade slutpunkter klarar tåget att stanna på 200 meter om hastigheten är maximalt 26 km/h. Det senare är alltså inte säkert då teoretisk hastighet kan vara så stor som 49 km/h för ATC samt 40 km/h för ERTMS.

Beräkningarna nedan (Figur 54) bygger på både på att tåg lastas mer vilket försämrar bromsförmågan samt att bromsgruppen ändras till P vilket ökar den totala bromsförmågan. Dessa två åtgärder motverkar alltså varandra med avseende på stoppsträckan.

Tabell 18 Indata för beräkningar av ökad last på malmtåg i bromsgrupp P

Malmbana – 750 m lastat tåg STAX 32,5 i bromsgrupp P	
Parameter	Värde
Retardation	0,37 m/s ²
Lutning	Fasta värden mellan -10 till 0 promille
Tillsättningsstid	8 sekunder

Malmtåg bromsgrupp P - STAX 32,5

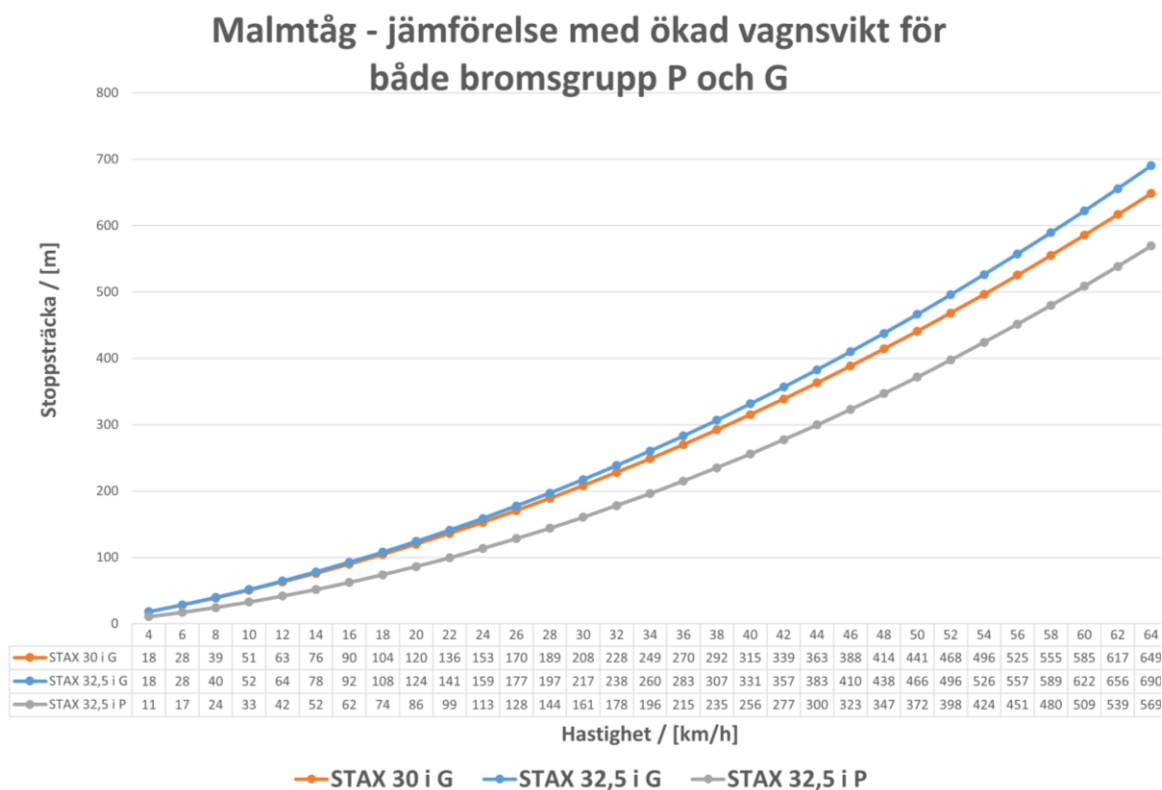


Figur 54 Stoppsträcka för lastade Malmtåg STAX 32,5 i bromsgrupp P

Beräkningarna i Figur 54 visar att ett lastat STAX 32,5 malmtåg i bromsgrupp P klarar att stanna på 100 meter om hastigheten är maximalt 20 km/h vilket är högre än den teoretiska hastigheten på 19 km/h för ATC samt 15 km/h för ERTMS. Detta anses därför säkert.

För 40-övervakade slutpunkter klarar tåget att stanna på 200 meter om hastigheten är maximalt 30 km/h. Det senare är alltså inte säkert då teoretisk hastighet kan vara så stor som 49 km/h för ATC samt 40 km/h för ERTMS.

I Figur 55 görs en jämförelse mellan baseline ”STAX 30 i G” och hur de olika ändringarna påverkar denna. Där kan tydligt utläsas att med en viss ökad vagnsvikt blir stoppsträckan lite längre, för låga hastigheter obetydlig medan påverkan som bromsgruppsbytet ger är markant för låga hastigheter.



Figur 55 Jämförande stoppstrecka för lastade Malmtåg som ökar till STAX 32,5 i både bromsgrupp P och G. Noll promilles lutning på banan.

8.2 Tidigare studie på Malmbanan

Skyddsavstånd på Malmbanan undersöktes tidigare av Sweco och resultat presenterades i rapport ”Skyddsavstånd på Malmbanan” (2018). Bakgrunden till denna undersökning var behovet av införa en högre största tillåtna axellast (STAX) på Malmbanan (32,5 t). Rapporten undersöker hur bra skyddsavstånd uppfyller de faktiska stoppstreckorna som malmtågen har och ifall den är tillräckligt för malmtåg att stanna från 40 km/h till stopp. Resultat från teoretiska beräkningar visat följande nödbromssträckor för malmtåg som bromsar från 40 km/h:

- 229m vid 0 lutning,
- 281m vid -5 lutning,
- 386m vid -11 lutning.

Samma tåg som bromsar från 10 km/h beräknades ha nödbromssträcka:

- 23m vid 0 lutning,
- 32m vid -5 lutning,
- 64 m vid -11 lutning.

Förutom de teoretiska beräkningarna presenterades även faktiska bromstestsresultat då ett 809 m långt malmtåg som bromsade från 44 km/h till stopp fick stoppsträcka på 467 m vid banlutningen -11 promille.

Rapportens slutsatser var att vid 0 promilles lutning kan den 229m långa stoppsträckan var acceptabel för att tillåta 40 km/h frisläppningshastighet även om den är fortfarande längre än det tillåtna 200 m skyddsavstånd. Detta avstånd bedöms vara tillräckligt för att minska risken för större olyckor vid kollisioner. Det kan förklaras med att risken för det är liten utifrån statistiken över faktiska händelser under senare år.

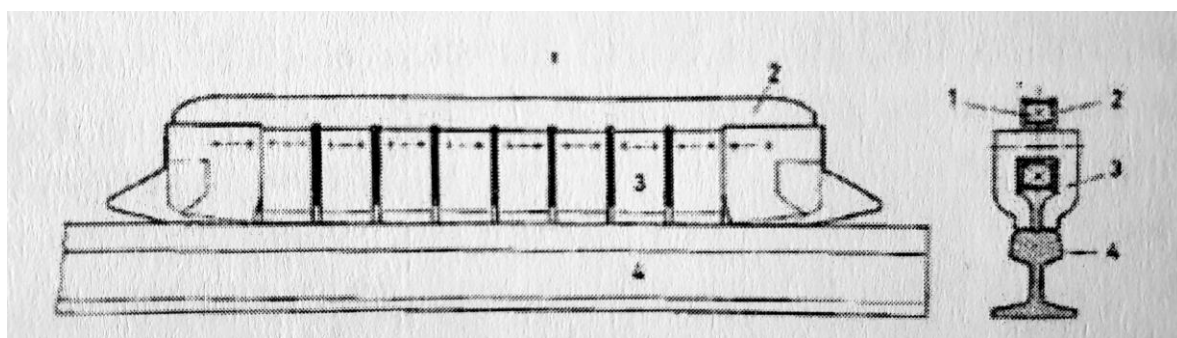
Fallen då det finns lutning mot skyddsavståndet bedöms inte vara tillräckligt säkra för att tillåta frisläppningshastighet 40 km/h och 200 m skyddsavstånd, då den faktiska stoppsträckan är mycket längre än 200 m. En rekommenderad åtgärd var att minska frisläppningshastigheten till 10 km/h, eftersom skyddsavstånd på 100 m uppfyller stoppsträckans längd för malmtåg med 10 km/h ATC-övervakning (Sweco, 2018).

9 Skyddsavstånd när andra typer av bromsar tillgodoräknas

Tillsatsbromsar är de bromsar som används i samband med ett (automatiskt) indirekt huvudbromssystem och som inte heller fungerar eller är effektiva när tåget står stilla. Bromsarnas uppgift är att förkorta stoppsträckan och att avlasta huvudbromssystemets komponenter (Knorr-Bremse, 2007). Bromsarna kan vara adhesionsberoende eller icke adhesionsberoende. Adhesion är den del av friktionen som kan utnyttjas i kontakten mellan hjul-räl. Icke adhesionsberoende broms kan exempelvis utnyttja kontakten direkt mot rälen (magnetskenbromsar, virvelströmsbroms) eller på något annat sätt som via luftmotstånd (aero-dynamisk) (Knorr-Bremse, 2007). Då adhesionsutnyttjandet är begränsat till den tillgängliga adhesionen, som kan vara låg vid exempelvis lövhalka (se Figur 19), är det lämpligt om bromsar som skall träda in i en nödsituation inte utnyttjar samma utrymme för adhesion som huvudbromssystemets hjul-rälkontakt gör då risken är att adhesionsutnyttjandet blir för stort, hjulen låses och börjar glida. Detta ger en längre bromssträcka samt riskerar att skada hjulen och ge hjulplattor som i sin tur kan slå sönder rälen när hjulen börjar rulla igen.

9.1 Tillskott från magnetskenbroms

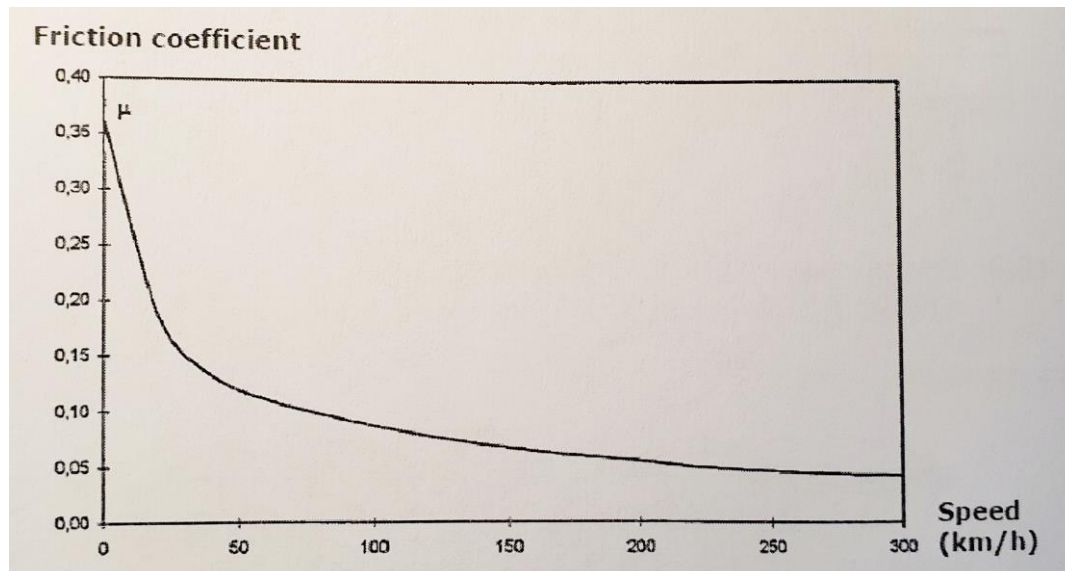
Magnetskenbroms fungerar genom att en magnetisk släde sänks ner mot rälen och ”suger fast” och på det sättet effektivt bromsar fordonet. Den kräver alltså elektrisk kraft för att aktiveras vilket normalt enbart persontåg har.



Figur 56 Skiss över en magnetskenbroms. Bildkälla: Rail Systems and Rail Vehicles part 1 (Andersson, Berg, Stichel, & Casanueva, 2018)

Bromstillskottets möjliga utnyttjande är därför oberoende av vagnsvikten och kan adderas till adhesionsberoende bromsar. Friktionskoefficienten är dock starkt hastighetsberoende (materialfråga) och vid låga hastigheter för effektiv. Uttrycket ”att duka av ett X2000-tåg” kommer från den kraftiga bromsförmåga fordonet har och som vid en nödbroms med

magnetskenbromsar gör att tåget retarderar så kraftigt de sista km/h så att lösa saker åker av bordet. Med broms till stopp med magnetskenbromsar står tåget även och "gungar" longitudinellt efter stoppet. Denna ökande bromsförmåga kan visualiseras i Figur 57.



Figur 57 Friktionskoefficients beroende av hastighet för magnetskenbroms Bildkälla: Rail Systems and Rail Vehicles part 2 (Andersson, Berg, Stichel, & Casanueva, 2018)

Magnetskenbroms får endast användas i hastigheter som är över cirka 20-30 km/h enligt krav från EU, Magnetskenbromsar går dock att använda under denna hastighet i praktiken i Sverige idag. Vid hastigheter under 20 km/h får inte magnetskenbroms användas enligt europeiskt regelverk på grund av att den kraftiga ökningen av friktion och bromskrafter i lägre hastigheter kan leda till för stora belastningar på mekaniska konstruktioner. Vid användning av magnetskenbromsar skall därför bromsen stängas av innan hastigheten är nere i 20 km/h.

En slags "tillsättningsstid" för magnetskenbromsar är tiden mellan signalen om bromstillsetningen är skickad iväg och till när den faktiska bromskraften blir tillgänglig, vilken är 2 - 3 sekunder. Då magnetskenbromsar har en stor kontaktyta med rälen är friktionen också hög vid användning av detta bromssystem. Ett tillägg vid retardationsberäkning för magnetskenbromsar är uppskattningsvis 0,2 - 0,4 m/s². Faktorer som kan påverka hur bra retardationsförmåga magnetskenbromsar ger är bland annat materialet som används i skenorna och antal skenor som används för inbromsningen av tåget. En bieffekt av att använda magnetskenbroms är även att den rensar rälen och gör att den tillgängliga adhesionen blir högre mellan hjul-räl vilket ger

ytterligare en förbättrad bromsförmåga (Schneider²⁶, Svensson²⁶). Magnetskenbroms sliter på rälen och kan exempelvis orsaka problem vid isolerskarvar, där överledning kan ske med metallflagor vilket gör att det viktiga säkerhetssystemet med spårledning kan komma drabbas av fel med störningar i trafiken som följd. Magnetskenbromsar bör idag inte användas med mer än att det är en nödsituation. Då magnetskenbromsar inte skall användas, eller kunna användas, i för låga hastigheter är det osäkert hur denna broms skall hanteras i beräkningar av ”nödbroms vid signal”. För slutpunkter som är 10-övervakade tas inte hänsyn till tillskott från mg-bromsar, men för slutpunkter som är 40-övervakade som kan passera den med hastigheter både över och under den tillåtna hastigheten kommer det att krävas vissa antaganden.

9.2 Beräkningar med magnetskenbromstillskott – persontrafik på Citybana

Beräkning av tillskott av magnetskenbroms bygger på ”Baseline Citybanan – normal persontrafik”, då det är den typen av trafik som idag har magnetskenbromsar. Antagandet att magnetskenbromsen går till för hastigheter 25 km/h och uppåt görs samt att den inte släpper förrän tåget står stilla, detta trots EU-kravet. Magnetskenbromstillskottet antas istället vara något lägre, $0,25 \text{ m/s}^2$ och adderas till ett normalt persontåg som trafikerar Citbanan (X60B). Tillsättningstiden för magnetskenbromsarna uppskattas till 3 sekunder vilket ger den enkla beräkningen att de anses vara tillsatta samtidigt som huvudbromssystemets bromsar, därför kan de två retardationsvärden adderas enkelt.

Tabell 19 Indata för beräkningar av magnetskenbromstillskott

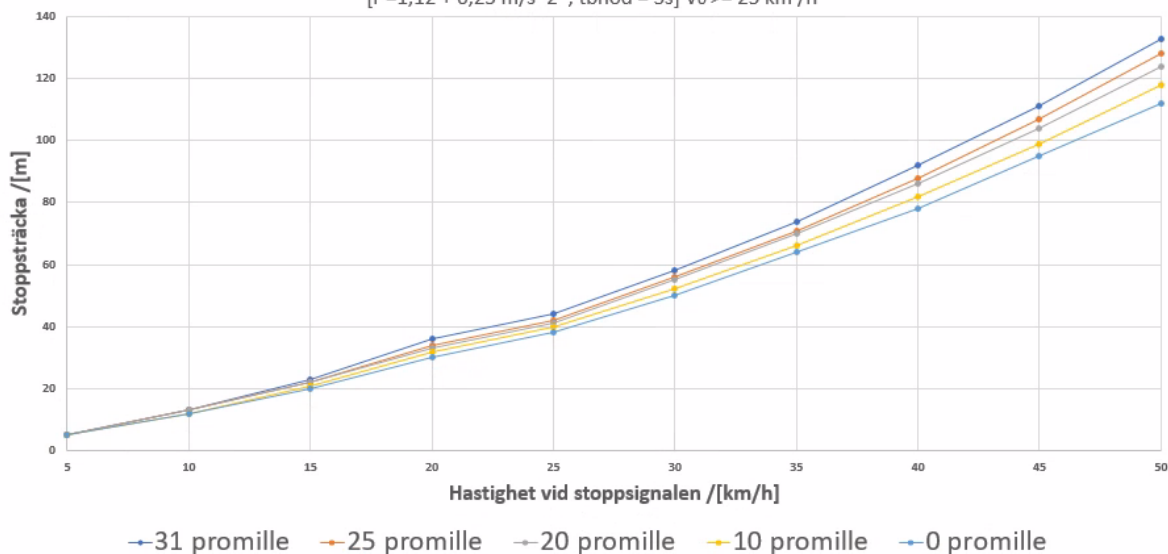
Citybanan – normal persontrafik med tillskott från magnetskenbroms	
Parameter	Värde
Retardation	Hastighet (v_0) från 25 m/s och uppåt $1,12 + 0,25 = 1,37 \text{ m/s}^2$ Hastighet (v_0) under 25 m/s $1,12 \text{ m/s}^2$
Lutning	Fasta värden mellan -31 till 0 promille
Tillsättningstid	3 sekunder för huvudbromssystemet 3 sekunder för magnetskenbroms

²⁶ Schneider, Stefan & Svensson, Per, Knorr-Bremse, intervju 2022-03-29

Stoppträcka i Citybanan för olika lutningar, normal persontrafik med magnetskenbromstillskott för hastigheter från 25 km/h och uppåt

$$[r = 1,12 \text{ m/s}^2 ; t_{bnöd} = 3s] \quad V_0 < 25 \text{ km/h}$$

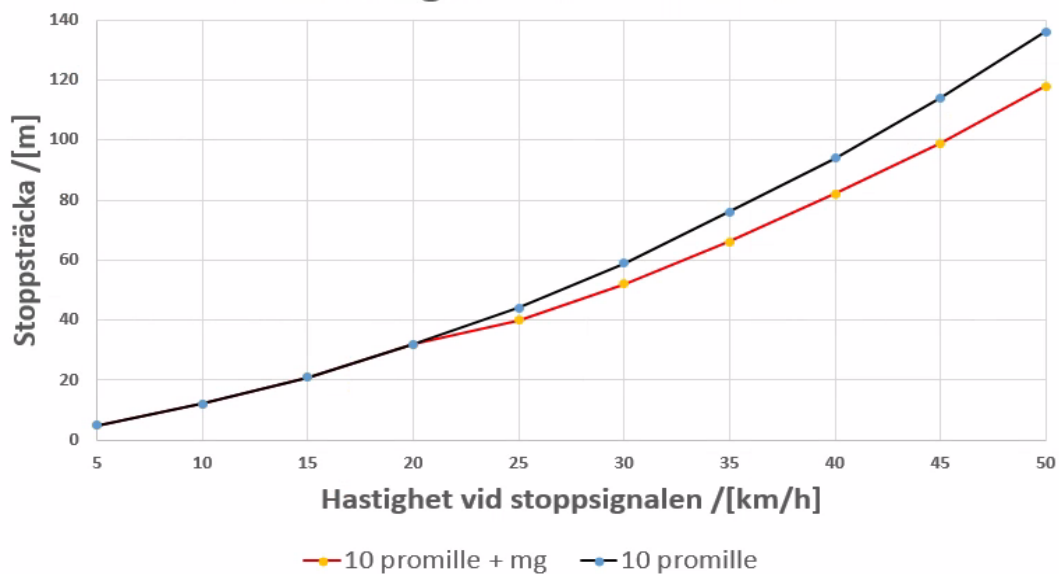
$$[r = 1,12 + 0,25 \text{ m/s}^2 ; t_{bnöd} = 3s] \quad V_0 \geq 25 \text{ km/h}$$



Figur 58 Tågs stoppträcka med mg-bromstillskott som går till för hastigheter från 25 km/h och uppåt.

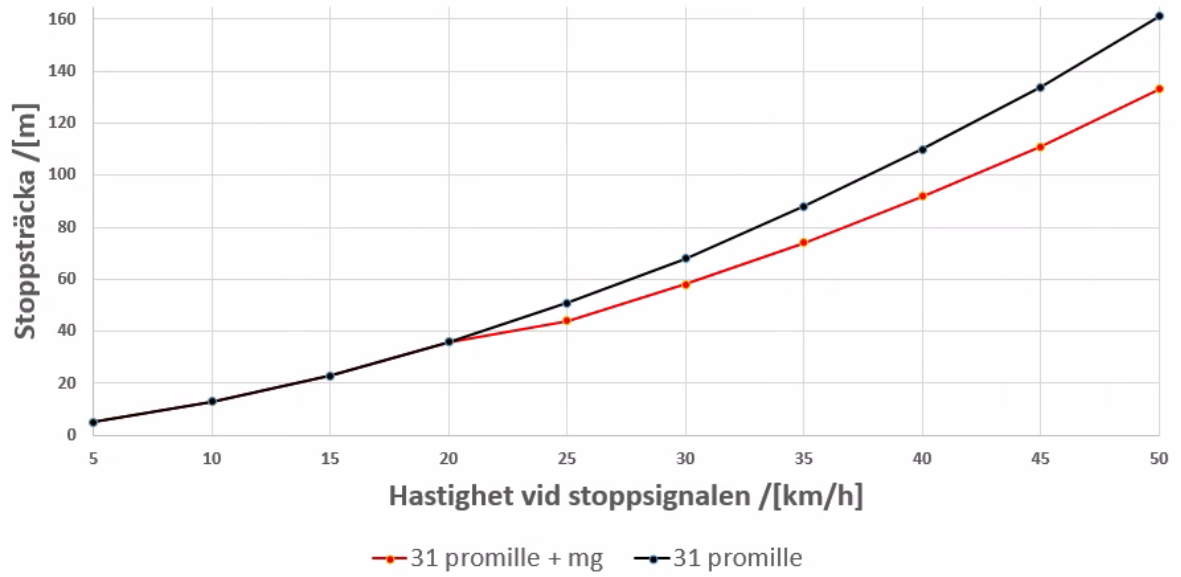
Det som skiljer stoppträckan åt från baseline hastigheter från och med 25 km/h. Dessa jämförs för olika lutningar i Figur 59 och Figur 60. Observera att magnetskenbromstillskottet är en mycket grov uppskattning samt att den ökar dramatiskt i lägre hastigheter. Tillskottet är i praktiken troligtvis mycket större för den här typen av händelse.

Stoppträcka i Citybanan - 10 promille, med och utan magnetskenbromstillskott



Figur 59 JÄMFÖRESLE - med och utan mg-broms för -10 promille

Stoppträcka i Citybanan - 31 promille, med och utan magnetskenbromstillskott



Figur 60 JÄMFÖRESLE - med och utan mg-broms för -31 promille

10 Övergång från gjutjärnsbromsblock till kompositblockbroms

10.1 Krav på gjutjärnsbromsblockutbyte

Tekniska specifikationer för driftkompatibilitet (TSD) beskriver krav på delsystem som ska uppfyllas för att systemet ska bli kompatibelt med EU:s järnvägssystem. Europeiska järnvägsbyrån (ERA) tar fram förslag som sedan beslutats av EU-kommissionen och publiceras i form av TSD-dokument som är bindande för EU:s medlemsstater, inklusive Sverige (Transportstyrelsen, 2012). Ett relativt nytt krav ställs på godsvagnarnas bromsar i TSD Buller, EU 1304/2014 ändrad genom 2019/774 ställer krav på att godsvagnar ska vara utrustade med kompositblockbromsar eller skivbromsar; kravet börjar gälla 2024. Kravet syftar till en minskad bullernivå från godstrafiken och omfattar 90 % av alla godståg i Sverige (tåg som kan köra gränsöverskridande). Enligt det ska högljudda gjutjärnsbromsblock ersättas med alternativ som minskar bullret; antingen godkända kompositbromsblock eller skivbromsar (Transportstyrelsen, 2022).

Skivbromsar är effektiva bromsar som används i persontrafik. Bromsskivorna monteras antingen direkt på hjulet eller på hjulaxel. Vid inbromsning appliceras två bromsbelägg direkt på var sin sida av bromsskivan och bromsar in tåget med hjälp av friktion. För att öka bromsegenskaperna kan flera skivor appliceras på en axel, på höghastighetståg används upp till fyra skivor på en axel. Bromsskivor är vanligtvis gjorda av stål och bromsbeläggen innehåller kompositmaterial. Fördelar med skivbromsar är, förutom deras bromsprestanda, att de även har en låg bullernivå. Nackdelar med skivbromsarna är tyngden, den höga kostnaden och svårigheter i underhåll (Andersson, Berg, Stichel, & Casanueva, 2018).

Blockbromsar är en typ av bromsar som applicerar block (vanligtvis av gjutjärn) på hjulens löpbanor och bromsar in tåget. Blockbromsarna behöver inte enskilda bromsskivor som skivbromsar och är därför en enkel och billig teknik. Blockbromsar används vanligtvis i godståg. Nackdelen med dessa bromsar är hög energiproduktion i friktionspunkterna som kan leda till höga temperaturer och hjulsprickor. En annan nackdel är den höga bullernivån. Buller från blockbromsar beror på materialet i bromsblocken och en annorlunda typ av material skulle kunna minska bullerproblemet. Ett av de nyare material som framtagits för att lösa problem med de traditionella gjutjärnsblocken är kompositmaterial. Dessa är en mix av organiska material som är pressade ihop under hög temperatur (ibid).

10.2 Bromsegenskapernas väderberoende hos kompositbromsblock

Kompositblockbromsar är det billigaste alternativet till gjutjärnsbromsar som medför en lägre bullernivå. Vissa tester visar att bromsegenskaper på denna bromstyp försämras i vinterklimat. Bromsegenskaperna hos kompositmaterial jämfördes med två andra blockbromsmaterial, gjutjärn och sinter, under olika temperatur i Lyu et al. studie på KTH 2019. Studien använde en modell av hjul och blockbroms med en mindre skiva gjord av samma material som tåghjul och tre olika stift gjorda av material som används i blockbromsar (gjutjärn, sinter och komposit). Modellen anpassades för att simulera kontakt mellan hjul och blockbroms och placerades i en kammare där temperaturen kunde ställas till olika nivåer. De olika bromsmaterialen testades i temperatur +10 C till -30 C för att undersöka både friktionskoefficient och nötningsgrad på dessa.

Gjutjärn fick, under olika temperatur, friktionskoefficient mellan 0,5 och 0,9. Kompositmaterial fick runt 0,5 i temperatur +10 C och friktionen minskade till 0,3 vid temperatur -30 C. Studien uppgav även begränsningen i hjulhastighet som modellen kunde uppnå, då en högre hastighet skulle ge ännu lägre friktion (Lyu, Bergseth, Wahlström, & Olofsson, 2019).

Kompositblockbromsar har även testats i snö i en annan studie på KTH. Hjulmodell och stift av olika bromsmaterial användes även i denna studie. Friktionstester gjordes med temperatur -2C och 80 % fuktighet. I första testet hade modellen en inkörningssträcka på 550 m. Snön applicerades först i början av testet (efter inkörningen), och sedan efter 100 och 300 m.

Under inkörningen var friktionskoefficienten för gjutjärn två gånger så stor som friktionskoefficienten för kompositmaterial, där gjutjärns friktionskoefficient under inkörningen varierade mellan 0,5 och 0,7 och den för kompositmaterial med mellan 0,25 och 0,35. Efter snöapplicering sänkte friktionskoefficienten hos gjutjärn till 0,3 och hos kompositmaterial till under 0,1. Även återhämtningssträckan undersöktes, där gjutjärn återhämtades till sin ursprungliga friktionskoefficient efter 200m och kompositmaterial efter 500m (Olofsson, Sundh, Bik, & Nilsson, 2015).

Transportstyrelsen arrangerade egna tester på kompositblockbromsar för att bedöma risken för försämrade bromsförmåga och förlängd bromssträcka i vinterklimat. Olastade vagnar med kompositblockbromsar och sinterbromsar testades under vinter 2020–2021. Förutsättningar som skulle kunna möjliggöra kompositblockbroms användning i Sverige, enligt testernas slutsatser, är kontinuerlig motionering av bromssystem under tågs färd där ansvaret för

denna kontroll läggs på lokföraren. Enligt Transportstyrelsens rapport sägs det att godståg med kompositblockbromsar kan köras säkert i vinterklimat förutsatt att föraren motionerar bromsutrustningen var 10:e minut med 0,6 bar trycksänkning under 13-21s, det är dock en pågående arbete att bestämma på vilket sätt kompositbromsblock påverkar bromsförmågan i vinterförhållanden samt hur det skall hanteras (Transportstyrelsen, 2021).

Testerna jämförde även hur bromssträckors längd varierade beroende med olika typer av motionering: som tidigare nämnts med normal motionering som utförs var 10:e minut; med intensifierad motionering som utförs var 15 minuter med trycksänkningen på 1,0 bar (istället för 0,6); utan någon motionering under längre tidsperiod.

Resultat visade att sinterbromsar utan motionering hade den längsta stoppsträcka på 1550 m, motsvarande testresultat för kompositblockbromsar visade längsta stoppsträcka på 930 m. Skillnader mellan dessa två resultat kan delvis förklaras av att tiden som det tar för friktionen hos sintermaterial att uppnå önskat nivå vid inbromsningen är dubbel så lång som hos kompositmaterial. Testernas slutsatser blev att kompositblockbromsar på olastade vagnar har god inbromsningsförmåga då motioneringen utförs av lokföraren under färden. Testerna på lastade vagnar ledde dock till hjulskador och avbröts för vidare testning (Vernersson, Ekberg & Lunden, 2021).

Transportstyrelsens egna slutsatser angående kompositblockbromsar var att de sänker säkerhetsnivån på svenska järnvägssystem och ”... *identifierats som trots motionering har så bristande vinteregenskaper att de ej bör rekommenderas för bruk i Sverige*” (Transportstyrelsen, 2021).

10.3 Analys gällande påverkan på stoppsträckan

Det finns för lite data som skulle kunna möjliggöra korrekta antagandet om hur kompositblockbromsar påverkar stoppsträckans längd. Det beror bland annat på behovet att motionera bromsar och dess påverkan på skillnader i stoppsträckalängder; bromsegenskapernas väderberoende och ofullständiga bromstester i vinterförhållandena som saknar data för lastade tåg. Alla dessa faktorer hos kompositblockbromsar gör att vidare beräkningar på denna bromstyp anses vara opålitliga med dagens tillgängliga data.

Undersökningar kring utbyte av gjutjärnsblockbromsar mot kompositblockbromsar är ett pågående arbete som har stött på flera hinder i Sveriges vinterklimat. Detta gör det även svårt att uttala sig om dess framtid i Sverige.

Beräkningar, om data funnits, skulle främst ha påverkat fördelningen för retardation men troligtvis även innebära en stor portion av slumpmässighet kopplat till väderförhållanden och handhavande. Någon generell förändring av retardationen kan vi idag inte fastställa och därmed inte utföra beräkningar. Vårt antagande är sammanfattningsvis att osäkerheten i beräkningar idag är för stora för att vara intressanta att utföra.

11 Sammanfattning av resultat

En sammanfattning av resultat från undersökningarna från kapitel 5 till och med kapitel 9 görs här. Sammanfattningen förenklar alla de beräkningar som har gjorts i allt från fastslagna baselines till olika typer av införda ändringar samt värderar säkerheten i dessa utifrån synsättet att den teoretiska stoppsträckan skall vara kortare än skyddsavståndet.






En sammanfattning av de beräkningarna som gjorts presenteras uppdelat på 10/15- och 40-övervakade slutpunkter. Röd och orange nivå bör inte accepteras, ensam gul och ljusgrön nivå indikerar att skyddsavståndet är relativt väl avvägt och mörkgrön visar att det finns goda marginaler och att det finns skäl att undersöka om avståndet verkligen behöver vara så långt som regelverket föreskriver.

Sammanfattningen visar att 10/15-övervakad slutpunkt kommer vara säker med ett aktivt tågskyddssystem idag samt klara av stora förändringar i systemet utan säkerhetspåverkan. 40-övervakade slutpunkter har redan idag vissa problem att säkert klara alla typer av möjliga tåg i möjliga hastigheter och för vissa typer av tåg är avståndet redan oacceptabelt kort. Det klarar alltså inte av att hantera ytterligare försämringar på ett bra sätt.

11.1 Resultatsammanfattning - skyddsavstånd 100 meter

Den nya nivå av övervakning/skyddsavstånd som kunde införas med ATC på 80-talet, det vill säga 10/(15)- övervakningen visar sig ha mycket goda marginaler för de flesta tåg. Det skall till stora negativa förändringar ur bromssynpunkt innan ett skyddsavstånd på 100 meter inte längre är säkert ur den synvinkeln. För de undersökta fallen är det först när godståg börjar bli mycket långa, upp till 1200 meter med konventionell tryckluftsbroms som skyddsavståndet riskerar att bli för kort. Denna typ av tåg kommer med största säkerhet aldrig att trafikera järnvägen av andra skäl.

Tabell 20 Nivåbeskrivning för beräkningar mot 10/15-övervakade slutpunkter

OACCEPTABEL		-
OÖNSKAD		-
ACCEPTABEL		Hastigheter upp till 15 km/h ej säkert, kan vara lutningsberoende
SÄKER		Hastigheter upp till 15 km/h är säkra
STORA MARGINALER		Hastigheter långt över 15 km/h är säkra

Tabell 21 Översikt - tågs förmåga att stanna inom 100 meter bortom 10/15-övervakad slutpunkt

10/15-ÖVERVAKNING	OACCEPTABEL	OÖNSKAD	ACCEPTABEL	SÄKER	STORA MARGINALER
BASELINE GODSTÅG -730 M					
GODSTÅG -835 M					
GODSTÅG -1000 M					
GODSTÅG -1200 M					
GODSTÅG EJ TÅGLÄNGDSBEROENDE					
MALMTÅG (G) STAX 30					
MALMTÅG (G) OLASTAD					
MALMTÅG (P) STAX 30					
MALMTÅG (P) OLASTAD					
MALMTÅG (G) STAX 32,5					
MALMTÅG (P) STAX 32,5					
CITYBANAN NORMAL TRAFIK					
CITYBANAN VÄRSTA FALL					
CITYBANAN NORMAL TRAFIK - MG					

11.2 Resultatsammanfattning - skyddsavstånd 200 meter






För 40-övervakad slutpunkt och ett skyddsavstånd på 200 meter är det mycket större variation kring huruvida detta är säkert sett från det undersökta perspektivet. Redan dagens normala godstågstrafik ligger på nivån oönskad. Denna nivå innebär att tåg som kör max 35 km/h kommer att klara skyddsavståndet men över den hastigheten bedöms det inte säkert. En tåglängdsökning för godståg behöver göras varsamt samt även väga in om andra ökade krav skulle behöva ställas som motverkar effekten exempelvis ökade krav på retardation eller införande av digitala automatkoppel som gör att tillsättningstiden inte är tåglängdsberoende. Godståg som inte är tåglängdsberoende hamnar i ljusgrön nivå, det vill säga säkra.

Malmtågen i bromsgrupp G är en kategori tåg som har en oacceptabel stoppsträcka. Kategorin röd, oacceptabel skall tolkas som att en säker hastighet ligger någonstans under 35 km/h och får detaljstuderas för varje enskilt fall för att veta vilken hastighet som kan anses säker. En ombyggnad av vagnarna till bromsgrupp P skulle göra att ett lastat malmtåg skulle nå nivå orange för vissa mindre lutningar, så en översyn av längden på skyddsavstånden på Malmbanan skulle eventuellt behövas ses över eller någon annan åtgärd som minskar sannolikheten för händelsen. Det finns idag få


















platser med samtidiga möten på Malmbanan, dock kan även sträckan fram till en motriktad infartssignal vara för kort i vissa fall.

Den plats som undersökts där skyddsavståndet på 200 meter bedöms vara säkert eller acceptabel är idag enbart Citybanan.

Tabell 22 Nivåbeskrivning för beräkningar mot 40 - övervakade slutpunkter

OACCEPTABEL		Hastigheter under 35 km/h ej säkra
OÖNSKAD		Hastigheter mellan 35- 40 km/h ej säkra
ACCEPTABEL		Hastigheter mellan 35- 40 km/h ej säkra, kan vara lutningsberoende
SÄKER		Hastigheter upp till 40 km/h är säkra
STORA MARGINALER		Hastigheter långt över 40 km/h är säkra

Tabell 23 Översikt - tågs förmåga att stanna inom 200 meter bortom 40-övervakad slutpunkt

40-ÖVERVAKNING	OACCEPTABEL	OÖNSKAD	ACCEPTABEL	SÄKER	STORA MARGINALER
BASELINE GODSTÅG -730 M					
GODSTÅG -835 M					
GODSTÅG -1000 M					
GODSTÅG -1200 M					
GODSTÅG EJ TÅGLÄNGDSBEROENDE					
MALMTÅG (G) STAX 30					
MALMTÅG (G) OLASTAD					
MALMTÅG (P) STAX 30					
MALMTÅG (P) OLASTAD					
MALMTÅG (G) STAX 32,5					
MALMTÅG (P) STAX 32,5					
CITYBANAN NORMAL TRAFIK					
CITYBANAN VÄRSTA FALL					
CITYBANAN NORMAL TRAFIK - MG					

12 Diskussion

12.1 Beräkningsmodell

Modellen som används är beprövad och utgör ett grundläggande fysikaliskt samband som även används av ATC-systemet. Det är en modell som bygger på att en inledande del har konstant hastighet och en del med konstant retardation (en negativ acceleration) när bromsen väl är tillsatt. Detta är en förenkling av ett faktiskt händelseförlopp som kan ses i Figur 15. Detta gör att beräkningsmodellen inte är helt bra för låga hastigheter och tåg med lång tillsättningsstid. Ett tåg börjar i praktiken sänka sin hastighet under den sträckan som förflyter under tillsättningsstiden. Den teoretiska modellen räknar inte med en hastighetssänkning under denna tid, vilket innebär att tåget i praktiken kan ha hunnit stanna innan den teoretiska modellen ens har börjat detektera en hastighetssänkning. Detta är inget säkerhetsrelaterat problem då den teoretiska stoppsträckan alltid kommer bli längre, det är enbart ett problem vid behov av en optimering. De stora marginaler som kan ses för beräkningar mot 10/15-övervakade slutpunkter kan därför antas vara ganska mycket större i många fall.

Simulering används för en del av beräkningarna. Simulering görs när det finns en verklig eller antagen fördelning av möjliga händelser och utdata blir då också en fördelning där olika risknivåer kan väljas. Om inget annat anges används risknivå noll, men risknivå 5 % har även valts speciellt för 10/15-övervakade slutpunkter. Mer om detta diskuteras under rubrikerna *Val av indata* samt *Presentation av resultat*.

12.2 Val av indata

Baseline ”godståg på Södra Stambanan” har bestämts av historiska data, vilka kan antas inte ha förändrats påtagligt sedan insamlingen mellan december 2015 och februari 2017. Urvalet av händelser är också mycket stort, det antas vara närmare hundra procentigt för det valda området, Södra Stambanans godstrafik, mellan valda datum. Data som används bör därför vara representativa för hur godstrafiken faktiskt ser ut inom det valda området.

Parametrarna (tillsättningsstid och retardation) är inte helt och hållet säkert oberoende av varandra. Högre krav på retardationsförmåga ställs ju längre tåg är samt med ökad största tillåtna hastighet. Vi har valt att ignorera eventuella beroenden. Även om dessa i verkligheten inte tillåtna kombinationerna av tillsättningsstid, retardation (och STH) kan uppstå i simuleringen så antas det vara vid försvinnande få tillfällen och det kommer inte att påverka resultatet.

Då vi inte heller bryr oss om STH för tågen blir detta svårt att spåra helt. Då spannen i värdena är relativt små (retardation cirka 0,55 - 0,78) eller centrerade (tågen har lång nödbromstillställningstid, de flesta runt cirka 8 sekunder) och då enbart tågtypen godståg valts ut, gör det att de fåtal beroenden som finns kan ignoreras.

En annan metod som skulle kunna användas är där verkliga parametrar för varje studerat tåg används och tågen slumpas fram och parametrarna används i par, $t_{\text{åg}_n} = (\text{tillsättningstid; retardation})$. Nackdelen med den metoden är att överblicken på fördelningen för tillsättningstid och retardation går förlorad samt att när dessa fördelningar skall manipuleras för att undersöka framtida antagen trafik blir detta troligtvis mer opraktisk att genomföra. Åtminstone hade vi vid arbetets utförande inte någon bra metod för det (EPIX analytics, 2022).

I vissa beräkningar är en viss typ av fast värde intressant, exempelvis hur lutningen påverkar. Då låses olika värden för lutning och jämförs för att se hur stor påverkan lutningen har. Lutning har mest påverkan för tåg med redan låg retardation, vilket framgår i analys av beräkningsmodellen och krav på minsta retardation.

Att fastställa indata för tillsättningstid (beroende av tåglängd) var inte helt enkelt av skälet att tillsättningstid för nödbroms är något som normalt inte används. Efter att först ha antagit att nödbromstillställningstiden, $t_{\text{bnöd}}$, är halva tillsättningstiden, t_b , kom vi över mätningar från ATC:s införande som utförts på 70-talet i Sävenäs. Med hjälp av dessa data kunde vi sätta upp ett samband som beskrev $t_{\text{bnöd}}$ beroende av tåglängden. Sambandet att $t_{\text{bnöd}}$ skulle vara ungefär halva t_b gäller ungefär upp till en tåglängd på 400 meter, därefter är den cirka 2/3, i alla fall till en tåglängd på cirka 1000 meter. Hur lufttryck väljer att bete sig är inte enkelt att förutse och därför behöver dessa typer av samband verifieras genom riktiga tester. Tillsättningstiden (för nödbroms) är därför en relativt stor osäkerhetsfaktor i beräkningarna.

Hastighet är en variabel i alla beräkningar men valet av gränser för när skyddsavståndet kan anses säkert är en gräns som måste väljas. Denna hastighetsgräns i beräkningarna har vi valt att sätta till 40 km/h för 40-övervakade slutpunkter samt till 15 km/h för 10/15-övervakade slutpunkter. Valet är rimligt utifrån ATC-banor och samtidigt är det taket för möjlig hastighet i ERTMS innan bromssystem automatisk aktiveras.

12.3 Antagna värden och felmarginaler

Hur banans lutning skall modelleras är inte givet, en normalfördelning var först påtänkt. Det är en välkänd fördelning som de flesta har en relation till och kan tolka. Det som är negativt är att den är av typen parametrisk fördelning och värdet "standardavvikelse" är inte helt intuitivt samt att den planar ut åt både min- och maxhålet till lutningar som är absurda på järnväg. Pert-fördelning bestäms genom att sätta minimum, vanligaste värde samt maximalt värde. Det kan enkelt förskjutas, göras lite skev och är uppenbar för alla genom att det är enkelt att se vilka värden som kan ingå som utdata även om den exakta fördelningen och formen Pert-fördelningen inte är välkänd (Epix analytics, 2022). Ingen inventering av fördelningen av lutningsförhållanden har gjorts så värden väljs utifrån en grov uppskattning och de ska på något sätt främst beskriva en variation. I denna fördelning har en liten säkerhetsmarginal lagts in genom att välja värden (-15;0;5) som ger ett medelvärde på cirka -1,67 promille.

De fasta värden som väljs görs på grund av att trafiken är så pass homogen att det blir ointressant att simulera en så liten variation. Frågan är också hur den skall beskrivas. En sådan variation kan exempelvis bestå i att motorvagnståg eller ett malmtåg ibland kan behöva stänga av bromsar vilket minskar retardationsförmågan. I vilken omfattning det sker har inte undersökts och det bedöms som orimligt mycket jobb för liten påverkan att undersöka den frågan.

Retardationsförmåga är något som operativt testas varje gång som ett tåg ändrar sammansättning och vid start. Denna test utförs genom att en bromsning på plan bana utförs när tåget har uppnått en viss hastighet. Tågskyddssystemet beräknar själv retardationen och presenterar värdet. Föraren läser av det och jämför så att det uppnår det inställda förväntade värdet. Denna procedur säkerställer att tåget minst har den retardationsförmåga det utger sig för att ha. Retardationsförmågan kan däremot i praktiken ha ett högre värde vilket inte visas. Malmtåg uppnår inte en så hög hastighet att de kan utföra en teknisk retardationskontroll utan får göra en manuell som bygger på lokförarens bedömning, en så kallad provbromsning. Retardationsförmågan kan för de flesta tåg alltså antas vara det angivna eller bättre.

Att fastställa tillskottet av retardation från magnetskenbromsar innehöll en stor mängd grova uppskattningar. Då osäkerheten där var så stor valdes medvetet ett relativt lågt tillskott. Dessa beräkningar bör därför tas med en stor nypa salt, dock bör beräkningarna vara åt det säkrare hållet.

För simulering av långa tåg byggdes tåglängdsfördelningar upp genom att extrapolera den tåglängdsfördelning som är framtagen ur datamaterialet. Det materialet är påverkat av dagens förutsättningar, exempelvis att infrastrukturen normalt inte tillåter mer än dryga 600 meter långa tåg även om en tillåten maxlängd idag är 730 meter för bromsgrupp P/R. Framtida fördelningar när den maximala tåglängden tillåts vara längre kommer troligtvis ha andra typer av begränsningar än de som ses idag. Vid mycket långa tåglängder som 1000 och 1200 meter kan det antas att det inte heller längre kommer bygga på ett rent pneumatiskt system.

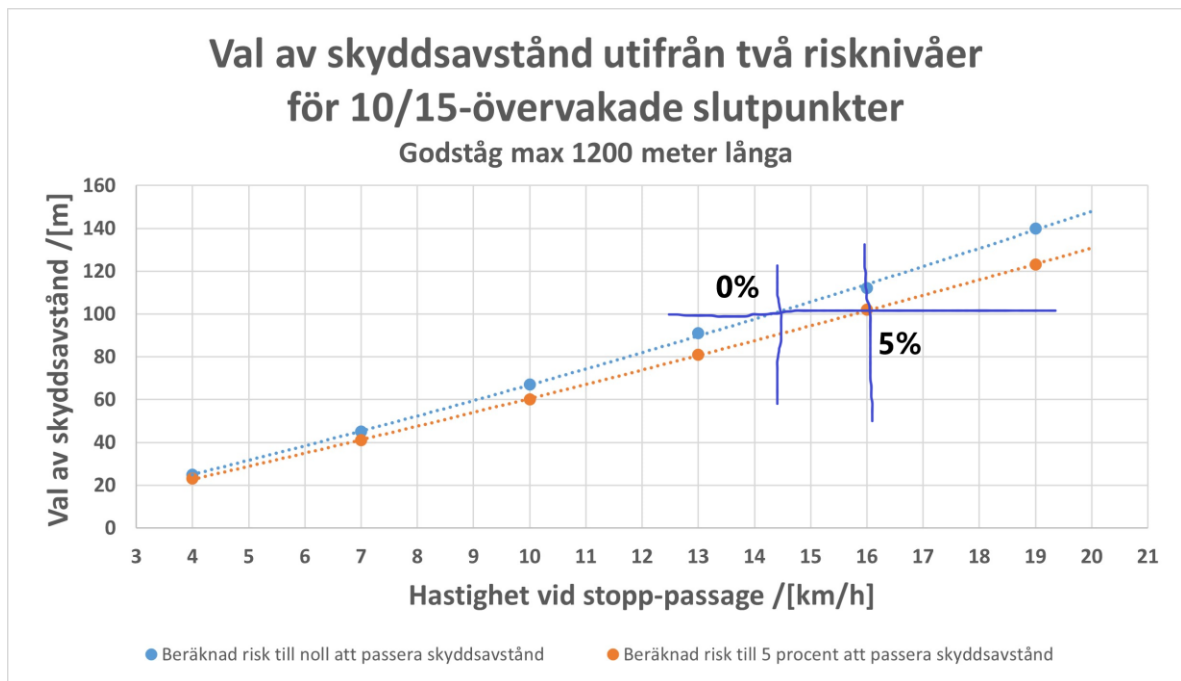
Antagandet att digitala automatkoppel, DAC, kommer att bli en viktig del grundar sig bland annat på kravet på tågintegritet när ERTMS når nivån där så kallade moving blocks används. Att säkerställa att tåget håller ihop och inte tappar en vagn kommer bli en viktig trafiksäkerhetsfråga. DAC kan vara en lösning på detta och även ge stora effekter på tågs bromsförmåga och därmed på säkerheten genom att tågen inte passerar skyddsavståndets längd i händelse av OSPA A.

12.4 Presentation av resultat

För vissa beräkningar görs inte simuleringar då trafiken är homogen och variationen liten och nyttan med simulering är ringa. Presentation av beräkningar görs därför på olika sätt. Dessa olika sätt har delvis vuxit fram under tiden när resultaten har visat sig. Exempelvis visade det sig tidigt att skyddsavstånd för 10/15-övervakade slutpunkter hade mycket goda marginaler. Dessa beräkningar kunde inte presenteras som en sannolikhet för att skyddsavståndet skulle passeras eftersom den helt enkelt bara blev noll för i stort sett alla fall vi tittade på. För att göra beräkningarna intressanta och användbara beräknades stoppsträckorna, med olika variation på indata, ibland med låsta värden och för vissa indata en fördelning. Detta anpassades beroende på situation och undersökt förändring och valen framgår i tabellerna som presenteras inför varje resultatfigur.

För resultat som tagits fram genom en simulering (något indata har bestått av en fördelning) görs också beräkningar på två olika risknivåer, 0 % samt 5 %. Dessa nivåer säger hur många av händelserna som för vald hastighet riskerar att passera längre än det utlästa värdet. I Figur 61 ges ett exempel på vilken accepterad hastighet som kan väljas beroende på vilket skyddsavstånd som väljs men även utifrån vald risknivå. Om skyddsavståndet är 100 meter, det horisontella blå sträcket, kan en hastighet på 14,5 km/h accepteras om risknivå 0 % väljs. Om risknivå 5 % väljs kan 16 km/h accepteras som den största möjliga hastigheten. Detta innebär teoretiskt sett att 5 % av alla tåg som passerar slutpunkten under givna förhållanden (ingen acceleration och ingen

påbörjad inbromsning) kommer att passera skyddsavståndet. Denna nivå, eller en annan nivå, kan också väljas om det finns skäl att tro att de inneboende marginalerna i den teoretiska modellen är så goda så att den i praktiken inte utgör någon risk. En risknivå större än 0 % kan exempelvis också väljas om andra barriärer finns eller sannolikheten bedöms tillräckligt låg.



Figur 61 Exempel på utläsning av risknivåer

12.5 Marginaler och osäkerheter

Frågan om hur säkert systemet skall göras och vilka risknivåer som kan vara acceptabla, baserat på de inneboende naturliga marginalerna som beräkningsmetoden har samt även vilken hastighet som skall väljas som den sannolikt högsta möjliga, är inte enkelt. Arbetet kring obehöriga stoppsignalpassager har fått ett ökat fokus de senaste decennierna och en hel del tillgänglig data finns för att bedöma verkliga händelser, även om ytterligare finslipning på vilka data som behöver registreras bör göras för att göra data tillgängliga och användbara för denna typ av analyser.

Att gå från den uppenbara slutsatsen som anses vara att ett tåg som främst kör mot en 40-övervakad slutpunkt i vissa fall kan passera skyddsavståndet till att bedöma om det faktiskt kommer ske behöver diskuteras. Denna grundläggande teoretiska beräkning är sann och kan säkert vara sann även i praktiken i ett normalfall. Hur sätter vi då nivån för när vi kan kalla systemet säkert? Är detta ett osäkert system och vid vilken nivå kan vi kalla det säkert? Skall vi titta på andra händelser som både kan öka samt minska risker och värdera in dem i en slutgiltig rekommendation?

Skall en fast marginal för lutning läggas in, eller om skyddsavståndet kan projekteras olika beroende på faktisk lutning är inte heller en enkel fråga. Tåg är ofta ganska långa vilket gör att en lutning som ligger exempelvis 500 meter före slutpunkten skulle i allra högsta grad kunna påverka behovet av skyddsavstånd då vagnar som befinner sig i lutning bidrar till att öka stoppsträckan. En enkel regel kring lutning, om en sådan skall användas, måste definieras.

Att enbart sannolikheter hanteras i detta arbete har sin grund i att konsekvenserna av en kollision mellan två tåg är så pass fatal att den bör hamna i kategorin av händelser som "aldrig" får ske. Tågkollisioner har också helt andra orsaker som inte handlar om för korta skyddsavstånd. För att bedöma den verkliga sannolikheten för tågkollision behöver många andra typer av "och-händelser" även analyseras. Detta ligger utanför vårt arbete men exempel på förmildrande händelser skulle kunna vara; (1) det finns ingen annan rörelseväg bortom skyddsavståndsgräns vid tidpunkten; (2) spårledningen indikerar att spåret bortom slutpunkten är belagt och mötande tåg får restriktiv körbesked. Den verkliga risken är alltså inget detta arbete försöker sig på att analysera. Arbetet skall snarare ses som en del av denna analys.

12.6 Resultatdiskussion

Att utifrån ett tågs stoppsträcka (vid nödbroms) välja skyddsavstånd är en metod som inte uttalat har använts för att bestämma skyddsavståndet. När enbart invärdet hastighet (frisläppningshastigheten mot signal) på något sätt tagits hänsyn till, men utan egentligen några beräkningsunderlag, kan det kanske vara ett stort steg att ta hänsyn till inte bara hastighet (v_0) utan även lutning på banan, tågets retardation (med eventuella tillsatsbromsar) samt tåglängd (tillsättningstid). Resultaten är troligtvis inte speciellt kontroversiella, men metoden och vilka hänsyn som vi rekommenderar skall tas är det som kan vara nytt i denna fråga.

Beräkningarna fokuserar på tågtyper (eller den grupp av tåg) med längst stoppsträcka, och resultatet visar huruvida skyddsavstånden uppfylls för just sämst bromsade tåg, vilket är viktigt att ta hänsyn till ur trafiksäkerhetsperspektiv men är inte helt problemfritt. Att utforma hela järnvägen efter sämst bromsade tåg leder till stora säkerhetsmarginaler för bra bromsade tåg, vilken i sin tur kan leda till ökade byggkostnader och/eller minskad kapacitet. Det är därför viktigt att även bedöma både hur stor andel av hela järnvägstrafiken som utgörs av de sämst bromsade tågen på platser som är aktuella för undersökning, och hur stor risken är att kollision faktiskt kan ske.

Våra nutidsresultat visar att det redan idag inte är helt säkert att tillåta 200 m skyddsavstånd med 40 km/h frisläppningshastighet för vissa tåg. I praktiken fungerar dock detta skyddsavstånd idag och har gjort det i ett antal år. Framtagningen av skyddsavståndslängder har troligtvis gjorts just genom att använda det som har fungerat i trafiken sedan länge och inte har resulterat i några olyckor. Ändringar kring trafiksäkerheten och regelverk kommer ofta efter en olycka, det går alltså att följa det som tidigare fungerat tills det inte gör det längre. Det är därför svårt att säga att något kan accepteras trots risker i systemet bara för att ingen olycka ännu har skett. Detta leder till diskussion och behovet för riskbedömningar och vad som kan bli en accepterad risk. Detta arbete fokuserar till stor del på att förutsäga kommande risker, eller mer korrekt uttryckt ökande sannolikheter, som införda ändringar i systemet kan ge upphov till. Alternativa åtgärder som inte påverkar hela järnvägsnätet utan är riktade just där riskerna finns skulle kanske vara mest lönsamma, istället för att förändra 200 meters skyddsavstånd.

Då stoppsträckan beror på en rad olika parametrar går det även att tillåta eller skärpa kraven på dessa för att uppnå önskat mål. Att ställa krav på retardationsförmåga hos järnvägsfordon är en möjlig lösning. Detta begränsas idag främst nedåt av krav som finns i bromsprocenttabeller och skulle kunna påverkas genom förändrade krav där. En vidare undersökning av hur mycket ett ökat krav på retardationsförmågan skulle påverka behovet av längd på skyddsavstånd, eller för all del hjälpa till att nå en acceptabel nivå för slutpunkter som är 40-övervakade, är något som detta arbete saknar men som helt klart är mycket intressant. Genom att studera fördelningen av tågs retardationsförmåga i Figur 24 ser vi att det är få tåg som ligger på gränsen för tillåten retardation. Det går att anta att dessa med en mindre ansträngning även skulle kunna köra om retardationskraven höjs då det är troligt att det är tåg som kör tillfälligt med vagnar med avstängda bromsar.

När det gäller 100 m skyddsavstånd så visar våra beräkningsresultat att det redan idag finns marginaler för vissa dåligt bromsade tåg och 100 m skulle kunna förkortas utan att det riskerar bli trafikfarligt. Det betyder bara att för tåg med bra bromsar skulle dessa marginaler vara ännu större. Redan idag ges det undantag som tillåter kortare skyddsavstånd i form av dispenser, och att tillåta kortare skyddsavstånd för 10/15-övervakade slutpunkter skulle öka kapacitet på ställen som idag är för korta för att tillåta samtidiga rörelser. De utvecklingar som automatkoppel och bytt bromsgrupp hos malmtåg skulle också leda till större marginaler i skyddsavstånd för 10/15-övervakade slutpunkter.

13 Slutsatser

Den mest framträdande slutsatsen är att 10/15-övervakade slutpunkter är säkrare än 40-övervakade ur det undersökta perspektivet. Det finns stora marginaler för 10/15-övervakade slutpunkter och dessa är därmed inte känslig för att det införs ändringar i systemet som ger längre stoppsträckor. Det kan finnas utrymme för exempelvis hastighetshöjning mot slutpunkten (inte i ATC, men eventuellt i ERTMS). Då ATC har fast kodning för detta och eftersom ATC inte längre får utvecklas är detta inte något som kommer bli aktuellt på ATC-banor.

Behov av åtgärder finns redan för 40-övervakade slutpunkter idag för att minska riskerna på vissa platser. Att föra in ändringar i systemet som ger längre stoppsträckor måste göras varsamt och med stor medvetenhet.

13.1 Arbetets inledande frågeställningar

- Kommer samma generella regler för skyddsavstånden att vara lämpliga vid trafikering av längre och tyngre tåg?

För att vara på den säkra sidan kan 10/15-övervakade slutpunkter användas med ett skyddsavstånd på 100 meter. Detta kommer vara säkert för mycket långa samt tunga tåg. Att använda en låg frisläppningshastighet har dock andra negativa konsekvenser som detta arbete inte berör.

- Kan det finnas skäl till att ha kortare skyddsavstånd?

Ja, för 10/15-övervakade slutpunkter finns det på många platser en trafik som har en mycket god marginal. Valet att korta skyddsavståndet kan göras, alternativt kan marginalerna användas för att höja frisläppningshastigheten för en ökad körbarhet. Troligtvis kommer 20 km/h vara en generellt säker frisläppningshastighet som skulle kunna införas och som även klarar en hel del större förändringar i trafikering inför framtiden.

- Skall skyddsavstånden vara fasta värden eller kan de få variera beroende på plats?

Enkelhet i regler är viktiga men en generalisering motverkar optimering. Dessa två viktiga motpoler behöver balanseras mot varandra. Att kräva ett skyddsavstånd på cirka 350 meter i alla anläggningar för 40-övervakade slutpunkter på grund av att ett malmtåg kan behöva detta är inte rimligt. Men att enbart kräva 200 meter på malmбанan är det troligtvis inte heller. Ja, skyddsavstånd kan behöva variera beroende på plats. Detta är dock svårt att

formulera i en generell regel, men skulle kunna formuleras i tilläggskrav för specifika platser där marginalerna idag är negativa efter att dessa har analyserats. Att tillåta kortare avstånd än den generella regeln (dagens regler samt även för framtida anpassningar) bör främst hanteras genom dispensförfarande.

- Borde det finnas regler som säger att principerna för skyddsavstånd skall vara anpassat efter tågs bromsförmåga?

Ja, på något sätt måste alla delar i järnväg och tågsystemet passa ihop. Hur detta regleras finns dock inte något enkelt svar på. Det skulle kunna bli aktuellt med åtgärder som förkortar stoppsträckan hos tåg som idag inte uppfyller skyddsavstånd eller att anpassa skyddsavståndet till ett längre avstånd. Var anpassningen bör ske är en komplex frågeställning som behöver utredas vidare. ERTMS bör införa krav på bromsförmåga för tåg som normalt trafikerar systemet så att beräkningar är möjligt för att bedöma om systemet är säkert med hänseende till regler som borde dimensioneras av bland annat tågs stoppsträcka.

13.2 Rekommendationer

Vid förändringar som påverkar eller kan komma att påverka tågs stoppsträcka behöver detta utredas, speciellt viktigt är det om stoppsträckan riskerar att bli längre. Dessa förändringar kan bland annat vara:

- Ökad tåglängd
- Tyngre tåg
- Förändrade retardationskrav
- Generella omfattande ändringar såsom krav på kompositbromsblock
- Ökad användning av vagnar med bromskategori G i tåg som körs i bromsgrupp P/R (kallas bromsgrupp LL, Langer Lok, i Tyskland)
- Införande av ERTMS - osäkra krav på bromsförmåga.

Speciella regler skulle kunna införas exempelvis på platser där STH är 40 km/h eller lägre eftersom det bedöms finnas en ökad risk då tåget inte behöver bromsa för att ta sig under frisläppningshastigheten. Platser med homogen eller extrem trafik borde kunna få speciella projekteringsregler optimerade efter specifika förhållanden.

13.3 Vidare undersökningar

Under arbetets gång har vi ställts inför frågeställningar och problem som detta arbete inte har kunnat behandla, helt eller delvis. Några rekommendationer om vidare undersökningar lämnas.

- Optimerade beräkningar för stoppsträcka från låga hastigheter, såsom vid obehörig stopp-passage av 10/15-övervakad slutpunkt.
- Retardationsförmåga hos olika typer av nya bromsblock – kan kraven i TSD buller på något sätt generellt minska retardationsförmågan.
- Skyddsavstånd bortom infartssignaler på driftplatser utan isärdragen infart- och utfartssignal (mot växlingsrörelser)?
- Vilka krav på retardationsförmåga krävs för att godståg skall ligga på en säker nivå för 835 meter långa tåg sett ur skyddsavstånd bortom 40-övervakad slutpunkt.
- Tyngre godståg generellt upp till STAX 25. Hur påverkar detta skyddsavståndet?
- Omfattande riskanalys av skyddsavståndens längd med fler hänsyn, såsom faktiska marginaler, övriga tekniska system, platsanalyser, mm.

14 Referenser

- Abril, M., Barber, F., Ingolotti, L., Salido, M., Tormos, P., & Lova, A. (2008). *An assesment of railway capacity*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.
- American public transportation association. (2019). Standard: APTA PR-M-S-021-17. USA: American public transportation association.
- Andersson, E., Berg, M., Stichel, S., & Casanueva, C. (2018). *Rail Systems and Rail Vehicles*. Stockholm: KTH Railway Group.
- Bark, P. (2005). *Effektiva tågssystem för vagnlast- och systemtåg*. Stockholm: TFK - Institutet för transportforskning.
- Bergstedt, R. (2004a). *Bromssystem*. Stockholm: Järnvägsgruppen KTH.
- Bergstedt, R. (2004b). *Automatkoppel*. Stockholm: Järnvägsgruppen KTH.
- Bårström, S., & Granbom, P. (2017). *Den svenska järnvägen*. Borlänge: Trafikverket.
- Epix analytics*. (den 02 04 2022a). Hämtat från Check the quality of your data, 2022-04-02.
- Epix analytics*. (den 02 04 2022b). Hämtat från Parametric and non-parametric distributions, 2022-04-02.
- European Railway Agency. (den 07 08 2018). ERA Braking curves tool handbook version 4.2. ERA.
- Forsström, P. (2005). *Tjänstgöringsreglementen och signaler vid de svenska statsbanorna fram till 1920-talet*. Hämtat från Gunnar Ekeving: <https://www.ekeving.se/hi/sj-regl-1858.html>
- Forsström, P. (2021). *Mekaniska ställverk*. Hämtat från Gunnar Ekeving: <https://www.ekeving.se/stlv/mek/index.html>
- Goikoetxea, J. (2016). *Roadmap Towards the Wireless Virtual Coupling of Trains*. Communication Technologies for Vehicles. San Sebastian: Springer International Publishing.
- Harrod, S. (2009). *Capacity factors of a mixed speed railway network*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.

- Karsberg, Å. (1948). *Hur kan signalanordningar öka trafiksäkerheten?* Teknisk Tidskrift, häfte 18.
- Knorr-Bremse. (2007). *Basics of Brake Technology*. Munchen: Knorr-Bremse.
- Knorr-Bremse. (2021). *The future of rail freight: Knorr-Bremse develops digital automatic coupler*. Hämtat från Knorr-Bremse : <https://www.knorr-bremse.com/en/media/press-releases/the-future-of-rail-freight-knorr-bremse-develops-digital-automatic-coupler.json>
- Knorr-Bremse. (u.d.). End of train equipment for rail freight "S-EOT". Knorr-Bremse.
- Lyu, Y., Bergseth, E., Wahlström, J., & Olofsson, U. (2019). *A pin-on-disc study on the tribology of cast iron, sinter and composite railway brake blocks at low temperatures*. *Wear*, 48-52.
- Olofsson, U., Sundh, J., Bik, U., & Nilsson, R. (2015). *The influence of snow on the tread braking performance of a train: A pin-on-disc simulation performed in a climate chamber*. *Journal of Rail and Rapid Transit*.
- Statens Järnvägar. (1923). Säkerhetsordning (Säo). *Statens Järnvägars Författningar*. Sverige: SJ.
- Statens Järnvägar. (1934). Säkerhetsordning (Säo). *Statens Järnvägars Författningar*. Sverige: SJ.
- Statens Järnvägar. (1959). Säkerhetsordning (Säo). *Statens Järnvägars Författningar*. Sverige: SJ.
- Statens Järnvägar. (den 16 10 1986). Samtidig infart - Information om nya stationstyper. *SJM*. Sverige: SJ.
- Statens Järnvägar. (1987). Säkerhetsordning (Säo). *Statens Järnvägars Författningar*. Sverige: SJ.
- Statens Järnvägar. (1994). Säkerhetsordning (Säo). *Statens Järnvägars Författningar*. Sverige: SJ.
- Statens Järnvägar. (1996). Säkerhetsordning (Säo). *Statens Järnvägars Författningar*. Sverige: SJ.
- Städje, J. (2008). *Med ATC-systemet går tåget som på räls*. Tech World.

- Svenska Järnvägar. (1976). *Mätningar av fördröjningstider vid bromsningar i tåg med varierande tåglängder (ATC). Mat reg nr 9/77*. Sävenäs: SJ.
- Sweco. (2018). *Skyddsavstånd på Malmbanan*. Sweco.
- Trafikverket. (2014). TDOK 2014:0770, BVS 1544.33100 – ATC Anvisningar för ATC ombordsystem, version 1.0. Borlänge, Sverige: Trafikverket.
- Trafikverket. (2015). Råd och anvisningar för projektering av ställverk 59. Borlänge, Sverige: Trafikverket.
- Trafikverket. (2016a). Modul 11 Broms., *Trafikbestämmelser för järnväg*. Borlänge, Sverige: Trafikverket.
- Trafikverket. (Mars 2016b). OSPA-gruppens informationsmaterial nummer 11. Sverige: Trafikverket.
- Trafikverket. (2017). Ansats till skyddsavstånd Stockholm C. Sverige: Trafikverket.
- Trafikverket. (2019a). *Ensamma dvärgsignalen*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2019b). Kapacitetsplan Stockholm. Kapacitetsrestriktioner vid planerat banarbete på sträckan Stockholm Central – Stockholms södra Tågplan T20 Ärendenummer: TRV 2019/3994. Sverige: Trafikverket.
- Trafikverket. (2019c). Modul 3 Signaler - Gemensamma regler. *Trafikbestämmelser för järnväg*. Borlänge, Sverige: Trafikverket.
- Trafikverket. (2020a). *ATC - tågskyddssystem*. Hämtat från Trafikverket: <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/anlaggningsteknik/signalteknik/atc--tagsskyddssystem/>
- Trafikverket. (Mars 2020b). OSPA-gruppens informationsmaterial nummer 19. Sverige: Trafikverket.
- Trafikverket. (2020c). *Regeringsuppdrag Längre och tyngre tåg*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (den 11 10 2021a). TRVINFRA-00303 Reservation av spåravsnitt. *Trafikverkets infrastrukturegelverk*. Borlänge, Sverige: Trafikverket.

- Trafikverket. (November 2021b). OSPA-gruppens informationsmaterial nummer 41. Sverige: Trafikverket.
- Trafikverket. (2021c). Järnvägsnätsbeskrivningen 2022, kap 2.4.1.2. Sverige: Trafikverket.
- Trafikverket. (2022a). Beskrivning bromsprocenttabeller – Tågs bromsförmåga och relation till förbeskedsavstånd. Borlänge, Sverige: Trafikverket.
- Trafikverket. (2022b). *Järnvägens kapacitetsutnyttjande 2021*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2022c). *Analys om tillåten bromsprestanda för tåg i E2*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (den 01 04 2022d). TRVINFRA-00302 Signalering. *Trafikverkets infrastrukturregelverk*. Borlänge, Sverige: Trafikverket.
- Trafikverket. (2022e). Trafikverkets diarie: Slutrapport. T 06-625/TR25” & ”Obehörig stoppsignalpassage – OSPA, T 06-1245/TR25”. Trafikverket.
- Trafikverket. (2022f). *Jämförelse av frisläppningshastighet i system ATC och ETCS*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (u.å.a). Nationella OSPA-gruppen PM. *Kategorisering och allvarlighetsklassificering av OSPA-händelser, utgåva 1.0*. Trafikverket.
- Trafikverket. (u.å.b). *Bromsprocenttabeller, övergripande beskrivning*. Trafikverket.
- Trafikverket. (u.å.c). *DAC faktablad*. Hämtat från Trafikverket: <https://www.trafikverket.se/contentassets/409b502314594e18adb2f1d20fc60680/dac-faktablad-sve.pdf>
- Trafikverket. (u.å.e). Underlag till linjebok, avdelning B. Sverige: Trafikverket.
- Trafikverksskolan. (2021). *Ställverk Grunder*. Ängelholm, Sverige: Trafikverksskolan.
- Transportstyrelsen. (2012). *Konsekvensutredning - Transportstyrelsens föreskrifter om tekniska specifikationer för driftskompatibilitet (TSD)*

för delsystemet "Rullande materiel - buller" i järnvägssystemet för konventionella tåg. Transportstyrelsen.

Transportstyrelsen. (2021). *Riskbedömning avseende bromsblock av komposit under svenska vinterförhållanden.* Transportstyrelsen.




Transportstyrelsen. (2022). *Buller.* Hämtat från Transportstyrelsen:
<https://www.transportstyrelsen.se/sv/jarnvag/Miljo-och-halsa---jarnvag/Buller-och-vibrationer/>

Vernersson, T., Ekberg, A., & Lundén, R. (2021). *Swedish tests of LL brake blocks under winter conditions - winter.* Göteborg: Chalmers University of Technology.

Welin, G. (1906). *Statens Järnvägar 1856 - 1906.* Stockholm: Järnvägsstyrelsen.

15 Bilagor

15.1 Översättningstabell för Malmtåg

STH		TÄGLÄNGD			BROMS TILLSÄTT NINGSS - TID	RETARDATIONSTABELL	
KM/H	STÄLL IN	ANTAL VAGNAR UNO, F ⁰⁵⁰	METER	STÄLL IN		BROMS PROCENT	 ställ in
10	1	0 - 5	46 - 100	1	15	25 -30	31
20	2	6-15	101 - 200	2	16	31- 34	33
30	3	16-25	201 - 303	3	16	35-40	36
40	4	26-35	304 - 407	4	16	41-44	41
50	5	36-44	408 - 500	5	17	45-49	44
60	6	45-54	501 - 602	6	17	50-54	47
70	7	55-63	603 - 695	7	21	55-59	50
80	8	64-73	696 - 800	8	23	60-64	53
						65-69	55
						70-74	58
						75-79	61
						80-84	64
						85-89	67
						90-94	70
						95-99	73
LATHUND FÖR RETARDATION MED MINST 58 Fanoo/Uno-VAGNAR							
STÄLL IN							
LAST 120 TON		TOMTÅG					
antal avstängda vagnspar		antal avstängda vagnspar					
0	2	0	1	≤ 3	≤ 5		
41	36	58	58	55	53		
<p>Vid andra kombinationer än ovan, måste bromsotalet räknas ut på vanligt sätt. Ur retardationstabellen las sedan det värde som ska ställas in på ATC panel Tänk på att vid dåligväderlek (vinterförhållanden) exv. snörök efter läget att kontrollera retardationen för tåget.</p>							

15.2 Omvandling mellan bromsprocent och retardation

Bromsprocent, λ	retardation (tabellvärde)	retardation (beräknad) $r=0,007\lambda+0,07$	Bromsprocent, λ	retardation (tabellvärde)	retardation (beräknad) $r=0,007\lambda+0,07$
61	0,51	0,502	87	0,68	0,684
62	0,51	0,509	88	0,69	0,691
63	0,52	0,516	89	0,69	0,698
64	0,52	0,523	90	0,7	0,705
65	0,53	0,53	91	0,71	0,712
66	0,54	0,537	92	0,72	0,719
67	0,55	0,544	93	0,72	0,726
68	0,55	0,551	94	0,73	0,733
69	0,56	0,558	95	0,74	0,74
70	0,57	0,565	96	0,74	0,747
71	0,57	0,572	97	0,75	0,754
72	0,58	0,579	98	0,76	0,761
73	0,59	0,586	99	0,76	0,768
74	0,59	0,593	100	0,77	0,775
75	0,6	0,6	101	0,78	0,782
76	0,61	0,607	102	0,78	0,789
77	0,61	0,614	103	0,79	0,796
78	0,62	0,621	104	0,8	0,803
79	0,63	0,628	105	0,81	0,81
80	0,64	0,635	106	0,81	0,817
81	0,64	0,642	107	0,82	0,824
82	0,65	0,649	108	0,83	0,831
83	0,66	0,656	109	0,83	0,838
84	0,66	0,663	110	0,84	0,845
85	0,67	0,67	111	0,84	0,852
86	0,68	0,677	112	0,85	0,859

15.3 Omräkning till ny tåglängdsfördelning

Tåglängd	max 730 meter tåg		max 835 meter tåg		max 1000 meter tåg		max 1200 meter tåg	
	antal 730	andel 730	antal 835	andel 835	antal 1000	andel 1000	antal 1200	andel 1200
25	2	0,00029	2	0,00029	0	0,00000	0	0,00000
50	25	0,00358	16	0,00229	3	0,00043	3	0,00043
75	21	0,00301	19	0,00272	25	0,00358	22	0,00315
100	19	0,00272	20	0,00286	20	0,00286	3	0,00043
125	32	0,00458	21	0,00301	11	0,00158	20	0,00286
150	48	0,00688	37	0,00530	19	0,00272	11	0,00158
175	33	0,00473	32	0,00458	29	0,00415	15	0,00215
200	52	0,00745	32	0,00458	34	0,00487	17	0,00244
225	44	0,00630	47	0,00673	22	0,00315	26	0,00372
250	45	0,00645	37	0,00530	35	0,00501	30	0,00430
275	59	0,00845	41	0,00587	34	0,00487	20	0,00286
300	67	0,00960	47	0,00673	32	0,00458	31	0,00444
325	85	0,01218	51	0,00731	33	0,00473	29	0,00415
350	107	0,01533	67	0,00960	40	0,00573	25	0,00358
375	106	0,01518	66	0,00945	39	0,00559	31	0,00444
400	91	0,01304	95	0,01361	51	0,00731	23	0,00329
425	129	0,01848	98	0,01404	56	0,00802	42	0,00602
450	136	0,01948	78	0,01117	55	0,00788	28	0,00401
475	148	0,02120	102	0,01461	79	0,01132	37	0,00530
500	211	0,03022	121	0,01733	88	0,01261	51	0,00731
525	216	0,03094	110	0,01576	70	0,01003	53	0,00759
550	292	0,04183	153	0,02192	64	0,00917	45	0,00645
575	449	0,06432	186	0,02664	91	0,01304	68	0,00974
600	812	0,11632	189	0,02707	103	0,01475	75	0,01074
625	1608	0,23034	243	0,03481	97	0,01389	59	0,00845
650	1636	0,23435	369	0,05286	116	0,01662	52	0,00745
675	91	0,01304	524	0,07506	149	0,02134	62	0,00888
700	333	0,04770	1136	0,16273	159	0,02278	87	0,01246
725	80	0,01146	2376	0,34035	160	0,02292	83	0,01189
750	4	0,00057	173	0,02478	212	0,03037	82	0,01175
775	0	0	78	0,01117	308	0,04412	95	0,01361
800	0	0	304	0,04355	412	0,05902	118	0,01690
825	0	0	99	0,01418	683	0,09784	131	0,01877
850	0	0	12	0,00172	1298	0,18593	129	0,01848
875	0	0	0	0	1718	0,24610	144	0,02063
900	0	0	0	0	150	0,02149	179	0,02564
925	0	0	0	0	69	0,00988	236	0,03381
950	0	0	0	0	58	0,00831	306	0,04383
975	0	0	0	0	309	0,04426	431	0,06174
1000	0	0	0	0	50	0,00716	819	0,11732
1025	0	0	0	0	0	0	1064	0,15241
1050	0	0	0	0	0	0	1563	0,22389
1075	0	0	0	0	0	0	143	0,02048
1100	0	0	0	0	0	0	59	0,00845
1125	0	0	0	0	0	0	37	0,00530
1150	0	0	0	0	0	0	286	0,04097
1175	0	0	0	0	0	0	74	0,01060
1200	0	0	0	0	0	0	37	0,00530
1225	0	0	0	0	0	0	0	0,00000
SUM:	6981	1	6981	1	6981	1	6981	1

15.4 Intervjuer

Sven-Arvid Eriksson, SAEAB.

Data för godståg 2021-12-03

Carl-Magnus Persson och Lars Holmgren, Trafikverket.

Regelverkshistorik 2021-12-07

Marika Thalén, Trafikverket.

LTS-tåg 2022-01-03

Lars Strand, LKAB Malmtåg.

Malmtågen 2022-01-03

Anders Persson, Trafikverket

Historik mm 2022-03-10

Staffan Viklund, Trafikverket

Historik mm 2022-03-15

Erik Åkerberg, Trafikverket

Allmän diskussion om skyddsavstånd 2022-03-23

Ulf Pålsson, Trafikverket Konsult

Historik mm 2022-03-24, 2022-04-01

Stefan Schneider och Per Svensson, Knorr-Bremse

Bromsberäkningar 2022-03-29

Karin Sjöström, Trafikverket, Nationella OSPA-gruppen

OSPA-statistik 2022-03-31

Michael Blomhage, Trafikverket, Nationella OSPA-gruppen

Allvarlighetsklassificeringar och OSPA-hanterings historik 2022-04-08

Samuel Eden, Trafikverket konsult

ERTMS 2022-04-08

Tore Vernersson, Docent Chalmers
Bromsblock 2022-05-06

Johan Mattisson, Emma Dyrssen och Magnus Backman, Trafikverket
Kapacitetscenter
Skyddsavstånd och kapacitet 2022-05-13