

ERTMS

- approximation av lutningar för högre kapacitet på järnvägsnätet



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för teknik och samhälle

Examensarbete:
Jan Näpärä
John Pettersson

© Copyright Jan Näpärä, John Pettersson

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 2012

Sammanfattning

ERTMS

- approximation av lutningar för högre kapacitet inom järnvägsnätet

Ådalsbanan är en järnvägsbana som uppgraderats från det befintliga signalsystemet till ERTMS. När detta gjordes upptäcktes ett problem, det fanns för många lutningsbrytpunkter på banan för att systemet skulle klara av dem utan att försämra kapaciteten. Detta på grund av att systemet inte kan hantera mer än 31 lutningar per körtillstånd, som kan vara så långa som 10000 meter. Därför togs en tillfällig lösning fram där lutningar som låg bredvid varandra och maximalt inom ett intervall på tre promille helt enkelt slogs ihop. Vidare har det kommit fram att detta kanske inte kommer räcka till som en nationell lösning och vår uppgift har varit att ta fram en sådan.

Vi har därför tagit fram tre olika alternativ för att sedan lämna in dem för granskning hos olika medarbetare på Vectura.

Det första alternativet var att göra likadant som i lösningen för Ådalsbanan fast med fler intervall. Det andra alternativet var att dividera 10000 med 31 och sedan gå in på början av banan och lägga ihop lutningar tills de minst blev 330 meter. Sträckan approximerades sedan efter den lägsta lutningen. Det sista alternativet var att approximera efter medellutningen på en sträcka där lutningarna låg inom ett intervall på tre promille.

Beräkningar gjordes för att ta fram påverkan på banans medellutning, antal lutningar som eliminerades och vilka intervall i alternativ ett som var bäst för olika antal lutningar på banan.

Med hjälp av granskningen har alternativen vidareutvecklats. Alternativ tre ändrades så att den skulle vara mer lik alternativ två - lutningarna skulle helt enkelt läggas ihop tills de blev 330 meter och sedan skulle approximationen göras med hjälp av medellutningen på den sträckan. Denna lösning blev också vår slutgiltiga lösning då vi såg mest potential i den. Vi har dock valt att ta med alternativ ett som en reservlösning utifall att vår slutgiltiga lösning inte uppfyller de höga kraven som ställs på säkerheten.

Vidareutvecklingen av examensarbetet ligger i att räkna fram hur säker den slutgiltiga lösningen faktiskt är.

Nyckelord: ERTMS, ETCS, GSM-R, lutningar, approximation, järnväg, Ådalsbanan, signalsystem

Abstract

ERTMS

- approximation of gradients for higher capacity in the railway network

Ådalsbanan, an existing railway-line in northern Sweden, is a line that has been upgraded from the current Swedish signaling system, ATC, to the new standard in Europe, ERTMS. While the upgrade was ongoing there was a problem discovered, there were too many gradients on the line for the system to handle. This is because the system can't handle more than 31 gradients on one movement authority, which can be up to 10000 meters long. The problem was solved by doing a temporary solution specially meant for Ådalsbanan. The solution was to merge gradients that were placed next to each other and within an interval of three per mille. Further on it has come to conclusion that this probably wouldn't be efficient enough to be a nationally excepted solution, our mission has been to find such a solution.

We have developed three different solutions which have been forwarded for review to different persons at the company that we are doing this thesis for, Vectura. The first solution was to do as in the solution for Ådalsbanan but with different intervals. The second solution was to divide the 10000 meters with the 31 allowed gradients and then start in the beginning of the line and merge gradients until they were at least 330 meters long together. The stretch was then approximated after the lowest gradient on it. The third solution was to approximate according to the average of a stretch where the gradients were within an interval of three per mille.

Calculations were done to retrieve the impact on the average of the gradients on the line, number of gradients that were eliminated and which interval in solution one that should be chosen for different set of gradients. The solutions were developed with help of the feedback from the review. Solution number three was changed so that it would be more alike solution number two – the gradients are merged until they are over 330 meters and then approximation was done according to the average of that stretch. This solution was also chosen as our final solution since we feel that it has the biggest potential. However, we chose to have solution number one as a back-up solution in case that our final solution wouldn't satisfy the high security demands.

Further development of the thesis is finding out how safe the final solution really is.

Keywords: ERTMS, gradients, approximation, ETCS, GSM-R, railway, signalling, Ådalsbanan

Förord

Denna sida är nog den bästa och den mest vemodiga av dem alla. Det är den absolut sista vi skrev under arbetet och därmed också den avslutande sidan i vår utbildning till Högskoleingenjör i byggt teknik med inriktning - Järnvägsteknik (180 hp) vid Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg.

Vårt arbete har varit en spännande och intressant utmaning att göra och vi har en del personer som hjälpt oss på vägen som vi verkligen vill tacka. De mest behjälpliga av dessa är vår handledare Johan Gustafsson, vår examinator Kristina Johansson och de som granskade vårt arbete; Ulrika Pettersson, Per Rosander och Jonas Henningson – Tack! Vi vill också tacka företaget vi gjort detta examensarbete hos, Vectura, för deras förtroende och deras engagemang till oss studenter, utan dem hade detta examensarbete aldrig blivit av. Slutligen vill vi också tacka våra familjer och vänner för det stöd och den hjälp vi fått, inte bara under detta examensarbete, utan också under hela vår utbildning.

John Pettersson har skrivit:

Definitioner och förklaringar, kap 2.2.2 (och underrubriker), 2.2.3, 2.2.4 (och underrubriker), 3 (och underrubriker), 4.1, 4.2, 5.1 och kap 7.

Jan Näpärä har skrivit:

Abstract, kap 1 (och underrubriker), 2.1, 2.2, 2.2.1 , 5, 5.2 (och underrubriker), 6 (och underrubriker), 8 (och underrubriker) och kap 9 (och underrubriker).

Övrigt arbete

John Pettersson:

Tabeller, Bilaga 2 och Bilaga 5

Jan Näpärä:

Referenser och Bilder

Allt arbete som inte räknats upp ovan är arbete vi båda gjort tillsammans. Det bör tilläggas att all den text som finns efter kap 5 såklart är gemensamt framdiskuterad utom kapitel 7.

Än en gång ett stort tack till alla er som hjälp oss med detta arbete. Tack!

Helsingborg, maj 2012

Jan Näpärä

John Pettersson

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Syfte och mål	2
1.2 Problemformulering.....	2
1.3 Metod	3
1.4 Avgränsningar	3
2 Signalsystem	4
2.1 Automatic Train Control, ATC.....	4
2.2 European Rail Traffic Management System, ERTMS	5
2.2.1 Utbyggnad.....	6
2.2.2 European Train Control System, ETCS	8
2.2.2.1 ETCS Marksystem	8
2.2.2.2 ETCS Ombordsystem	8
2.2.3 GSM-R	9
2.2.4 Nivåer.....	10
2.2.4.1 Nivå 0.....	10
2.2.4.2 Nivå STM.....	10
2.2.4.3 Nivå 1.....	11
2.2.4.4 Nivå 2.....	11
2.2.4.5 Nivå 3.....	12
3 Detaljfördjupning ERTMS	13
3.1 Informationsutbytet	13
3.2 Bygghandlingar.....	13
3.2.1 Linjeberäkning.....	14
3.2.2 ETCS-plan.....	14
3.3 Bromskurvor ERTMS.....	16
4 Nulägesbeskrivning	17
4.1 ATC	17
4.2 ERTMS	18
5 Lösningar	19
5.1 Nuvarande lösning.....	20
5.2 Förslag till lösningar.....	21
5.2.1 Alternativ 1	21
5.2.2 Alternativ 2	24
5.2.3 Alternativ 3	26
6 Beräkningar	28
6.1 Nuvarande lösning.....	28
6.1.1 Referensbanan.....	28
6.2 Alternativ 1	29
6.2.1 Referensbanan.....	32

6.3 Alternativ 2	33
6.3.1 Referensbanan	33
6.4 Alternativ 3	33
6.4.1 Referensbanan	35
6.4.1.1 Alternativ 3a.....	35
6.4.1.2 Alternativ 3b.....	35
7 Granskning	36
8 Analys av lösningarna	40
8.1 Nuvarande lösning	40
8.2 Alternativ 1	40
8.3 Alternativ 2.....	42
8.4 Alternativ 3.....	42
8.4.1 Vidareutveckling av alternativ 3.....	44
9 Slutsats/Slutgiltig lösning	47
9.1 Vidareutveckling.....	47
Referenser	48
Bilagor	51

Definitioner och förkortningar

\oplus	<i>Matematisk symbol vars betydelse är "antingen eller".</i>
ATC	<i>Automatic Train Control, är ett signalsystem som används i Sverige och Norge. Dess huvudsyfte är att automatiskt bromsa tåget vid fara, alltså när hastighetsprofilen överskrids eller när lokföraren passerar en röd signal.</i>
approximation	<i>Ett närmevärde eller en metod för att beräkna ett närmevärde.</i>
balis	<i>Baliser är moduler som är placerade utmed spåret och skickar information till tåget vid passage.</i>
bandel	<i>En bandel är en delsträcka av en bana och sträcker sig mellan två driftsplatser som binder ihop flera banor.</i>
bromskurva	<i>Med en bromskurva menas hela bromsförfarandet för ett tåg som skall stanna vid en specifik slutpunkt.</i>
ERTMS	<i>European Rail Traffic Management System, är ett standardiserat signalsystem för trafikering av tåg som EU tagit fram. Detta signalsystem skall tillämpas vid nybyggnation och omfattande upprustning av alla järnvägslinjer inom EU. ERTMS innefattar två stora system, ETCS och GSM-R.</i>
ETCS	<i>European Train Control System, är ett automatiskt tågkontrollsystem som har huvudsyftet att jämföra tågets hastighet med den största tillåtna hastigheten och bromsa tåget automatiskt om den hastigheten skulle överskridas.</i>
EOA	<i>End Of Authority, är slutpunkt för ett MA.</i>
GSM-R	<i>Global System for Mobile Communications - Railway, är ett mobilnät som används till att skicka data till och från tåg samt för tele- och radiokommunikation.</i>

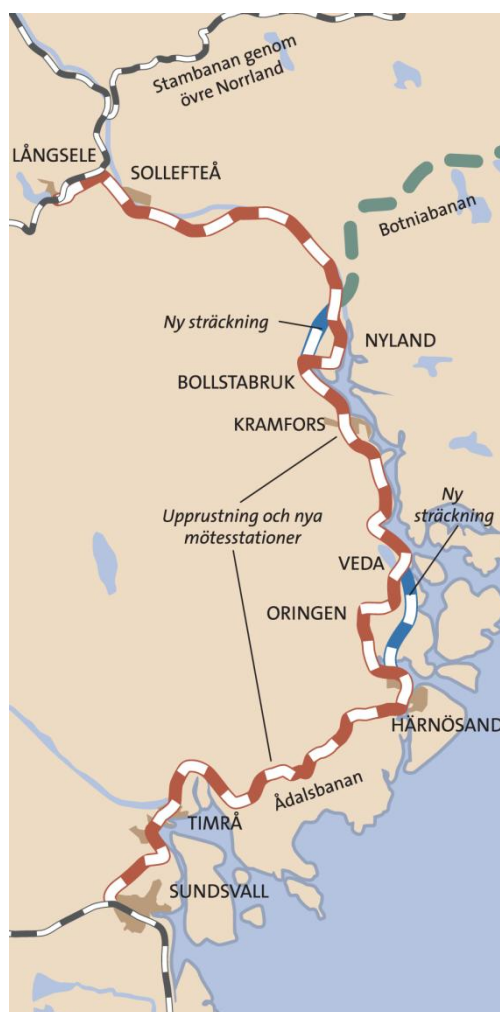
<i>LRBG</i>	<i>Last Relevant Balise Group, är den senast passerade länkade balisgruppen.</i>
<i>lutningsbrytpunkt</i>	<i>Övergång från en lutning till en annan.</i>
<i>länkad balisgrupp</i>	<i>Med länkning menas att avståndet är länkat till föregående balisgrupp och skickas till tåget som då vet om när nästa balisgrupp kommer passeras. Länkning av balisgrupper är till för att detektera bortfall av en balisgrupp.</i>
<i>MA</i>	<i>Movement Authority, är ett körtillstånd som sträcker sig från LRBG till en slutpunkt. Ett MA kan maximalt vara 10000 meter i Sverige.</i>
<i>signalpunktstavla</i>	<i>En signalpunktstavla kan markera infartssignalpunkt och mellansignalpunkt på driftplatser med en fyrkantig skylt, se kap 2.2.4.4 figur 8. En signalpunktstavla kan också markera utfartssignalpunkt och linjesignalpunkt och har då en rund tavla.</i>

1 Inledning

I Sverige finns det två olika signalsystem som används på det nationella tågnätet, dessa två är Automatic Train Control, ATC och European Rail Traffic Management System, ERTMS. Det senare är det signalsystem som nu, på stor skala, är på väg att införas i hela Europa. Detta arbete handlar om att få ERTMS att fungera så bra som möjligt, speciellt sett till vertikallutningar längs med banorna eftersom dessa, om de är för många, gör så att banans kapacitet minskar. Anledningen till att det sker en kapacitetsminskning är för att systemet inte klarar av mer än ett visst antal lutningar och om då antalet är för stort kortas tågens tillstånd att köra.

Ådalsbanan är en 18 mil lång järnvägslinje som ligger i nordöstra Sverige och sträcker sig från Sundsvall till Långsele. Banan är projekterad efter samma standard som Botniabanan och ska därför också klara av en axellast på 25 ton och samtidigt vara utrustat med ERTMS. Till skillnad från Botniabanan är dock inte Ådalsbanan en nybyggnation, utan till största del en upprustning av den befintliga banan. Det är också den första befintliga banan i Sverige som uppgraderas till ERTMS. Det var i detta pilotprojekt som det också upptäcktes att lutningar skulle bli ett hinder för att kunna utnyttja systemets fulla kapacitet. För detta hinder togs en lösning fram, speciellt anpassad för Ådalsbanan, som gick ut på att få ner antalet lutningar genom approximation. Vi ska i detta arbete undersöka denna lösning och se om det faktiskt finns någon bättre. Detta ska vi göra genom att ta fram egna lösningar och jämföra dessa med Ådalsbanan som referensbana.

Vårt arbete är således värdefullt för framtida ERTMS-projekt om det leder till att vi kan ta fram en lösning som alltså är bättre än den som idag redan finns.



Figur 1: Ådalsbanan (Trafikverket 2011f).

1.1 Syfte och mål

Syftet med rapporten är att vi ska ta fram en genomtänkt och bra lösning på problemet som ska vara så nära de verkliga förutsättningarna som möjligt utan att äventyra säkerheten. Den lösningen som i slutändan anses vara den bästa kan alltså vara en lösning som vi tagit fram själva eller en komplettering av den tillfälliga lösningen som finns i dagsläget. Det finns även en möjlighet att den tillfälliga lösningen, utan ändringar eller tillägg, också är den bästa.

Målet för oss är att vi ska ta fram en lösning som passar alla banor, oavsett utformning. Detta mål innebär att vi också ska diskutera eventuella undantag eller åtgärder vid de fall då ett approximationsförslag inte skulle räcka till då en bana helt enkelt har för många och för stora lutningsändringar. När vi dit hoppas vi också nå vårt slutliga mål som är att vi ska finna en lösning som är bättre än den som finns idag och att den lösningen ska bli en standard i framtida järnvägsprojekt med ERTMS.

1.2 Problemformulering

Ett körtillstånd, Movement Authority, MA, kan endast innehålla max 31 brytpunkter för lutningar. Eftersom denna sträcka kan vara uppåt 10000 meter lång kan också dessa 31 brytpunkter överstigas snabbt, då vissa lutningar bara är så korta som 20 meter. För att kunna utnyttja ERTMS kapacitet till fullo, ska tåget också kunna få ett MA som är 10000 meter långt. Har banan då för många lutningar på den sträckan måste alltså en del av lutningarna elimineras så att det som allra mest är 31 brytpunkter i MA:t. Elimineringen kan göras genom att banan projekteras om och därmed blir jämnare, men den lösningen är inte alltid ekonomiskt hållbar då själva konverteringen till ERTMS är den första prioriteringen i budgeten. Istället för att då projektera om banan, görs approximationer av lutningarna där det behövs. För en bana med det gamla svenska signalsystemet, Automatic Train Control, ATC, finns en standard för hur detta ska gå till, men för ERTMS finns än så länge bara en tillfällig lösning gjord specifikt för Ådalsbanan. Problemet för framtida uppgraderingar av befintliga banor som ska upprustas med ERTMS är alltså att det saknas klara direktiv. Vårt jobb är att ta fram ett förslag på en grund till ett sådant direktiv så att diskussioner om hur approximationen ska gå till kan undvikas.

1.3 Metod

Arbetet har genomförts som en litteraturstudie och en idéstudie, där vi tagit fram förslag och sedan tittat på förslagen för att se dess för- och nackdelar. Vi har också jämfört våra alternativ med det alternativ som idag redan finns och har tagits fram speciellt för Ådalsbanan.

En del av idéstudien är beräkningar av de olika alternativen. I dessa beräkningar har medel för lutningarna tagits fram för att se skillnaden mellan dessa. Dessutom har beräkningsmetoder ur European Economic Interest Group (2008) använts. Förutom dessa beräkningsmetoder har även allmänt kända formler från fysiken brukats.

Våra förslag som vi tagit fram har sedan också granskas av, för detta arbete, utomstående personer på Vectura för att förhoppningsvis kunna verifieras som säkra och bra lösningar. Dessa personer har även gett oss feedback så att vi i vår slutdiskussion har kunnat utse den lösning vi anser vara den bästa.

1.4 Avgränsningar

Arbetet behandlar endast signalsystemet ERTMS i stort, fokus ligger på hanteringen av lutningar. Arbetet behandlar även det nuvarande signalsystemet ATC i stort, där också med fokus på lutningshantering. Delarna som handlar om ATC innehåller inte några beräkningar eller egna tankar utan framställer endast fakta som redan finns. De bandelar vi blivit tilldelade och som finns i bilaga 1 har endast använts för beräkningar av alternativ 1. Bromskurvsberäkning har inte gjorts och de olika alternativen har endast testats på Ådalsbanan.

2 Signalsystem

Kapitlet handlar om de två olika svenska signalsystemen som används på det nationella järnvägsnätet. Detta för att ge dig som läsare en större förståelse för hur vårt problem ser ut och varför vi senare väljer att ta de beslut vi tar.

2.1 Automatic Train Control, ATC

Automatic Train Control, eller ATC som det kallas, är ett signalsystem för järnvägstrafik som idag används i Sverige och Norge (Trafikverket, 2012a). Den version vi i Sverige idag har och använder kallas för ATC-2. ATC har funnits i användning i vårt avlånga land ända sedan 1980 (ATC-1). Själva grundprincipen för systemet är att tåget har en dator ombord som med hjälp av antenner i tåget läser av radiosändare som ligger i spåret, så kallade baliser. Baliserna innehåller information som de sänder till tåget med hjälp av ”telegram” som gör att datorn ombord kan hjälpa lokföraren att föra fram tåget på ett säkert sätt. Lokföraren har förutom detta optiska signaler, signalbilder, till hjälp, vilka också gör att ett tåg som helt saknar ATC kan föras fram på spåret, dock till en större begränsning eftersom Största Tillåtna Hastighet, STH, då ATC saknas endast är 80 km/h. Signalbilderna har egentligen inte mycket mer att göra med de data som omborrdatorn får mer än att de ger en ledtråd om hur restriktivt ett besked är. Telegrammen som baliserna skickar till tågen innehåller nämligen mer information än signalbilderna. Informationen är bland annat tågets hastighet, banans lutning, hastighet som gäller från nästkommande signal, avstånd till nästkommande signal och längd till målpunkt. Hastigheten kan till skillnad från signalbilderna, som bara ger stopp, 40 km/h eller 80 km/h, ges i fem/tiotal kilometer per timme upp till 200 km/h (signalsystemet klarar dock i teorin upp till 270 km/h). Det är med all denna information som omborrdatorn sedan också räknar ut hur tåget ska föras fram för att inte bryta mot de direktiv lokföraren fått. Enkelt sett fungerar detta så att datorn, med hjälp av telegrammen och förinställd information som tågets högsta hastighet, längd, bromsarnas fördröjningstid, tågets retardation och procentuellt överskridande av hastighetsbegränsning för tåg med specialtillstånd, räknar ut en bromskurva. Bromskurvan använder sedan datorn ombord på tåget för att se till att, om föraren kör fortare än vad som är meningen för att hinna stanna vid nästa signal som visar stopp, bromsa ner tåget till den tänkta hastigheten. Om föraren passerar en stoppsignal kommer också datorn att ingripa och i slutändan nödbromsa tåget (Städje, 2008).

2.2 European Rail Traffic Management System, ERTMS

En lastbil kan i dagens Europa i praktiken köra över gränserna utan att egentligen ens stanna. För tåg kan däremot samma sak vara svår, om inte helt omöjlig. Det krävs flera saker som kan stå i vägen för vidare trafik som exempelvis rätt spårvidd, rätt spänning, rätt frekvens på strömmen som ska tas emot och sist men inte minst signalsystemet (European Commission's Directorate-General for Mobility and Transport, ECDGMT, 2006). Inom järnvägen i Europa finns idag mer än 20 olika signalsystem som inte, utan hjälp, är kapabla att kommunicera med varandra. Ett enda lok kan vara utrustat med så många som sju olika system för att kunna köra mellan olika länder (Unife, 2012). Det är också det stora antalet olika signalsystem som ansetts vara det största problemet vid tågtrafik över gränserna (ECDGMT, 1996).

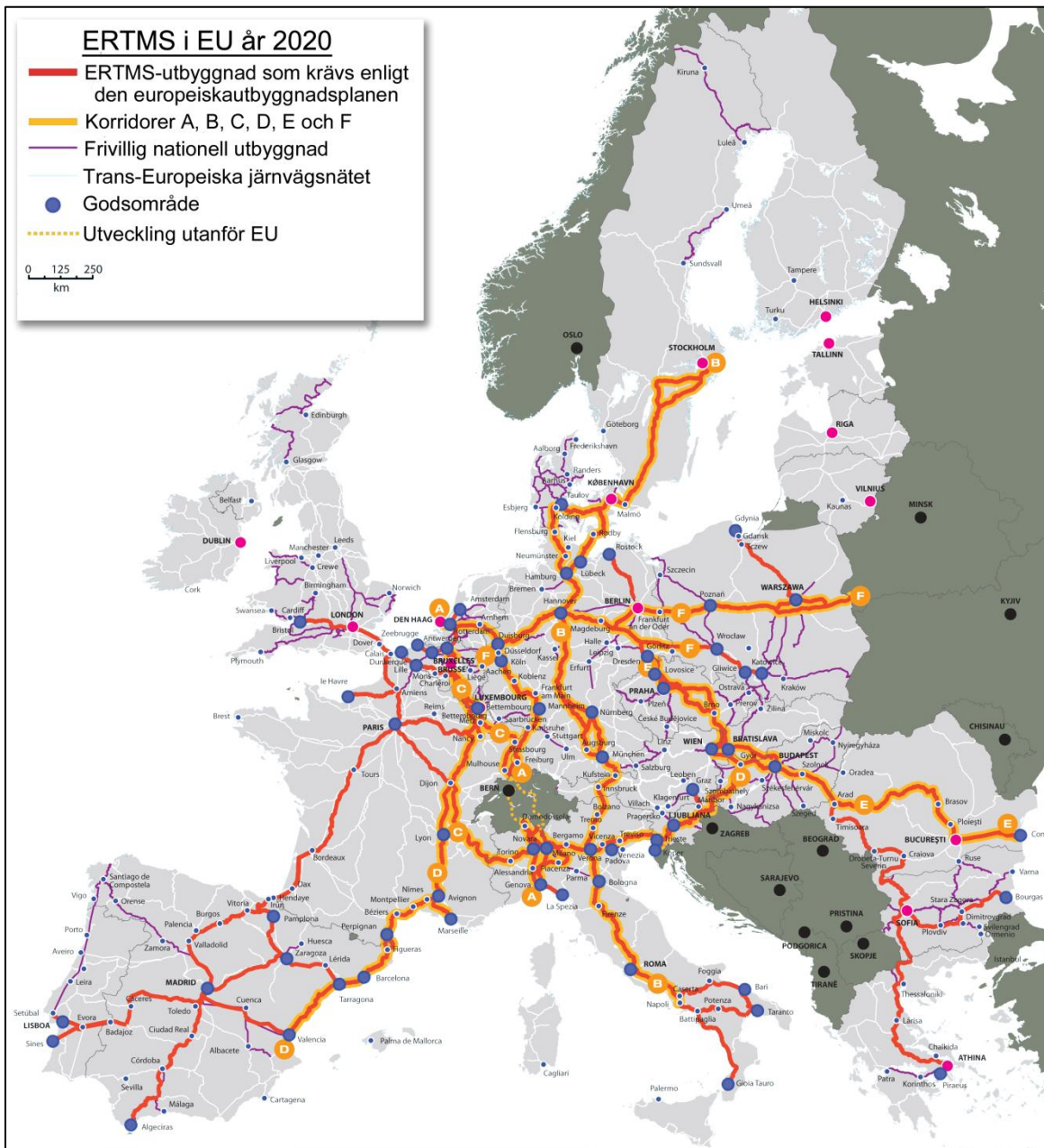
Signalsystemen har också varit ett hinder för en utveckling av högre hastigheter (200 km/h och högre) inom järnvägen. Europeiska kommissionen tog därför år 1990 beslutet att prioritera problemet och arbetet mot dagens ERTMS startades (ECDGMT, 1996). Det positiva med att införa ett standardiserat signalsystem är, förutom att det ska bli enklare att korsa gränser och att köra snabbare, att banan får en högre kapacitet och samtidigt så behåller den säkerheten på en hög nivå. Dessutom ska standardiseringen i slutändan också leda till fler tillverkare och därmed också lägre priser (Trafikverket, 2011a).

Det finns idag åtta olika företag som tillsammans med EU, järnvägsintressenter och mobilindustrin utvecklar ERTMS. Mobilindustrins inblandning beror på att ERTMS består av två delsystem varav det ena är ett mobilnät kallat för GSM-R. Det andra delsystemet kallas för European Train Control System, ETCS (The European Rail Traffic Management System, ERTMS, 2012a).

Skillnaderna mellan ATC och ERTMS är inte så stora, ERTMS har också baliser, signaler och spårledning, men till skillnad från ATC har ERTMS också olika nivåer som styr vad som ingår i signalsystemet (Trafikverket, 2012). Beroende på vilken nivå som tillämpas fungerar inte baliserna heller som i ATC-systemet då informationen helt enkelt sänds en annan väg (Unife, 2012b). Där utöver kan ERTMS hantera mer informationsutväxling än ATC både genom GSM-R och genom baliser. Baliserna, så kallade eurobaliser, kan hantera över 30 gånger mer data än de baliser som används i ATC (Städje, 2008).

2.2.1 Utbyggnad

Eftersom ERTMS bland annat har som uppgift att förenkla gränsövergångar med tåg kommer det även behövas banor utrustade med ERTMS som korsar gränserna (ERTMS, 2012b). En utbyggnadsplan för ERTMS i EU finns idag och visar vilka banor som ska vara utrustade med systemet år 2020. Denna plan är juridiskt bindande för alla medlemsländer och enligt den ska vissa sträckningar alltså vara utrustade med ERTMS redan i slutet på 2015. Den del av korridor B som berör Sverige behöver däremot inte stå klar förrän senast 31 december år 2020 (Europeiska Kommissionen, 2009).



Figur 2: ERTMS i EU 2020 (EuroGeographics, 2001).

Förutom den generella planen för EU ska också varje medlemsland ha en egen plan för utbyggnaden av ERTMS. Denna plan ska innehålla alla spår som ingår i det transeuropeiska transportnätverket, TEN, på kartan alla mörka streck. För Sveriges del finns en plan som sträcker sig fram till 2030 (Axelsson, 2007).

Införandeplanen enligt Trafikverket (2009b) lyder:

2008-2015

Malmö C, Botniabanan, Ådalsbanan, Haparandabanan, Citytunneln, Öresundsförbindelsen, Malmö-Hässleholm, Västerdalsbanan och ytterligare 5-6 lågtrafikerade banor

2016-2019

Hallsberg, Citybanan, Malmbanan, Hässleholm-Hallsberg, Hallsberg-Järna-(Stockholm) och Mjölby-Katrineholm

2020-2025

Hallsberg-Göteborg, Ostkustbanan, Arlandabanan, Väst kustbanan och Norge/Vänernbanan (Göteborg-Kornsjö)

2026-2030

Resterande TEN-nätet.



Figur 3: Det svenska järnvägsnätet, med TEN-nätet markerat med de mörkare strecken (Trafikverket, 2009b).

2.2.2 European Train Control System, ETCS

ETCS är ett automatiskt tågkontrollsystem, som i likhet med ATC, har huvudsyftet att jämföra tågets hastighet med den största tillåtna hastigheten och bromsa tåget automatiskt om den hastigheten skulle överskridas. ETCS gör det också möjligt att skicka och ta emot information över GSM-nätet, vilket leder till att det inte behövs lika mycket utrustning längs med banan som med ATC (European Commission, 2012) .

2.2.2.1 ETCS Marksystem

ETCS brukar delas in i två huvudsystem, ett ombordsystem och ett marksystem. ETCS marksystem innefattar all utrustning som finns längs spåret. Markutrustningen kan, som tidigare nämnts, variera eftersom det finns olika varianter av ERTMS, så kallade nivåer.

Huvudkomponenterna i marksystemet är Eurobaliser, LEU-kodare, och Radioblockcentraler. Eurobaliserna skickar information till tåget i form av fasta meddelanden. LEU-kodare kodar balisen så att rätt information skickas till tåget. Radioblockcentraler, RBC, styr och övervakar tågtrafiken (Trafikverket, 2011b).

2.2.2.2 ETCS Ombordsystem

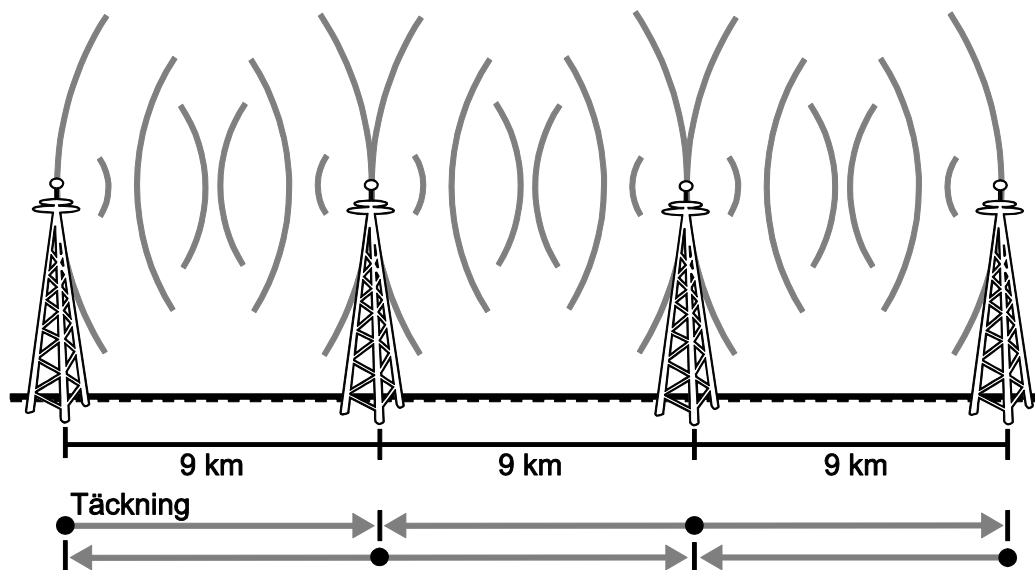
Ombordsystemet innefattar ETCS-utrustningen som finns ombord på tågen som också är obligatorisk för att kunna trafikera banor som är utrustade med ERTMS. Huvudkomponenterna för ombordsystemet är en omborddator, förarpanelen, balistransmissionsmodulen samt balisantennen.

All information tas upp av tågets balisantennen och transmissionsmodulen och skickas sedan vidare till omborddatorn. Omborddatorns huvudsyfte är att säkerställa att hastighetsrestriktionen efterföljs och att tåget absolut inte kan passera en signalpunkt med stoppbesked. Skulle detta ske, kommer tåget att bromsa automatiskt. Själva förarpanelen ger lokföraren all den information som är nödvändig för att kunna föra fram tåget utan att överskrida den tillåtna hastigheten och därmed äventyra säkerheten (Trafikverket, 2011b).

Omborddatorn håller också alltid reda på den senast passerade balisgruppen, Last Relevant Balise Group, LRBG, och längden den sträcka som fordonet färdats efter passagen. All information som skickas till tåget utgår alltid från positionen för LRBG och slutar där själva MA:t också slutar, alltså End Of Authority, EOA (Trafikverket, 2011c).

2.2.3 GSM-R

Det svenska GSM-R-nätet kallas för SIR, Swedish International Railway radio. Nätet används idag i huvudsak till tele- och radiokommunikation, exempelvis mellan driftcentral och tåg. Det är också baserat på samma specifikationer som de kommersiella GSM-näten fast med lite fler funktioner och en annan frekvens. SIR har också väldigt bra täckning längs järnvägen eftersom basstationerna som sänder och tar emot information är placerade utmed den med 9 kilometers mellanrum. De är dessutom placerade så att om en basstation skulle sluta fungera så överlappas nätet ändå av de två intilliggande basstationerna, se figur 4 (Trafikverket, 2011b).



Figur 4: GSM-R-nätets täckning (Trafikverket, 2009b).

I och med utbyggnaden av ERTMS i Sverige används GSM-R nätet nu också för att skicka data i ERTMS Nivå 2 och 3. För att styra all data som ska skickas till och från tågen behövs RBC:er. RBC håller reda på var alla tåg befinner sig utmed en bana och skickar telegram med information till tågen. RBC innehåller all information om egenskaperna för banan, exempelvis största tillåtna hastighet, lutningar och längder. Dessa egenskaper används för att beräkna ett MA (Trafikverket, 2011d).

LRBG, som MA:t börjar vid, är en så kallad länkad balisgrupp. Med länkad balisgrupp menas att omborddatorn får dess position i förhållande till föregående balisgrupp. Detta för att tågets omborddator ska upptäcka om balisgruppen skulle vara utslagen och reagera därefter. De länkade balisgrupperna finns tätt placerade utmed spåret, oftast mindre än tusen meter emellan. Så fort tåget passerar en länkad balisgrupp blir den tågets nya LRBG och därmed kan ett nytt MA skickas. Slutpunkten för ett MA, EOA, är vid en signalpunktstavla, en stoppbock, eller en huvudsignal (European Railway Agency, ERA, 2010).

Innan RBC skickar iväg ett MA till ett tåg behöver det ett positionsbesked från tåget så att det vet att det är rätt tåg. Efter att RBC tagit emot positionsbeskedet skickas alltså ett MA. Detta innehåller den information som tåget behöver utmed den sträcka som MA:t sträcker sig. Kommunikationen mellan tåget och RBC sker kontinuerligt genom att tåget var sjätte sekund skickar ett positionsbesked. Samtidigt kontrollerar och övervakar RBC tågets framfart (Trafikverket, 2011d).

2.2.4 Nivåer

Det finns 4 olika systemnivåer i ERTMS, nivå 0 till nivå 3. Därutöver finns något som kallas nivå STM. Nivå 2 är det system som kommer bli vanligast i Sverige. Systemnivåerna är bakåtkompatibla så att tåg med ETCS-utrustning ska kunna köra på alla nivåer, dock med undantag för nivå STM där det krävs en extra modul (Trafikverket, 2011b).

2.2.4.1 Nivå 0

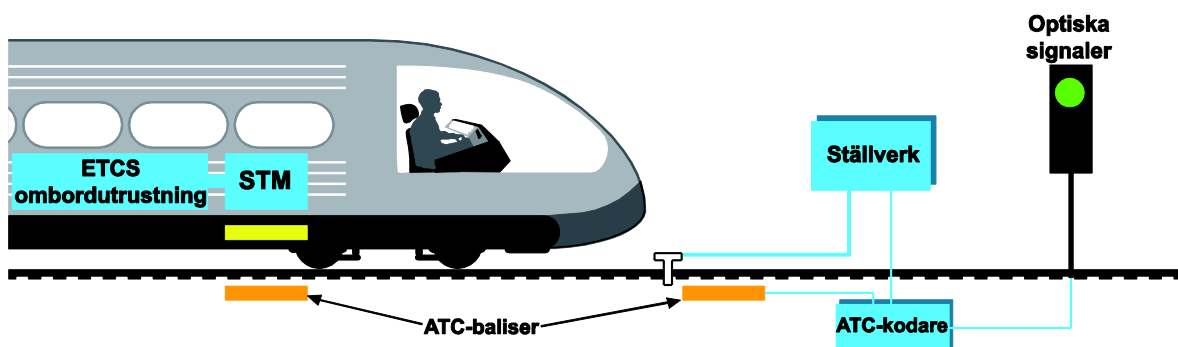
Nivå 0 tillämpas på banor som helt saknar signalsystem. Tågtrafiken dirigeras manuellt av två tågklarerare. Banor med nivå 0 kan ha infarts- och utfartssignaler vid driftsplatser som kan ses på bilden nedan. Spårledning saknas (Trafikverket, 2011b).



Figur 5: ERTMS Nivå 0 (Trafikverket, 2009b).

2.2.4.2 Nivå STM

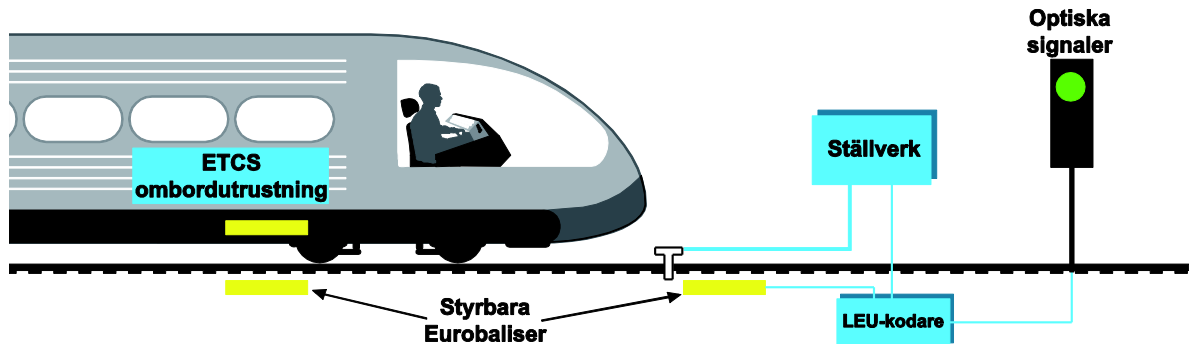
Nivå STM är i Sverige gjort för att kunna köra ETCS-utrustade tåg på ATC banor där ERTMS inte införts än. Där behövs en Specific Transmission Module, STM, i varje tåg som översätter ATC-beskederna åt ETCS-utrustningen. Denna nivå behövs eftersom fordonsparken blir anpassad för ERTMS innan banorna, och de flesta tågen kommer att bli tvungna att kunna köra på båda signalsystemen. I andra länder är STM anpassat för just det landets egna signalsystem och dess balisbesked (Trafikverket, 2011b).



Figur 6: ERTMS Nivå STM (Trafikverket, 2009b).

2.2.4.3 Nivå 1

Eftersom dagens GSM-R inte klarar av att ha alltför många tåg uppkopplade samtidigt så behöver nivå 1 tillämpas på de större stationerna, så som Malmö C, Stockholm C och Göteborg C. Denna nivå innebär att tågen får hastighetsprofil, MA och annan information från eurobaliserna istället för över GSM-R-nätet. Nivå 1 är den enda ERTMS-nivå som använder sig av LEU-kodare som kodar baliserna med rätt information som sedan skickas till tåget som passerar. Denna systemnivå är väldigt lik ATC då det, förutom detta, också innehåller spårledning och signaler (Trafikverket, 2011b).

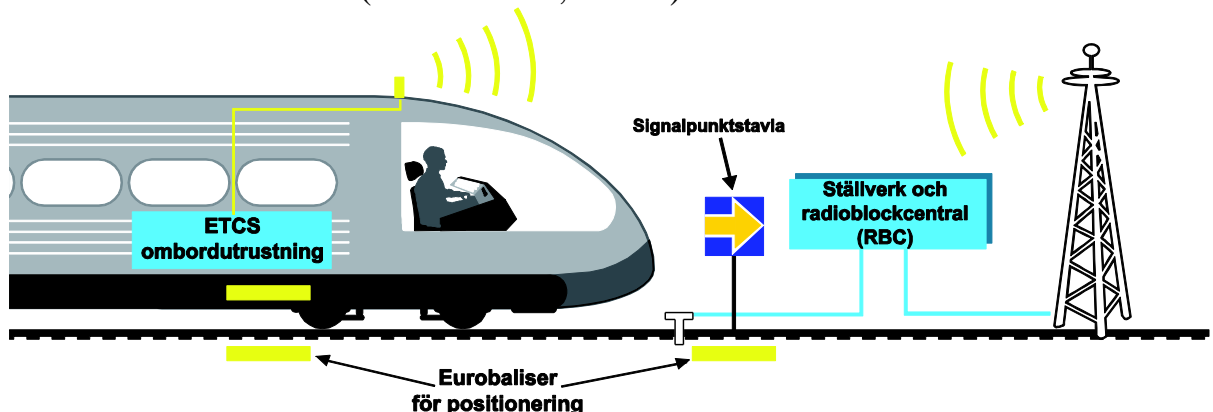


Figur 7: ERTMS Nivå 1 (Trafikverket, 2009b).

2.2.4.4 Nivå 2

Det är stor skillnad på Nivå 1 och Nivå 2. Fordonet får i denna nivå all information från en RBC, så som MA, hastighetsprofil, lutningsprofil m.m. Eurobaliserna ger endast ett positionsbesked till tåget efter passage och uppdaterar därmed tågets kilometerräknare.

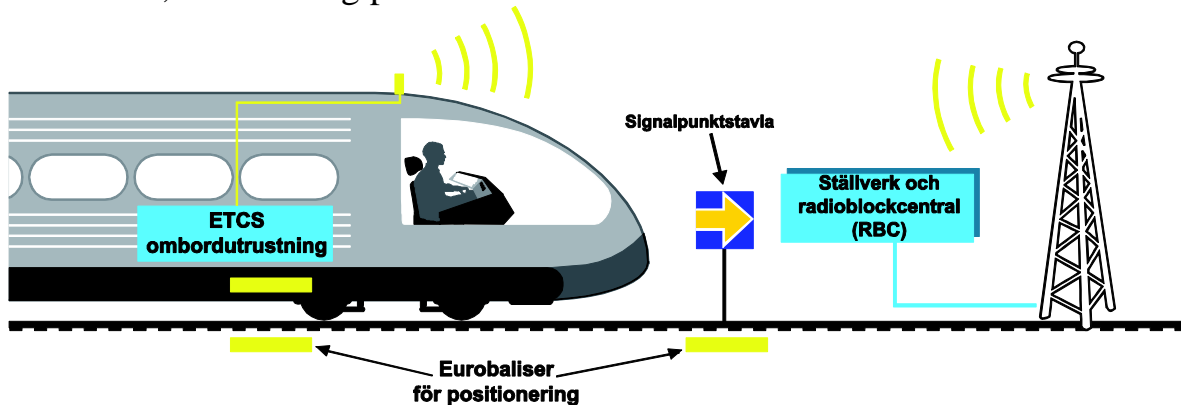
Kommunikation mellan RBC och fordonet sker kontinuerligt över GSM-R och istället för optiska signaler används också signalpunktstavlor. Spårledningen finns fortfarande kvar i denna nivå och därmed också säkerheten i hinderfrihetskontrollen (Trafikverket, 2011b).



Figur 8: ERTMS Nivå 2 (Trafikverket, 2009b).

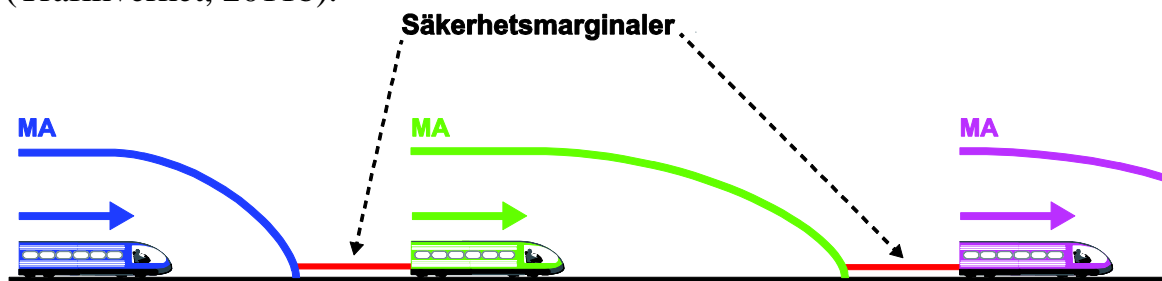
2.2.4.5 Nivå 3

Den stora skillnaden mellan Nivå 2 och Nivå 3 är att spårledningen tas bort. Detta leder till att de tidigare fasta blocksträckorna blir rörliga, så kallat moving block. I nivå 3 kan det därför rymmas fler tåg i den tidigare fasta blocksträckan till skillnad från ATC och de lägre nivåerna. Detta då en blocksträcka tidigare, oavsett längd, varit upptagen ända till dess att tåget lämnat det, alltså ett tåg per blocksträcka.



Figur 9: ERTMS Nivå 3 (Trafikverket, 2009b).

De rörliga blocksträckorna fungerar på så sätt att ett tåg får ett MA som stäcker sig till det framförvarande tåget minus en säkerhetsmarginal. Detta gör det möjligt att köra tätare trafik och därmed blir kapaciteten också mycket högre. Det är dock fortfarande oklart om hur rörliga blocksträckor kommer att realiseras, då tekniken för att göra systemet säkert är komplicerad (Trafikverket, 2011b).



Figur 10: Rörliga blocksträckor i ERTMS Nivå 3 (Trafikverket, 2009b).

I Sverige kommer en variant av nivå 3, ERTMS Regional, tillämpas på lågtrafikerade banor. Skillnaden är att ERTMS Regional har fasta blocksträckor precis som i de andra nivåerna istället för rörliga. En blocksträcka som är belagd av ett tåg blir ledig efter att tåget färdats en viss sträcka in på nästa blocksträcka. ERTMS Regional kommer framförallt användas på så kallade TAM-banor som idag inte har spårledning och sköts manuellt av tågklarare. Västerdalsbanan är en TAM-bana som går mellan Malung och Repbäcken, denna bana har också utsetts till pilotbana för ERTMS Regional (Trafikverket, 2011e).

3 Detaljfördjupning ERTMS

Som tidigare nämnts i avgränsningarna skall vi gå lite djupare in på ERTMS. I detta kapitel ska vi gå igenom hur data skickas till och från tåget. Vi ska också förklara vilka handlingar som dokumenterar lutningar på alla banor i Sverige.

3.1 Informationsutbytet

För att sända över data, så kallade telegram, till eller från tåget, använder sig som sagt ETCS av GSM-R-nätet för att därigenom kommunicera med RBC. I nivå 1 används dock baliserna som i dagens ATC då denna nivå som sagt används på platser där kapaciteten i GSM-R-nätet inte kommer att räcka till. Det som är positivt är att skillnaderna mellan ATC och ERTMS i detta fall är stora sett till Eurobalisernas möjlighet att skicka över stora data. Eurobaliserna har faktiskt, till skillnad från ATC-balisernas möjlighet att endast skicka 32 bitar data, möjligheten att skicka så mycket data som 1023 bitar (Städje, 2008).

Telegrammen som skickas till och från tågen är sammansatta i paket. Det finns 35 stycken olika paket med data som kan skickas till ett tåg. Exempelvis kan paketen innehålla hastighetsprofil, MA, största axellast, balisernas position, adhesionsfaktor, hastighetsnedsättningar och lutningsprofil. Tåget kan i sin tur endast skicka åtta paket med data, exempelvis positionsbesked, tågdata, telefonnummer och felrapporteringar. Utöver datapaketet finns också en möjlighet att skicka vanliga textmeddelanden från båda håll.

Alla datapaket är uppdelade i flera variabler som tillsammans ger den information som tåget behöver. I datapaketet för lutningsprofilen finns det ett antal variabler för varje lutning. Variablerna för en lutning anger hur långt ifrån LRBG som lutningen börjar, hur stor lutningen är och om lutningen är uppför eller nedför. Som tidigare nämnts i arbetet kan det endast få plats 31 brytpunkter för lutningar i paketet. Alla paket har sådana begränsningar, då GSM-R-nätet inte ska kunna bli överbelastat, eftersom all viktig information måste komma fram snabbt och utan hinder till och från tågen (ERA, 2010).

3.2 Bygghandlingar

Vi ska här gå in lite djupare på de handlingar som dokumenterar lutningar, detta för att veta vad som sedan skall approximeras.

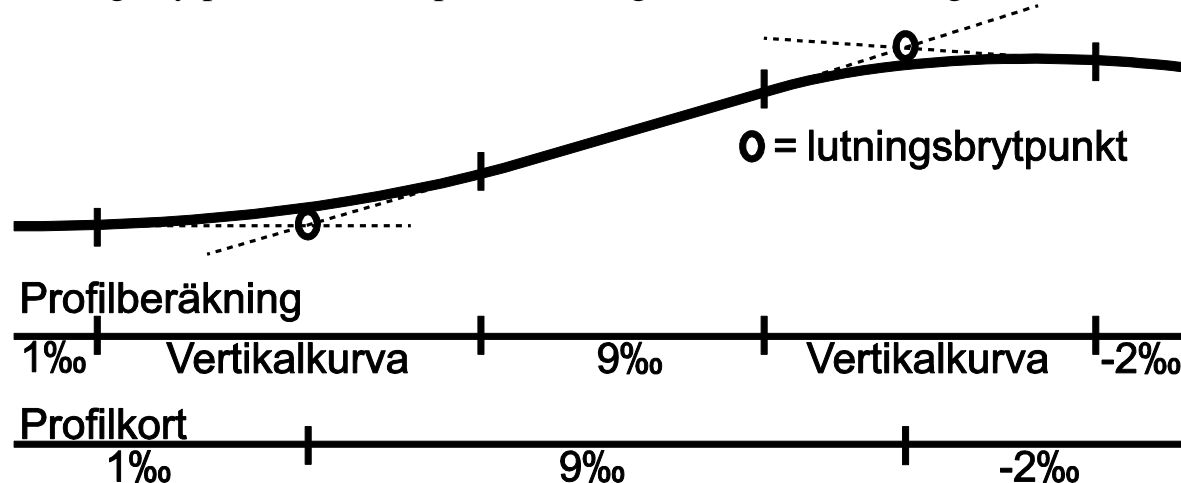
Vad vår handledare¹ berättat är de handlingar som tas fram vid projektering innan själva bygget så kallade bygghandlingar. Sen när väl bygget är igång görs det ofta en del ändringar i bygghandlingarna då det inte alltid i praktiken

¹ Föreläsning med vår handledare Johan Gustafsson 2012-02-17

går att bygga exakt så som bygghandlingarna anger. Om det behövs görs approximation av lutningar på en ERTMS-bana så görs det på lutningarna från bygghandlingens linjeberäkning. Efter byggnationen är avslutad görs bygghandlingarna om till förvaltningshandlingar som är de slutgiltiga handlingarna på banan.

3.2.1 Linjeberäkning

Bygghandlingens linjeberäkning dokumenterar vertikalprofilen på en bandel. I bilaga 6 kan ni se linjeberäkningen på en del av Ådalsbanan, den sträcka som vi också använder som referensbana i kapitel 6. Linjeberäkning är uppdelad i flera kapitel där kapitlet om profilberäkning och profilkort beskriver vertikalprofilen. Skillnaden mellan profilberäkning och profilkort är att vertikalkurvorna finns med i profilberäkningen. I profilkortet räknas vertikalkurvorna in i lutningarna bredvid istället. Detta görs genom att tangenter ritas på båda lutningarna som vertikalkurvan binder ihop. Lutningsbrytpunkten är den punkt där tangenterna korsas, se figur 11.²

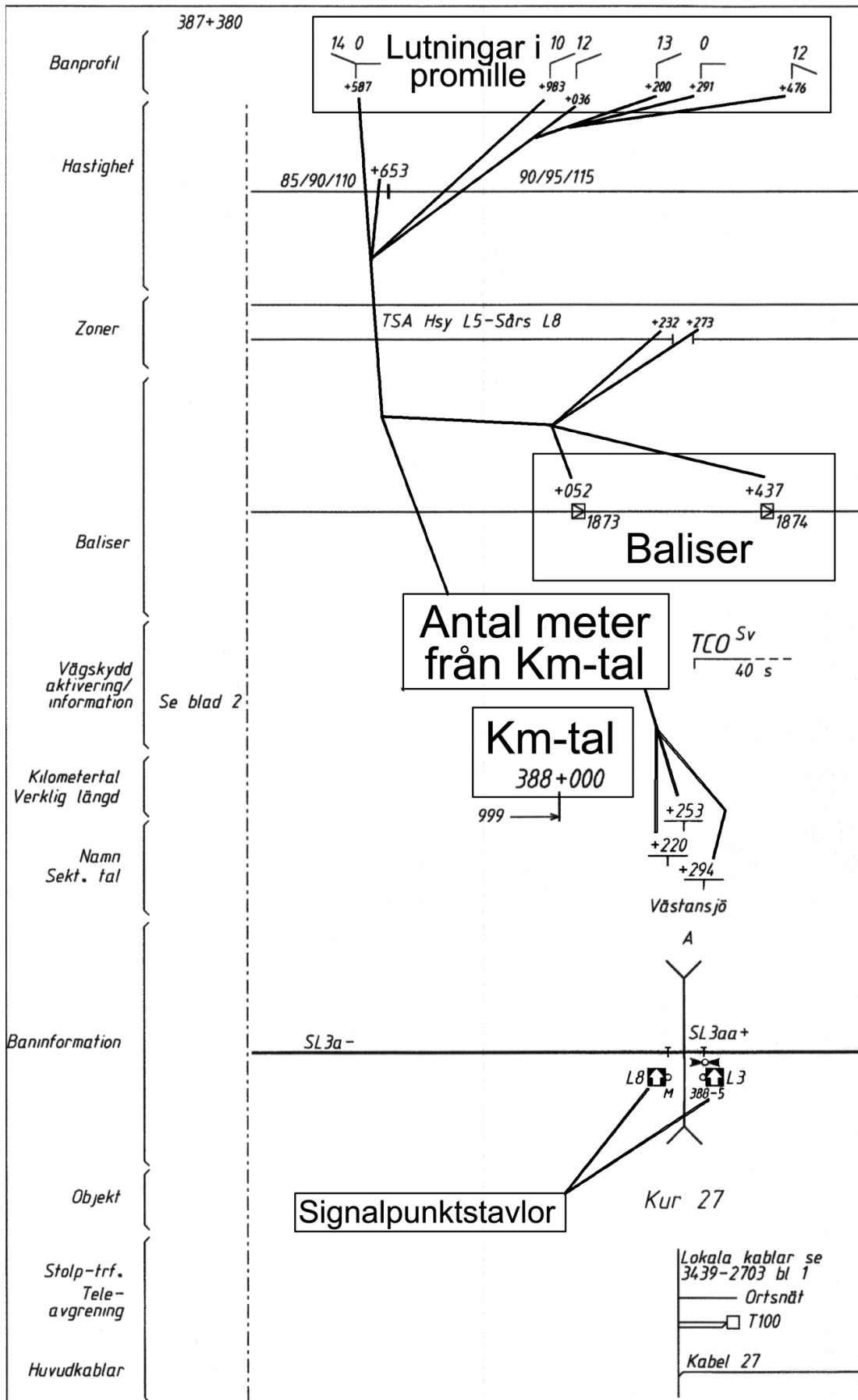


Figur 11: Skillnad mellan profilberäkning och profilkort mot verklig bana.

3.2.2 ETCS-plan

Bygghandlingens ETCS-plan, eller linjeplan som den kallas i ATC, visar allt inom signal och lite till utmed banan utmärkt med position. En ETCS-plan fungerar ungefär som en karta på ERTMS banor. Alla lutningar på ETCS-planen kommer från profilkortet och kan därför vara till stor hjälp vid approximation då alla start- och slutpunkter är utmärkta. I figur 12 kan ni se en del av en ETCS-plan från Ådalsbanan.²

² Föreläsning med vår handledare Johan Gustafsson 2012-02-17



Figur 12: Del av en ETCS-plan, bilaga 3.1.

3.3 Bromskurvor ERTMS

Beräkning av bromskurvor är mer komplicerad i ERTMS än i ATC. Omborddatorn i ETCS får mycket mer data än i ATC och bromskurvorna räknas ut med betydligt mindre marginal till slutpunkten. Därmed är det viktigare att vertikalprofilen stämmer överens med den verkliga profilen i ERTMS.³

I detta arbete kommer vi inte gå djupt in på hur approximation påverkar bromskurvorna. För att få så bra bromskurvor som möjligt har vi i de flesta av våra approximationsalternativ i kapitel 5 valt att inte approximera 750 meter innan slutpunkter vid mellantavlor på driftplatser. Detta för att tåg oftast stannar vid mellantavlor och ur kapacitetssynpunkt är det bra att ha så exakta bromskurvor till dem som möjligt.⁴

³ Ur Per Rosanders granskning 2012-05-11

⁴ Föreläsning med vår handledare Johan Gustafsson 2012-02-17

4 Nulägesbeskrivning

I detta kapitel går vi djupare in på hur det ser ut i nuläget vad gäller approximation av lutningar i de två stora signalsystemen, ATC och ERTMS.

4.1 ATC

Eftersom informationsutbytet är så mycket mindre i ATC-systemet jämfört med ERTMS är det därför inte möjligt att skicka alla lutningar från balis till omborddator. Istället görs en ganska grov approximation av lutningarna vid kodning av baliserna. En balisgrupp i ATC kan bestå av 2 till 5 baliser och det är bara en av dessa baliser som ger information om kommande lutning, vi kallar denna lutningsbalis. Balisen skickar endast en lutning till omborddatorn som då är en approximation av lutningarna ända fram till nästa länkade balisgrupp. Approximationen sker på så sätt att projektören använder den mest restriktiva lutningen längs sträckan och sen approximeras lutningen i steg om 5 ‰, exempelvis -5 ‰ eller -10 ‰. Alltså kan det vara så att nästan hela sträckan är 6 ‰ men om en liten bit är -4 ‰ kommer balisen kodas med -5 ‰. Det finns dock undantag där den mest restriktiva lutningen inte används, exempelvis om den är mitt ute på linjen och långt innan slutpunkt då den där kan anses obetydlig.

De lutningarna som är viktigast att ta hänsyn till i bromskurvsberäkning är de negativa lutningarna, alltså nedförslutningar, eftersom retardationen blir sämre och tåget då måste veta att det ska börja bromsa tidigare. Vid negativa lutningar är det alltså väldigt viktigt att lutningsbaliser används. Om det inte finns en lutningsbalis i balisgruppen räknar nämligen omborddatorn med en lutning på 0 ‰, alltså blir det en säkerhetsrisk. Det är också därför det inte alls är lika viktigt att använda sig av lutningsbaliser då den mest restriktiva lutningen längs sträckan är positiv, en uppförsbacke, då bromskurvan aldrig kan bli för lång och säkerheten inte kan äventyras. Är det däremot väldigt branta stigningar på mer än 10 ‰ blir bromskurvan alldeles för kort och tåget bromsar in för tidigt, vilket försämrar kapaciteten längs banan. Det är också av denna anledning lutningsbaliser ändå används vid positiva lutningar. Värt att tillägga är också att det kan finnas baliser mellan de länkade balisgrupperna som uppdaterar lutningen för den kvarvarande sträckan (Trafikverket, 2009a).

4.2 ERTMS

Enligt vår handledare⁵ är det så att det generellt sett inte ska göras approximation i ERTMS. Det finns idag heller inte några nationellt fastställda regler för hur lutningsapproximationer i ERTMS skall göras i de fall då antalet lutningar på en bana skulle överstiga de maximalt 31 på ett 10000 meter långt MA. Den enda framtagna lösningen som finns har tagits fram av Trafikverket genom ett samarbete med vår uppdragsgivare Vectura och är speciellt framtagen för att lösa problemet på just Ådalsbanan. Problemet upptäcktes, som tidigare nämnts, inte förrän vid projekteringen och blev också därför anpassat endast för den banans behov.

Skulle det vara så att approximation inte görs kommer RBC:n korta MA:t till en slutpunkt tidigare så att det maximalt blir 31 lutningar. Detta medför alltså att ett MA då kan bli onödigt kort vilket inte är att rekommendera. Anledningen till att ett MA ska vara så långt som möjligt är också för att kapaciteten ska vara så hög som möjligt. Ett långt MA är bra då tåget behöver tid på sig att bromsa och att accelerera, speciellt om det ska färdas i största tillåtna hastighet. Ett kort MA innebär alltså att vissa tåg inte kan komma upp i sin högsta tillåtna hastighet då sträckan är för kort för att hinna accelerera därmed minskar också kapaciteten.

Det finns alltså ett behov av en nationell lösning och det är också därför vi fick detta examensarbete föreslaget för oss. I kapitel 5.1 förklaras hur approximationen på just Ådalsbanan gått till.

⁵ Föreläsning med vår handledare Johan Gustafsson 2012-02-17 samt samtal 2012-05-16

5 Lösningar

Att försöka ta fram egna lösningar har för oss varit rätt problematiskt: samtidigt som vi ska tänka på säkerheten ska vi också tänka på att det på banan ska vara så få förändringar från den verkliga lutningsprofilen som möjligt. Vi har dessutom i början av arbetet inte haft tillräckligt med kunskap för att varken förstå eller våga närma oss någon specifik lösning, men allt efter att vi lärt oss om hur ERTMS och lutningsapproximation idag fungerar har vi också vågat börjat utforma olika alternativ. Ett av alternativen är faktiskt också en lösning som går emot det traditionella säkerhetstänket om att alltid approximera efter den mest restriktiva lutningen, alltså den lutning som är lägst. Tanken med den idén är att det ska vara möjligt att kunna gå emot säkerhetstänket ute på linjen där det är långa sträckor utan slutpunkter, men sedan inför slutpunkterna inte göra några approximationer, utan behålla lutningarna precis som de är, så att bromskurvan faktiskt slutar där den ska sluta.

De alternativ vi tagit fram är sådana att de skulle kunna komplettera varandra där bara ett enda approximationsalternativ inte räcker till. Vi har dock valt att vänta med en diskussion om hur dessa ska komplettera varandra och huruvida de ska göra det, då vi först vill att Vectura ska göra sin granskning av de enskilda alternativen. Detta beror främst på att de skulle kunna välja att förkasta ett eller flera av våra alternativ då de helt enkelt inte uppfyller exempelvis just det höga kravet på säkerhet.

Eftersom målet är att behålla kapaciteten så hög som möjligt så utgår också våra lösningar ifrån att approximationer bara ska göras på de delar av banan där det behövs, alltså där antalet lutningsbrytpunkter på ett MA överstiger 31. Approximationsregeln i ERTMS skulle också i och med detta, till skillnad från ATC, bli mer ett undantag än en regel.

5.1 Nuvarande lösning

Eftersom det inte finns några nationellt antagna projekteringsregler för lutningsapproximationer i ERTMS har vi valt att titta på de projekteringsregler som togs fram för Ådalsbanan.

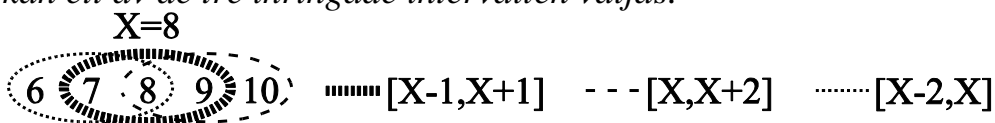
Nedan följer en kortare sammanfattning av projekteringsreglerna (se bilaga 4 för hela dokumentet):

- Samtliga lutningar på linjeplanen ska ritas in enligt profilkort. På linjeplanen görs ingen approximation. Approximation levereras endast som separat underlag till mjukvaruprojektörerna.
- Approximation görs riktningsberoende. Alltså en approximation för jämn tågriktning och en för udda tågriktning.
- Approximation görs då lutningar i ett avsnitt varierar +/- 2 ‰. Den mest restriktiva lutningen +/- 2 ‰ från medianen väljs. Exempel 1: 2 ‰, 1 ‰, 3 ‰, 2 ‰ → Median 2 ‰ → Mest restriktiva lutningen +/- 2 ‰ från median = 1 ‰.
Exempel 2: -5 ‰, -6 ‰, -7 ‰ → Median -6 ‰ → Mest restriktiva lutningen +/- 2 ‰ från median = -7 ‰.
- Ingen approximation görs 750 meter innan slutpunkt vid mellantavlor på driftsplatser.

Då det upptäcks att en specifik sträcka av en bandel överstiger 31 lutningar görs en approximation, inte bara på den, utan på hela bandelen. Därmed kan det också vara så att stora delar av banan approximeras fastän det egentligen inte är nödvändigt. Detta innebär också att projektören inte behöver ta reda på vart på sträckan som han behöver göra en approximation, utan endast att en approximation är nödvändig på just den bandelen.

Den nuvarande lösningen anser vi också är lätt att tolka fel, vi tolkade nämligen att lutningarna som approximeras ligger inom ett intervall på fem promille då $X \pm 2$ ‰, X = lutning, enligt oss ger $[X-2, X+2]$. Approximation ” ± 2 ‰” ska dock i detta fall inte tolkas så, utan som vår handledare Johan Gustafsson berättat⁶ $[X-2, X] \oplus [X, X+2] \oplus [X-1, X+1]$. Detta innebär alltså att approximation görs på lutningar som ligger bredvid varandra inom ett trepromillesintervall, se figur 13.

Figur 13: Exempel på trepromillesintervall, när lutningen är åtta promille kan ett av de tre inringade intervallen väljas.



⁶ Muntlig bekräftelse 2012-03-16

Exempel:

Eftersom approximationen görs riktningsberoende, börjar den från söder och går norrut (jämn tågriktning). Sedan görs helt enkelt en till approximation som går från norr söderut (udda tågriktning). Lutningarna är alltså samma åt båda hållen, teckenskiiftningen beror bara på att motlut och medlut byter riktning.

Tabell 1: Exempel på approximation enligt nuvarande lösningen.

Jämn tågriktning		Udda tågriktning	
Lutning, ‰	Approximation, ‰	Lutning, ‰	Approximation, ‰
3	2 [X-1,X+1]	-12	-12
4		1	1 [X,X+2]
2		3	
0	0	-9	-9
9	9	0	-2 [X-2,X]
-3	-3 [X, X+2]	-2	
-1		-4	-4 [X,X+1]
12	12	-3	

5.2 Förslag till lösningar

En del av grunderna för lutningsapproximationen av Ådalsbanan har vi valt att behålla, om inte annat anges i alternativen, dessa är att:

- Samtliga lutningar på linjeplanen ska ritas in enligt profilkort. På linjeplanen görs ingen approximation. Approximation levereras endast som separat underlag till mjukvaruprojektörerna.
- Approximation görs riktningsberoende. Alltså en approximation för jämn tågriktning och en för udda tågriktning.
- Ingen approximation görs 750 meter innan slutpunkt vid mellantavlor på driftsplatser.

5.2.1 Alternativ 1

Innan approximationen påbörjas behöver projektören som gör den ta reda på alla befintliga slutpunkters position på banan. Sedan hämtas lutningarna från profilkortet som avrundas till närmsta heltal neråt. Sedan räknas antalet lutningar 10000 meter bakåt från första slutpunkt på sträckan. Efter detta markeras alla de lutningar som inte får approximeras, alltså de som är inom 750 meter från en slutpunkt vid mellantavlor på driftsplatser. När sedan antalet lutningar är kända används det rekommenderade intervallet enligt den tabell vi tagit fram, tabell 2. Ser dock projektören direkt att ett lägre intervall skulle vara bättre går det lika bra. Tabellen ska alltså användas som ett riktmärke. Är antalet lutningar under 32 skall ingen approximation göras.

Tabell 2: Val av intervall efter antal lutningar.

Ant. Lutn.	Approximationsintervall
32-39	2 ‰, $[X, X+1] \oplus [X-1, X]$
40-47	3 ‰, $[X, X+2] \oplus [X-2, X] \oplus [X-1, X+1]$
48-54	4 ‰, $[X, X+3] \oplus [X-3, X] \oplus [X-2, X+1] \oplus [X-1, X+2]$
55-60	5 ‰, $[X, X+4] \oplus [X-4, X] \oplus [X-3, X+1] \oplus [X-1, X+3] \oplus [X-2, X+2]$
61-	6 ‰, $[X, X+5] \oplus [X-5, X] \oplus [X-4, X+1] \oplus [X-1, X+4] \oplus [X-3, X+2] \oplus [X-2, X+3]$

När approximationsintervallet är känt, görs helt enkelt approximationen. Den går till så att den som gör approximationen börjar på sitt MA:s första lutning, den som befinner sig längst bort från slutpunkten, och tittar på nästkommande lutning. Om den är inom intervallet tittar han på nästkommande lutning och så vidare tills han kommer till en lutning som befinner sig utanför intervallet.

Alla lutningar som finns i den grupp han tittat på approximeras sedan efter den lägsta lutning han har inom intervallet. Sedan fortsätter han approximationen vid den lutning som befann sig utanför det intervall som nyss approximerats, och gör samma sak igen.

Så fort projektören uppnått 31 lutningar genom approximation stannar han, även då han kanske bara har approximerat lutningar 2000 meter in i det fabricerade MA:t. Detta för att få en bana som har så få approximationer som möjligt. När han utfört approximation från den sista slutpunkten går han framåt till nästa slutpunkt och upprepar proceduren.

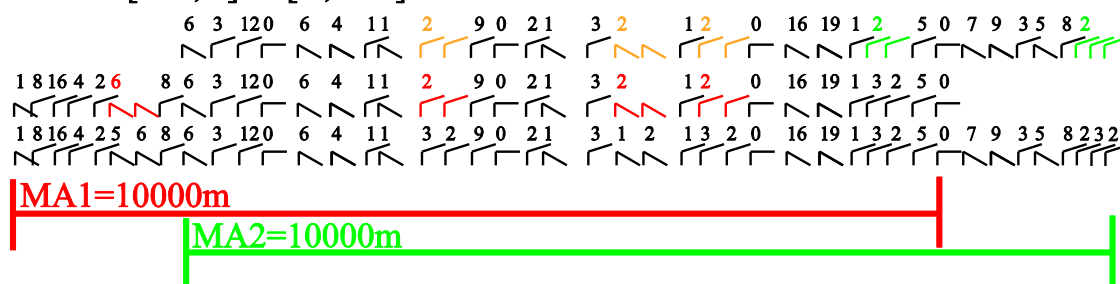
Tabellen nedan visar hur de olika approximationerna ser ut. Vi har valt ut en del av en bana med 23 lutningar.

Tabell 3: Exempel på approximation enligt alternativ 1.

Lutning, ‰	Approximationsintervall					
	2 ‰	3 ‰	4 ‰	5 ‰	6 ‰	
10	9	9	9	9	5	
9						
5	5	5	5	5		
0	0	0	0	0	-5	
-5	-5	-5	-5	-5		
2	2	2	2	-2	-2	
-2	-2	-2	-2			
2	2	0	0			
0	0					
-2	-2	-2	-2			
0	0					
2	2	2	2			
9	9	9	9	5	5	
5	5	5	5			
0	0	0	0	0	0	
5	5	5	2	2		
2	2	2				
7	7	7	7	3	3	
3	3	1	1			
1	1			1	1	
4	4	2				
2	2					
8	8	8	8	8	8	
Antal lutningar	23	22	17	16	11	8

Om en slutpunkt ger en sträcka där lutningar redan approximerats, räknar projektören antalet ursprungslutningar från profilkortet för att bestämma approximationsintervall. Approximation börjar sedan där approximation från den föregående slutpunktens MA slutar och framåt tills dess att 31 lutningar uppnåtts. Har alltså ingen approximation gjorts, börjar approximationen helt enkelt från lutningen längst bort från slutpunkten. Detta betyder att det aldrig behövs göras mer än en approximation fastän vissa sträckor med olika approximationsintervall överlappar varandra. Skulle denna approximation inte räckta till får de redan approximerade lutningarna från föregående sträcka dock approximeras om.

36 lutn: $[X-1,X] \oplus [X,X+1]$



Figur 14: Exempel på approximation enligt alternativ 1.

Ovan har vi en bana med två slutpunkter och sträckor på 10000 meter som dessutom överlappar varandra. Tågets färdriktning är åt höger och som figuren visar så approximeras alltså den röda sträckan först, sedan den gröna. När den gröna sedan approximeras lämnas de röda approximationerna kvar, i bilden de orange högst upp. Utifall att det inte går att komma ner i de önskade 31 lutningarna för den gröna sträckan får också en ny approximation göras där den gröna och den röda sträckan överlappar varandra.

Detta alternativ baseras på den lösning som togs fram för Ådalsbanan, dock med ändringen att det finns en möjlighet att välja storlek på approximationsintervall. Tabellen som anger vilket intervall som bör användas har tagits fram på så sätt att vi helt enkelt gjort dessa approximationer på 18 olika bandelar och 5008 lutningar och sedan beräknat ett medel på hur många som elimineras med de olika intervallen, se beräkningar kap 6.2.

5.2.2 Alternativ 2

Vårt andra och minst komplicerade alternativ är att approximationen görs så att det helt omöjligt kan bli mer än 31 lutningar på de 10000 meter som ett MA kan vara, alltså maximalt en lutning per cirka 330 meter.

Lutningarna från profilkortet används också i detta alternativ och avrundas här också likadant som i första alternativet nedåt till närmsta heltal. Själva approximationen går till så att projektören utgår från den första startpunkten på bandelen och approximerar löpande längs banan. Alla lutningar som understiger 330 meter paras ihop med efterkommande lutningar tills att de sammanlagt överstiger 330 meter. Därefter approximeras de hopparade lutningarna till den mest restriktiva lutningen i den gruppen. Approximation görs för både jämn och udda tågriktning.

Den som utför approximationen behöver alltså inte ta reda på hur många lutningar som finns på banan utan endast gå in på den första startpunkten på bandelen och sedan approximera framåt utan hänsyn till startpunkter och slutpunkter.

Tabell 4: Exempel på approximation enligt alternativ 2.

Lutning, ‰	Längd, m	Approximation Jämn tågriktning, ‰	Approximation Udda tågriktning, ‰
4	20	0	4
0	473		0
11	339	11	
13	74	9	11
11	85		
9	40		
10	75		
11	197		9
12	133	2	
2	72		
3	193		2
2	221	2	
4	136		2
5	395	5	
-1	65	-3	-1
-3	290		
0	54	0	-3
2	110		
5	125		
1	102		1
0	144	-1	
-1	94		
1	126		-1
2	304	2	
5	61		2
Totalt	25st	3928m	10st

För jämn tågriktning görs alltså approximation med hänsyn till lutningarna och dess längder uppifrån och ner. För udda tågriktning görs approximationen helt enkelt nerifrån och upp.

5.2.3 Alternativ 3

Diskussionerna hur detta alternativ ska utformas har varit många och långa. Detta beror först och främst på att vi helt enkelt tycker att denna idé i grunden är den absolut bästa. Dock kan alternativet vara känsligt, då vi faktiskt gjort ett val att gå emot Trafikverkets princip om att alltid approximera efter den lägsta lutningen.

Alternativets grund är enkel: den går ut på att räkna ut ett medeltal på lutningarna och sedan approximera efter det. På så vis kommer inte fler lutningar än nödvändigt tas bort och förhoppningsvis kommer även vertikalprofilen överrensstämma bättre med den riktiga, sett till medellutningen över sträckan som approximerats.

När approximationsreglerna för Ådalsbanan befann sig i utredningsskedet la Trafikverket fram ett krav på att det inte skulle göras några approximationer 750 meter före slutpunkt för MA. Detta fick slopas då de med den nuvarande lösningen inte skulle få ner antalet lutningar under de max 31 tillåtna.

Eftersom vi i detta sista alternativ har valt att gå emot principen att alltid gå efter den lägsta lutningen har vi också valt att göra två delalternativ vars enda skillnader är:

- Alternativ 3a, tillämpar nyss nämnda regel; inga approximationer 750 meter före slutpunkt för MA.
- Alternativ 3b, följer den regel som använts i alternativ 1 och den nuvarande lösningen; att inte göra approximationer 750 meter innan slutpunkt för MA vid mellantavlor på driftsplatser.

Approximationen går till så att projektören först räknar antalet lutningar från varje slutpunkt och 10000 meter bakåt för att ta reda på hur många lutningar som behöver elimineras. Sedan tar han och approximerar lutningarna som finns inom ett trepromillesintervall från ursprungslutningen, $[X, X+2] \oplus [X-2, X] \oplus [X-1, X+1]$. Själva approximationen påbörjas från den lutning som befinner sig längst bort från slutpunkten. Projektören börjar med att multiplicera lutningens längd i meter med lutningens storlek i promille på de lutningarna som skall approximeras, summerar dessa för att sedan dividera med den totalt approximerade sträckan. Slutsumman avrundas sedan neråt till närmsta heltal, och blir alltså den slutliga approximationen. Approximation görs endast till dess att antalet kvarvarande lutningar är 31 på den 10000 meter långa sträckan.

Det som gör detta förslag så starkt mot de andra är att fler lutningar kan elimineras vid lägre intervall då avstickande lutningar kan räknas med i

intervallet. Dessutom kan den horisontella ursprungsprofilen bättre matchas då längderna på lutningarna också räknas in.

Vid avstickare i trepromillesintervallet, då en sträcka exempelvis har lutningarna "2,1,3,9,2" är det alltså i detta förslag vid approximationen ok att räkna med den avstickande lutningen, om lutningen max är 100 meter lång och befinner sig max 25 % från den bortersta lutningen i trepromillesintervallet. Approximation av avstickare får dock inte göras inom 750 meter från slutpunkt. Avstickare måste också vara sådana som bryter ett intervall. Lutningarna "2,1,3,9,14,2" är alltså ok att approximera efter om 9 och 14 tillsammans maximalt är 100 meter och intervallet som approximeras maximalt är 25 %. Skulle lutningen 14 vara över 100 meter lång och lutningen 9 under 100 meter skulle approximationen heller inte få göras på "2,1,3,9" då 9 inte längre bryter intervallet. Alltså skulle approximation endast kunna göras på "2,1,3". Approximationen görs för både upp- och nerspår.

Tabell 5: Exempel på approximation enligt alternativ 3.

Lutning, ‰	Längd, m	Beräkning	Approx, ‰
4	20		4
0	473		0
11	339	$\frac{11 \cdot 339 + 13 \cdot 74 + 11 \cdot 85 + 9 \cdot 40 + 10 \cdot 75 + 11 \cdot 197}{339 + 74 + 85 + 40 + 75 + 197} \approx 10,99$	10
13	74		
11	85		
9	40		
10	75		
11	197		
12	133		12
2	72	$\frac{2 \cdot 72 + 3 \cdot 193 + 2 \cdot 221 + 4 \cdot 196}{72 + 193 + 221 + 136} \approx 3,13$	3
3	193		
2	221		
4	136		
5	395		5
-1	65	$\frac{-1 \cdot 65 + (-3 \cdot 290)}{65 + 290} \approx -2,63$	-3
-3	290		
0	54	$\frac{0 \cdot 54 + 2 \cdot 110 + 14 \cdot 43 + 1 \cdot 102 + 0 \cdot 144 + (-1 \cdot 47) + 1 \cdot 126 + 2 \cdot 304}{54 + 110 + 43 + 102 + 144 + 47 + 126 + 304} \approx 1,73$	1
2	110		
14	43		
1	102		
0	144		
-1	47		
1	126		
2	304		
5	61		5
Totalt	25st	3928m	9 st

6 Beräkningar

För att utvärdera de olika alternativen har vi gjort ett antal olika beräkningar. Alternativen emellan är beräkningarna inte desamma, vilket beror på att de baseras på olika sätt att approximera. De uträkningar vi har gjort för de olika alternativen är alltså anpassade efter hur alternativet ser ut och är dessutom gjorda på olika bandelar då inte alla de dokument vi fått visar exempelvis start och slutpunkter på banan. Alla förslag är dock tillämpade på vår referensbana, Stavreviken – Hussjöby som ingår i Ådalsbanan. Vi har också använt den för att räkna fram en genomsnittslutning på banan med de olika approximationerna tillämpade så att vi närmre kan se hur stor skillnaden faktiskt blir mellan förslagen.

Gällande för alla alternativ och referensbanan är att vi endast räknat MA fram till de slutpunkterna som finns en bit in på banan. De slutpunkterna som ligger i början av banan beroende på tågriktning har vi alltså valt att inte ta med. Vi har också använt oss av lutningar från bansträckan innan referensbanan för att kunna göra approximationen så exakt som möjligt. Alltså är alla MA som vi räknat med riktiga data och 10000 meter långa.

6.1 Nuvarande lösning

Vi har inte gjort några djupare beräkningar av den nuvarande lösningen då det inte ingick i vårt arbete. De tabeller som gjorts för trepromillesintervallet i alternativ 1, bilaga 1, kan dock ändå vara intressanta att titta på, om det faktum att approximation gjorts inom 750 meter från eventuella slutpunkter vid mellantavlor på driftsplatser kan bortses. Tabellerna visar där att approximationen med detta alternativ är ganska grov, inte alltid tillräcklig, och att antalet lutningar i genomsnitt sänks med 34,6% totalt sett över alla banor.

6.1.1 Referensbanan

Approximation av referensbanan har gjorts i båda riktningarna, se bilaga 2.

För att kunna jämföra den nuvarande lösningen mot de vi själva tagit fram har vi också gjort en del mindre beräkningar, en av antalet kvarvarande lutningar efter approximation och en av medellutningen på banan både före och efter approximation.

Det mest förbluffande av allt är att vi ser att detta alternativ faktiskt inte räcker till på alla ställen på vår referensbana, i tabell 6 de fetmarkerade, när vi räknat ihop hur många lutningar som faktiskt blir kvar efter approximationen.

Tabell 6: Lutningar per MA vid approximation enligt nuvarande lösning.

Jämn tågriktning			Udda tågriktning	
MA	Lutningar innan approx.	Nuv. alt	Lutningar innan approx.	Nuv. alt
A	46 st	28 st	45 st	27 st
B	53 st	32 st	52 st	32 st
C	52 st	29 st	53 st	32 st
D			47 st	27 st
E			45 st	26 st
F			46 st	27 st

Lutningsmedelvärdena på både jämn och udda tågriktning, som beräknades genom att ta längden på lutningen i meter och multiplicera med lutningen i promille för varje lutning och sedan summera det talet för att sedan dividera talet med den totala längden på banan, skiljer sig inte alls mycket från den riktiga banans medellutning som är densamma oavsett riktning.

Medellutningen enligt bilaga 2 är för den verkliga vertikalkurvan 5,67 ‰ för jämn tågriktning och -5,67 ‰ för udda tågriktning. Efter approximation enligt den nuvarande lösningen är medellutningen 5,19 ‰ för jämn tågriktning och - 6,20 ‰ för udda tågriktning.

6.2 Alternativ 1

Först och främst ville vi med detta alternativ se hur många lutningar vi skulle kunna få bort med de olika intervallen, främst för att på ett ungefär veta om det skulle hålla i längden, men också för att ta fram en tabell som visar vilket approximationsintervall som skall väljas för att komma ner till de maximalt 31 lutningarna. För att göra detta kände vi att vi skulle vilja göra approximationer på lutningar från existerande banor och inte fabricerade då det egentligen är helt omöjligt att veta, eller gissa, hur mycket det varierar i lutningar; vissa spår verkar ha en lutningsföljd som är 1, 2, 1, 2, 1, 4, 1, 2, 1, 4, -1 medan andra lika gärna skulle kunna ha -10, 2, -12, 4, -2, 8, 10, 14, 6, 9, 0. Så för att göra approximationerna på ”riktiga banddata” så fick vi också genom företaget vi gör detta examensarbete på, Vectura, ta del av förvaltningsdata från olika bandelar i Sverige. De bandelar vi har fått är från norra Sverige och ska enligt Tobias Naxén⁷ ge en bra överblick på de svenska förhållandena då de är äldre och därför inte lika plant projekterade.

Dessa data innehåller lutningarna på de olika bandelarna, km-tal, vertikalkurvor, längd på elementen, plats, eventuellt spårnummer, om det är upp/ner eller enkelspår, sträckning och objektnummer. Vi har dock valt att redigera data; bland annat har vi tagit bort allt som inte är enkelspår och allt

⁷ Mailkonversation 2012-04-16

som inte hör till huvudspåret. Sen använder vi oss inte heller egentligen av några andra data än bandelens totala längd och själva lutningarna, vi har alltså valt att också ta bort vertikalkurvorna, då dessa ändå inte används och samtidigt inte påverkar resultatet vid approximation enligt detta alternativ, se kap 3.2.1.

Vi började med att göra en approximation för varje intervall på alla de Svenska bandelar vi fått, se bilaga 1. I denna approximation har vi valt att inte ta hänsyn till tiokilometersgränser eller start- och slutpunkter då vi endast gör denna approximation för att procentuellt sett se hur många av lutningarna som försvinner med de olika intervallen. Resultatet som ni kan se i tabellen nedan är väldigt spritt.

Tabell 7: Jämförelse av hur effektiva de olika approximationsintervallen är.

Bandel	Lutn./10000m innan approx	2 promilles intervall		3 promilles intervall		4 promilles intervall		5 promilles intervall		6 promilles intervall	
		Minsk.	Lutn./10000m	Minsk.	Lutn./10000m	Minsk.	Lutn./10000m	Minsk.	Lutn./10000m	Minsk.	Lutn./10000m
15	9,0	18,8%	7,3	34,4%	5,9	50,0%	4,5	54,7%	4,1	56,3%	4,0
6	17,3	14,0%	14,9	26,8%	12,7	31,1%	11,9	36,6%	11,0	47,0%	9,2
13	17,5	10,1%	15,8	21,4%	13,8	26,4%	12,9	30,2%	12,3	31,4%	12,0
10	21,5	13,1%	18,7	23,3%	16,5	30,5%	15,0	34,0%	14,2	37,4%	13,5
12	25,8	23,5%	19,8	35,8%	16,6	42,0%	15,0	46,5%	13,8	49,4%	13,1
14	27,2	11,1%	24,2	12,7%	23,7	15,9%	22,9	16,7%	22,6	19,0%	22,0
11	27,2	17,1%	22,6	27,1%	19,9	29,8%	19,1	32,9%	18,3	41,1%	16,0
1	29,6	14,7%	25,3	24,8%	22,3	32,7%	19,9	39,5%	17,9	44,7%	16,4
9	30,2	19,2%	24,4	27,3%	21,9	38,4%	18,6	44,4%	16,8	48,5%	15,5
5	30,9	29,4%	21,8	44,9%	17,0	54,3%	14,1	60,2%	12,3	65,0%	10,8
18	32,8	13,2%	28,5	24,5%	24,8	33,8%	21,7	42,6%	18,8	47,5%	17,2
17	32,8	14,3%	28,1	21,4%	25,8	28,0%	23,6	34,6%	21,5	42,3%	18,9
3	34,5	18,3%	28,2	31,3%	23,7	40,5%	20,5	47,9%	18,0	54,4%	15,7
16	36,3	20,2%	29,0	30,3%	25,3	38,2%	22,4	44,1%	20,3	50,0%	18,2
4	38,0	30,8%	26,3	50,2%	18,9	60,3%	15,1	67,7%	12,3	72,4%	10,5
2	39,3	30,7%	27,2	44,6%	21,8	53,6%	18,2	58,1%	16,5	62,9%	14,6
8	44,0	27,0%	32,1	43,3%	25,0	53,6%	20,4	59,5%	17,8	64,8%	15,5
7	44,2	33,3%	29,5	47,9%	23,1	56,4%	19,3	59,4%	18,0	69,1%	13,7
Snitt	30,0	21,6%	23,5	34,6%	19,6	42,8%	17,1	48,5%	15,4	53,5%	13,9

Till exempel har vi genom att göra approximation i tvåpromillesintervallet fått minskningar på lutningarna från bara 10,06% ända upp till 33,33% och genom att göra approximation i sexpromillesintervallet i samma fall fått minskningar på lutningarna på 31,45% respektive 69,09%.

Det vi också ser i tabell 7 är att ett högre antal lutningar också ger en högre procentuell minskning efter approximation, mest tydligt när ett intervall på två promille används.

Medeltalen för alla banors sammanlagda lutningsminskningar för de olika approximationsintervallen, tabell 8, användes sedan i vidare beräkningar.

Tabell 8: Medeltalen för lutningsminskningar för de olika approximationsintervallen.

	Intervall				
	2 ‰	3 ‰	4 ‰	5 ‰	6 ‰
Antal Lutn.	3926	3276	2864	2581	2331
Minskning	21,6%	34,6%	42,8%	48,5%	53,5%

Medeltalen på minskningarna har använts för att ta fram tabellen, tabell 2 sid 23, som anger vilket intervall som skall användas vid olika antal lutningar på 10000 meter.

Tabell 9: Beräkningar för att ta fram approximationsintervallen.

Intervall	Beräkning	Antal lutningar
2 ‰	Nedre gräns: 32 lutningar Övre gräns: $\frac{31}{(1-0,216)} \approx 39,54$ lutningar Talet avrundas sedan neråt till närmsta heltal. Alltså i detta fall blir den övre gränsen 39 lutningar.	32-39
3 ‰	Nedre gräns: 40 lutningar Övre gräns: $\frac{31}{1-0,346} \approx 47,40 \rightarrow 47$ lutningar	40-47
4 ‰	Nedre gräns: 48 lutningar Övre gräns: $\frac{31}{1-0,428} \approx 54,20 \rightarrow 54$ lutningar	48-54
5 ‰	Nedre gräns: 55 lutningar Övre gräns: $\frac{31}{1-0,485} \approx 60,19 \rightarrow 60$ lutningar	55-60
6 ‰	Nedre gräns: 61 lutningar Här finns ingen övre gräns då detta alternativ endast går upp till ett sexpromillesintervall.	61-

6.2.1 Referensbanan

I bilaga 2 återfinns approximationen enligt alternativ 1. Approximation är gjord för både jämn och udda tågriktning.

Vi har inte i något fall behövt ändra intervall då det intervall som angivits av tabellen varje gång räckt till.

Den ursprungliga profilens medellutning var 5,67 ‰ för jämn tågriktning och -5,67‰ för udda tågriktning. Medellutningen efter approximation enligt alternativ 1 blev 5,14 ‰ för jämn tågriktning och -6,34 ‰ för udda tågriktning, se bilaga 2 för beräkningar. Vi har också enligt detta alternativ lyckats med att eliminera det antalet lutningar som behövdes för de olika MA som banan har, se tabell 10. Antalet kvarvarande lutningar visar också på en ganska jämn approximation.

Tabell 10: Lutningar per MA vid approximation enligt alternativ 1.

Jämn tågriktning			Udda tågriktning	
MA	Lutningar innan approx.	Alt 1	Lutningar innan approx.	Alt 1
A	46 st	28 st	45 st	26 st
B	53 st	31 st	52 st	28 st
C	52 st	28 st	53 st	28 st
D			47 st	24 st
E			45 st	23 st
F			46 st	24 st

6.3 Alternativ 2

Olika beräkningar på vår referensbana gjordes.

6.3.1 Referensbanan

Det vi fått fram är en drastisk minskning med minst hälften av antalet lutningar på banans olika MA.

Tabell 11: Lutningar per MA vid approximation enligt alternativ 2.

Jämn tågriktning			Udda tågriktning	
MA	Lutningar innan approx.	Alt 2	Lutningar innan approx.	Alt 2
A	46 st	20 st	45 st	19 st
B	53 st	20 st	52 st	21 st
C	52 st	20 st	53 st	20 st
D			47 st	21 st
E			45 st	20 st
F			46 st	21 st

Att detta är ett väldigt grovt sätt att approximera på syns också rätt klart på medellutningarna. Alternativ 2 visar där på stora skillnader mellan den ursprungliga banprofilens medellutning och medellutningen för samma bana som sedan approximerats enligt detta alternativ. Medellutningen, se bilaga 2, är för banan enligt den riktiga vertikalprofilen som sagt 5,67 ‰ för jämn tågriktning och -5,67 ‰ för udda tågriktning. Efter approximation blev medellutningen 3,19 ‰ för jämn tågriktning och -9,34 ‰ för udda tågriktning.

6.4 Alternativ 3

För det sista alternativet har vi först behövt ta fram en gräns för hur långa de avvikande lutningarna får vara. Tankegången där var att vi, först och främst, helt enkelt skulle bestämma en gräns för det antal promille som en avvikande lutning får vara vilket också var enkelt; vi tog 25 ‰ eftersom det faktiskt är mest kritiskt med avrundning i nedförsbacke som max kan vara just -25 ‰.

Tanken här var alltså att vi skulle få till dessa approximationer så att lokföraren slipper få ett ingripande från ETCS på grund av för hög hastighet när han kör på en avvikande lutning på en approximerad sträcka. Gränsen för ingripande går vid en hastighetsöverskridelse på 10 km/h. Efter att gränsen för hur mycket en avvikande lutning får avvika satts gjordes sedan beräkningar för att ta fram längden på den sträcka denna lutning maximalt får vara för att inte få ett ingripande från systemet.

Vi räknade med ett tåg som färdas i 200 km/h och som samtidigt accelererar med $1,2 \text{ m/s}^2$ som en extra säkerhet. Sedan räknade vi, med hjälp av formeln för beräkning av retardation från European Economic Interest Group (2008), ut hur lång sträckan i nedförsbacke skulle bli för att hastigheten skulle öka till 210 km/h, alltså den hastighet då tågets omborddator skulle ingripa och bromsa ner tåget.

Formeln för detta är:

$$A_{\text{gradient}} = \frac{g * \text{grad}}{1000 + (10 * M_{\text{rotating min}})}$$

Där:

- A_{gradient} står för den retardation som uppstår på grund av lutningen. När denna är negativ står den alltså för den acceleration som uppstår på grund av lutningen.
- g står för gravitationskonstanten, alltså $9,8 \text{ m/s}^2$.
- $M_{\text{rotating min}}$ är ett bestämt värde, 2, och står för den roterande massans minimum som en procent av tågets totala vikt.

$$A_{\text{gradient } 25} = \frac{9,8 * -25}{1000 + (10 * 2)} \approx -0,2402 \text{ m/s}^2$$

Med denna acceleration räknades sedan längden för den sträcka som innebär att tåget har ökat sin hastighet med 10 km/h. Där har vi antagit att accelerationen på grund av lutningen kommer vara konstant $0,2402 \text{ m/s}^2$ och att tågets egen acceleration också kommer vara konstant $1,2 \text{ m/s}^2$. Vi har också antagit att vi med konstant likformig rörelse också kan använda oss av en formel för detta.

Formeln för att räkna ut sträckan (s) som behövs för att öka hastigheten (v) med 10 km/h är $v^2 - v_0^2 = 2as$ (där a står för accelerationen). Sträckan beräknades:

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{\left(\frac{210}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{200}{3,6}\right)^2}{2 * (1,2 + 0,2402)} \approx 129,6 \text{ meter}$$

Vi valde här dock att sänka gränsen till 100 meter så att lokföraren slipper få ett ingripande utan endast får en varning om för hög hastighet som redan sker vid en överhastighet på 5 km/h. Hundrametersgränsen gör också projekteringen enklare då vi anser att ojämna siffror kan vara krångligare att räkna med.

6.4.1 Referensbanan

Vi har som sagt två olika dellösningar för detta alternativ och därför redovisar vi också beräkningarna i två delar.

6.4.1.1 Alternativ 3a

I detta alternativ har vi som sagt valt att inte göra några approximationer 750 meter före slutpunkterna. När approximationen på referensbanan gjorts har vi också konstaterat att detta alternativ bara skulle hållas på mindre än hälften av de MA som finns på sträckan, se tabell 12.

Tabell 12: Lutningar per MA vid approximation enligt alternativ 3a.

Jämn tågriktning			Udda tågriktning	
MA	Lutningar innan approx.	Alt 3a	Lutningar innan approx.	Alt 3a
A	46 st	36 st	45 st	30 st
B	53 st	38 st	52 st	33 st
C	52 st	36 st	53 st	33 st
D			47 st	31 st
E			45 st	29 st
F			46 st	30 st

Medellutningen på banan, se bilaga 2, före approximation är som sagt 5,67 ‰ i jämn tågriktning och -5,67 ‰ i udda tågriktning, och efter approximation enligt alternativ 3a 5,48 ‰ för jämn tågriktning och -5,88 ‰ för udda.

6.4.1.2 Alternativ 3b

I detta alternativ har vi som sagt valt att göra approximationer 750 meter före slutpunkter, men inte om dessa slutpunkter ligger vid mellantavlor på driftsplatser eller om de innehåller så kallade utstickande lutningar.

Tabell 13 visar också att approximation enligt detta alternativ på referensbanan alltid klarar av max antal lutningar per MA.

Tabell 13: Lutningar per MA vid approximation enligt alternativ 3b.

Jämn tågriktning			Udda tågriktning	
MA	Lutningar innan approx.	Alt 3b	Lutningar innan approx.	Alt 3b
A	46 st	27 st	45 st	27 st
B	53 st	31 st	52 st	30 st
C	52 st	28 st	53 st	30 st
D			47 st	25 st
E			45 st	24 st
F			46 st	25 st

Före approximation är medellutningen på banan 5,67 ‰ i jämn tågriktning och -5,67 ‰ för udda tågriktning. Approximation enligt alternativ 3b ger en medellutning på 5,48 ‰ för jämn tågriktning och -6,06 ‰ för udda.

7 Granskning

Då vi ville få respons på våra alternativ bad vi vår handledare att ta kontakt med några lämpliga personer för granskning. Per Rosander, Ulrika Pettersson och Jonas Henningsson från Vectura ställde upp och granskning gjordes på kapitel 1-6 inklusive bilagor och nedan har vi sammanställt deras kommentarer. Granskningen gick till så att granskarna fick det arbete vi gjort, läste igenom det och skickade sedan kommentarerna till oss via mail.

Kommentarer från Per Rosander, Signalingenjör Vectura 2012-05-11:

”Det är några förutsättningar som jag tycker ni bör ta upp till diskussion när ni frigör er från TRV sätt att enbart titta på lutningar utan att vikta dem med sina längder.

- *Ett tåg är inte punktformigt. Massan är fördelad över tågets längd. För persontåg troligen ganska jämt fördelat med lite extra massa vid loket om sådant finns. För ett godståg kan ju fördelningen vara en tåglängd containervagnar varav det står container på hälften av dem början eller slutet, detta kan ju förskjuta masscentrum.*
- *Detta med att inte approximera inom 750 m innan slutpunkten, kan möjligen vara möjligt på Ådalsbanan, men på dubbelspår, ex korridor B, där blocksträckor idag är 1200-1600 tror jag man helt måste bortse från detta. Vid övergång till ERTMS kan man eventuellt dela av dessa ytterligare för att minska headway mellan tågen. Det blir då kanske en slutpunkt per 700 m.*
- *Ni bör kanske ta med något om att bromskurvor beräknade i ERTMS är mer pessimistiska än de som är beräknade i ATC och att det därför är viktigare i ERTMS med en god avbildning av vertikalprofilen, för att erhålla så bra målbromsning som möjligt.*

Medellutning

Ni diskuterar medellutning i ett avsnitt. Här ser jag inga problem. Modell 1 och 2 är enligt min mening alltför pessimistiska då man om jag förstått rätt enbart tittar på lutningarnas storlek utan att vikta dem med sin längd. I alternativ 3 viktas lutningarna och medellutningar bildas. För att hantera en generell bana med korta fixa signalsträckor krävs en metod att bättre jobba med medellutning.

Alternativ 1

Metoden kan anses som helt säker då man ju hela tiden, vid behov för att minska på antalet segment, väljer att justera en lutning nedåt.

Alternativ 2

I sin mest urartade form att inget lutningssegment får vara kortare än 330 meter kan detta bli en riktig underestimering av lutningen. Om man har ett kort segment med låg lutning så måste man välja denna för hela 330 m.

Alternativ 3

I det här fallet tycker jag att ni ska motivera med att massan i tågsättet är distribuerad över hela tågets längd och att då lutningar som är kortare än tåget inte verkar fullt ut. För ett tåg som har samma längd som lutningssegmentet verkar ju hela massan endast kort när masscentrum är mitt i lutningen. Det svåra här är att om vi antar ett segment 100 meter före en stoppunkt på en i övrigt plan bana så kommer en ensam motorvagnsenhet (Regina 2 vagnar 50m) att till fullo befinna sig i lutningen medan ett godståg (650 m) knappt påverkas.

Det är väl så i denna approximation att det gäller att komma fram till hur långt ett segment med lägre lutning än medellutning får vara och hur mycket det får avvika från medellutning. Det är ju här som arbetet återstår men jag tycker ni kan argumentera för lösningen och gärna i kombination med 1 segment 330 meter eller n segment över $n \cdot 330$ meter.

Den metod ni presenterar som ert slutliga förslag bör vara en som går att tillämpa lokalt på 1,2 eller 3 kilometer.”

Kommentarer från Jonas Henningsson, Signalingenjör Vectura 2012-05-12:

”Alternativ 1 fungerar säkert utmärkt i dagsläget då det är en ”förbättrad” version av den nuvarande ådals-metoden.

Alternativ 2 känns som ett steg i fel riktning.

Alternativ 3 känns definitivt som det mest intressanta alternativet.

En fundering på just själva projekteringsdelen skulle kunna vara hur pass lång tid det skulle ta att få fram en projektering jämfört med om man skulle använt sig av exempelvis alternativ 1 (nuvarande metod). Har man en bana med många lutningar blir det många uträkningar som skall beräknas och även granskas. Detta kan man ju förhoppningsvis effektivisera och ta fram pålitliga program för längre fram i tiden om det visar sig vara ett bra, och bättre alternativ än övriga.”

”Alternativ 1

Det här alternativet ser jag som en utveckling av den nuvarande metoden och kanske även det som skulle fungera bäst ”nere på golvet”, alltså då man projekterar. Jag har studerat hur ni har tagit fram intervallen och tycker att uträkningarna ser bra ut. Jag tycker dock inte att man ska följa dessa intervall slaviskt utan mer se dem som riktlinjer. Som ni själva nämnde i uträkningsdelen varierade minskningsgraden av antalet lutningar på en sträcka för tvåpromillesintervallet från ca 10% till 33% samt sexpromillesintervallet mellan 31% och 72%. Spridningen är alltså så stor att även dessa intervall som ligger i varsin ände av spektrat överlappar varandra. Det betyder att jag skulle kunna klara mig med tvåpromillesintervallet även om jag har >61 lutningar till att börja med. Och att använda sexpromillesintervallet på en sträcka som skulle klara sig med tvåpromillesintervallet ger en väldigt onödig kapacitetssänkning. Så därför tycker jag att man alltid kan börja med tvåpromillesintervallet och om det inte gör att kravet på <32 lutningar uppfylls kan man successivt öka intervallet tills man hittar en tillåten lösning. Och då behöver man heller inte förkasta tvåpromillesapproximationen och börja om från början, man kan helt enkelt bara se på vilka ställen man kan utöka till trepromillesintervall istället, det kanske bara krävs att man gör det på ett par ställen för att nå målet. Jag håller helt med om att man ska sluta approximera då man har uppnått <32 lutningar, det finns ingen anledning att gå igenom hela sträckan då.

Alternativ 2

Det grövsta och mest primitiva av de tre alternativ ni har tagit fram. Det gör ju sitt jobb men med oerhört dålig kapacitet som följd. Finns inte så mycket mer att säga, jag har lagt mest fokus på alternativ 1 och 3.

Alternativ 3

Det här tycker jag är det mest intressanta alternativet och det har stor utvecklingspotential. Innan jag visste något om järnväg och Trafikverkets förhållning till säkerhet skulle jag självklart anse att man skulle göra på det här sättet. Men nu när jag har lite mer erfarenhet ställer jag mig genast tveksam till att ”strunta” i stora lutningar. Sedan läste jag vidare och såg att det finns noggranna beräkningar på hur man får ”strunta” i stora lutningar och tänkte att det kanske faktiskt funkar det här! Jag har dock inte hunnit titta närmare på hur ni har räknat ut maxlängden för den avstickande lutningen. Att tänka på är att föraren faktiskt redan kan köra så fort som 209 km/h då tåget går in i den avstickande branta lutningen.

Det finns många saker att fundera på. Måste man använda sig av ett trepromillesintervall? Man kanske, precis som jag föreslog i alt 1, kan börja med ett tvåpromillesintervall och sedan utöka ifall det inte räcker. Det kan bli en jädra massa räknade och den här metoden är inte så projektringsvänlig om man ska göra allt för hand. Men jag tror som sagt att man skulle kunna kolla närmare på den här metoden och optimera den för att få en approximation med så bra kapacitet som möjligt. Den kan dock bli hur komplex som helst och då kommer det krävas att man skriver ett program som räknar åt en, det blir för tidskrävande att räkna för hand. Som jag nämnde i början så är det här det bästa alternativet om man ser till differens i medellutningen, men om man tycker att det är viktigt med varje enskild sträckas lutningsdifferens kommer inte den här metoden vara så bra. Det är alltså viktigt att man vet vilka parametrar man ska kolla efter då man gör jämförelsen.”

8 Analys av lösningarna

Detta kapitel ska användas för att dels diskutera de olika lösningarna, för att eventuellt komplettera de lösningar vi tagit fram eller för att ta fram en lösning som baseras på en kombination av lösningarna vi kommit med.

Då ett av målen är att approximera så lite som möjligt tycker vi också att det är viktigt att ta hänsyn till detta. Det är också därför vi varit noga med att ta fram alternativ som ska kunna göras tills önskat antal lutningar uppnåtts.

Våra tre olika alternativ vi tagit fram är på olika sätt bra då de har helt olika egenskaper, en är komplicerad men väldigt säker, en är väldigt enkel men ger samtidigt en bana som är väldigt kraftigt approximerad och en ger en bana som stämmer väldigt bra överens med banans medellutning.

8.1 Nuvarande lösning

Problemet med den nuvarande lösningen är att det inte räcker till på alla de olika banor som finns i Sverige, vilket denna lösning redan också visat på referensbanan. Det största problemet är att den nuvarande lösningen är låst vid ett enda intervall och om det skulle vara så att det intervallet inte skulle räcka till skulle alltså det leda till en bana med fler än 31 lutningar. Denna lösning leder också till att fler approximationer än nödvändigt görs eftersom approximation inte slutar när målet med 31 lutningar uppnåtts. Vi anser att detta alternativ alltså inte är tillräckligt bra anpassad för att kunna användas som en nationell projekteringsregel.

8.2 Alternativ 1

Ett problem med detta alternativ är att vi inte kan garantera att alternativet alltid klarar av att eliminera de lutningar som behövs, även om vi ännu inte råkat ut för det. Men det kan faktiskt vara så att en bana har lutningar i följd som är 1 ‰, 14 ‰, 2 ‰, 1 ‰, 19 ‰. Skulle det vara så på hela banan skulle det i praktiken kunna betyda att ett intervall på 15 ‰ skulle vara nödvändigt för att göra någon approximation över huvudtaget. Därför skulle detta alternativ kanske vara i behov av ett komplement i form av en undantagsregel. Vår tanke är att projektören i de fall detta alternativ inte helt räcker till ska använda sig av alternativ 3 då det ger en större möjlighet att ignorera lutningar som ”sticker ut” mitt i banor som trots allt ändå är rätt jämna. Eftersom granskarna tycker att alternativ 3 skulle kunna fungera skulle alltså detta vara en fullt möjlig lösning att gå efter.

Ett annat problem med alternativet är att projekteringen kan bli komplicerad om det inte tas fram ett program som utför approximationen eller hjälper till med en del av beräkningarna. Görs allt manuellt kommer projekteringen

nämligen att ta längre tid. Dessutom måste varje projektör lära sig exakt hur approximationen fungerar vilket också är en tidsfråga.

Sedan tycker vi precis som Ulrika Pettersson att projektören egentligen inte ska gå efter tabellen ordagrant, utan mer ha den som ett stöd. Problemet är att skriva en regel för detta då vi tänkt att om reglerna inte är helt klara så har också projektören lättare att göra fel. Från början var faktiskt tanken att inte alls ha med en sådan tabell då vi helt enkelt tyckte att projektören kunde börja approximera med ett enpromillesintervall och sedan gå uppåt om inte det intervallet skulle räcka till. Problemet för oss har där varit att det skulle bli ett alldeles för komplicerat arbete för en projektör att approximera varenda sådan sträcka flera gånger.

Approximationen kan också tyckas vara hård då den inte tar någon som helst hänsyn till längden av de olika lutningarna. En lutning som är hela fem promille från den största lutningen kan alltså bara vara ett fåtal meter på en rätt lång sträcka och då få den sträckan att anpassas efter den lutningen, även om den inte skulle påverka medellutningen på sträckan nämnvärt.

Den hårdare approximationen tycker vi dock kompenseras av faktumet att den görs tills det bara återstår 31 lutningar.

Vi tycker allt som allt ändå att detta alternativ fungerar bra, och skulle alltså rekommendera att det skulle kompletteras med alternativ 3 i de fall där sexpromillesintervallet inte räcker till och om inte några andra lösningar kan accepteras, så som att helt enkelt acceptera en förkortning av de MA som påverkas.

I jämförelse till den nuvarande lösningen är detta alternativ mer flexibelt och ger en approximation som följer banans ursprungsprofil bättre. Först och främst beror detta på att approximationen avslutas när målet med 31 lutningar uppnåtts.

I jämförelse med de andra alternativen har detta alternativ visat sig vara det mest effektiva. Detta alternativ är dock den mest komplicerade och troligtvis den mest tidskrävande av dem alla.

8.3 Alternativ 2

Anledningen till att detta alternativ togs med i arbetet är för att det just är så pass enkelt som det är. Problemet är att det inte får vara mer än 31 lutningar på 10000 meter, varför inte bara se till att det omöjligt kan bli fler än 31 lutningar?

Det stora problemet med detta alternativ är så klart att allt approximeras alldeles för mycket. Dessutom tar inte detta alternativ någon som helst hänsyn till hur mycket en enskild lutning faktiskt påverkar hela den sträckan. Alltså om det då skulle finnas lutning på -4 ‰ som endast var 30 meter och nästkommande lutning skulle vara 21 ‰ 500 meter skulle hela den sträckan enligt detta alternativ approximeras till -4 ‰, vilket vi tycker är alldeles för långt ifrån verkligheten.

Ur säkerhetspunkt är alternativet något som absolut skulle kunna användas eftersom det alltid går efter den mest restriktiva lutningen.

I jämförelse med den nuvarande lösningen är detta alternativ väldigt mycket enklare och snabbare att göra. Detta gäller även när alternativet jämförs med de andra alternativen. Approximation enligt detta alternativ är dock, som vi sagt, alldeles för långt ifrån den verkliga vertikalkprofilen och är inte något vi skulle rekommendera Trafikverket att använda även om det nu är säkert och väldigt enkelt.

8.4 Alternativ 3

Det sista alternativet vi tog fram är också det vi själva, och granskarna på Vectura, gillar bäst. Anledningen är att den också ser till att hänsyn tas till längderna på lutningarna vilket också gör att approximationerna i slutändan inte blir lika hårda som i de andra. Dessutom ger detta alternativ också en möjlighet att ignorera så kallade ”avstickande lutningar”.

Vårt problem när vi tog fram detta alternativ var som tidigare sagts att hitta en gräns för hur långa de avstickande lutningarna får vara. Det svåraste med detta är att veta hur mycket lutningarna faktiskt påverkar tågets acceleration och därmed hastighet. Det viktigaste av allt är också att projekteringen inte ska bidra till att tågets omborddator tvingas nödbromsa på grund av en för hög hastighet, vilket också var en av anledningarna till att vi räknade ut sträckan med en lutningsacceleration och en acceleration utförd av själva tåget. Accelerationen valdes efter tågtypen X61:ans startacceleration då det är det högsta värdet för konventionella tåg vi hittat i vår kurslitteratur av Andersson och Berg (2007).

Sen finns det ett problem i vårt arbete som Ulrika Pettersson har påpekat och det är att ett tåg faktiskt kan komma in i lutningen med en överhastighet på 209 km/h. Detta skulle alltså göra att hastigheten snabbt skulle kunna överstiga gränsen då ETCS går in och bromsar ner tåget. Men en sak som då måste beaktas där är att en lokförare som ligger på en överhastighet på redan 5 km/h får en varning om att sänka hastigheten av ETCS-systemet, vilket gör att tåget mest troligt redan har en retardation när det kommer in i lutningen. Är det dock så att tåget fortsätter med samma hastighet in i lutningen beror överhastigheten och ingripandet till största delen på att lokföraren faktiskt inte reagerat på varningarna. Oavsett vad tycker inte vi själva att detta skulle vara en större säkerhetsfråga utifrån det vi fått veta. Systemet kommer ändå alltid göra ett ingripande vid för hög hastighet. Däremot kan diskussionen mer handla om komforten ombord då inbromsningen förmodligen skulle behöva bli lite hårdare än vanligt. Detta anser vi dock förhoppningsvis vara en ovanlig situation så därför tror vi inte heller att det skulle spela någon större roll.

Granskaren Per Rosander kommer också med en väldigt bra tanke och det är att ett tåg som är längre än själva lutningen inte påverkas mer än i den delen som befinner sig mitt i lutningen. Den delen som alltså inte befinner sig i lutningen kommer då att minska påverkan av lutningen på den delen som befinner sig där.

Jämför vi alternativet med det nuvarande är detta lite enklare och har dessutom som sagt en större hänsyn till hur banan faktiskt är utformad. En medellutning ger också en approximation som bättre speglar banans vertikalgeometri.

Jämfört med de andra alternativen är detta alternativ osäkrare då sträckan i många fall inte approximeras efter den mest restriktiva lutningen utan efter medellutningen på sträckan.

En sak som vi nu i analysen kommit på är att vi i exemplet och beräkningarna av detta alternativ använt oss av avrundade värden från profilkort. Dessa ska självklart inte avrundas utan vara tagna direkt från profilkortet.

Vi tycker som granskarna också påpekat att detta alternativ behöver utredas närmre. Den granskningen vi har gjort räcker inte riktigt till för att helt kunna säga att alternativet är helt säkert. Dessutom har vi också kommit med några ändringar i alternativet, se nedan i Kap 8.4.1.

8.4.1 Vidareutveckling av alternativ 3

Under tiden granskningen pågått har vi också börjat med att försöka vidareutveckla detta alternativ. Vi har i vidareutvecklingen tittat på möjligheterna att faktiskt använda oss utav alternativ 2:s sätt att tänka med att ta alla sträckningar som understiger 330 meter och sedan räkna medel på dem. Problemet är att vi räknade ut att en sträcka endast kunde vara ca 100 meter för att den inte skulle påverka hastigheten med mer än 10 km/h. Det som är bra är att vi räknat med att tåget faktiskt har en egen acceleration på $1,2 \text{ m/s}^2$. Vi har nu i efterhand också kommit på att ett tåg knappast accelererar så mycket när det befinner sig i sina topphastigheter, i detta fall 200 km/h. Accelerationen minskar vad vi lärt oss i högre hastigheter⁸. Dessutom är det inte alls troligt att tåg vid en inbromsning skulle ha en acceleration. Vi har alltså helt enkelt ändrat vårt sätt att tänka. Granskningen har också gett oss mer självförtroende att också våga satsa på detta alternativ då alla som granskat också ställt sig positiva till det.

Genom beräkningar, se nedan, där vi inte räknat med tågets egen acceleration utan bara med accelerationen på grund av lutningen har vi fått fram att det skulle vara helt ok att göra approximationerna med längre lutningar. Lutningen kan, som beräkningen nedan visar, vara så långa som ca 659 meter utan att tågets hastighet skulle öka med 10km/h eller mer, och då har vi räknat med värsta fallet.

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{\left(\frac{210}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{200}{3,6}\right)^2}{2 * 0,2402} \approx 658,53 \text{ meter}$$

$s = \text{sträcka}$

$v = \text{hastighet}$

$v_0 = \text{starthastighet}$

$a = \text{acceleration}$

⁸ Kurs i planerings- och projekteringsmetodik 2011

Förslaget är alltså att:

- Lutningarna från profilkort används som de är.
- Approximation görs på lutningar som understiger 330 meter genom att lutningen läggs ihop med nästkommande, understiger de tillsammans 330 meter läggs dessa två ihop med nästkommande och så vidare tills de sammanlagt överstiger 330 meter.
- Är en lutning och dess nästkommande sammanlagt över 660 meter ska dessa inte approximeras oavsett om en av lutningarna bara skulle vara 20 meter. Samma sak gäller om det finns tre lutningar och dessa är över 990 meter osv. Detta just för att approximation inte ska göras mer än nödvändigt. Lutningar som tillsammans är under 330m får approximeras för sig själv om de tillsammans med nästkommande lutning är mer än 660m.
- När projektören känner till vilka lutningar som skall approximeras multipliceras dessa med sin egen längd och summeras sedan för att divideras med lutningarnas totala längd. Slutsumman avrundas neråt till närmsta heltal och blir sträckningens approximerade lutning.
- Approximation görs utan hänsyn till slutpunkter.
- Approximation görs för både jämn och udda tågriktning. När approximationen görs för motsatt riktning behöver bara tecknen byta plats på medellutningarna och därefter avrundas dessa neråt till närmsta heltal.

Tilläggs bör att vi alltså valt att helt ta bort intervallet som finns i alternativ 3. Lutningarna får alltså vara vitt skilda. I detta alternativ tas heller ingen hänsyn till slutpunkterna utan approximation görs på hela banan.

Tabell 14: Exempel på approximation enligt det reviderade alternativet.

Lutning, ‰	Längd, m	Beräkning	Approx, ‰
4	20	$\frac{4 \cdot 20 + 0 \cdot 473}{20 + 473} \approx \mathbf{0,16}$	0
0	473		
11	339	$\frac{13 \cdot 74 + 11 \cdot 85 + 9 \cdot 40 + 10 \cdot 75 + 11 \cdot 197}{74 + 85 + 40 + 75 + 197} \approx \mathbf{10,99}$	11
13	74		
11	85		
9	40		
10	75		
11	197		
12	133	$\frac{12 \cdot 133 + 2 \cdot 72 + 3 \cdot 193}{133 + 72 + 193} \approx \mathbf{5,83}$	5
2	72		
3	193		
2	221	$\frac{2 \cdot 221 + 4 \cdot 136}{221 + 136} \approx \mathbf{2,76}$	2
4	136		
5	395		5
-1	65	$\frac{-1 \cdot 65 + (-3 \cdot 290)}{65 + 290} \approx \mathbf{-2,63}$	-3
-3	290		
0	54	$\frac{0 \cdot 54 + 2 \cdot 110 + 14 \cdot 43 + 1 \cdot 102 + 0 \cdot 144}{54 + 110 + 43 + 102 + 144} \approx \mathbf{2,04}$	2
2	110		
14	43		
1	102		
0	144		
-1	47	$\frac{-1 \cdot 47 + 1 \cdot 126 + 2 \cdot 304}{47 + 126 + 304} \approx \mathbf{1,44}$	1
1	126		
2	304		
5	61		5
Totalt	25st	3928m	10 st

Det intressanta med denna vidareutveckling är att approximationen skulle bli mycket enklare än den ursprungliga varianten. Tid skulle sparas och dessutom skulle följden också bli att lutningarna aldrig skulle överstiga 31 per MA oavsett ursprungligt antal. Dessutom är tanken att approximation också ska kunna göras på platser där slutpunkter finns.

Vi har räknat med detta reviderade alternativ på vår referensbana som vi gjort med de andra alternativen, se bilaga 5. Medellutningen för jämn tågriktning är på referensbanan är 5,61 ‰ och efter approximation 5,21 ‰. För udda tågriktning var medellutningen -5,61 ‰ och efter approximation blev det -6,21 ‰. Skillnaden i medellutning beror endast på att lutningarna avrundas neråt till närmsta heltal.

9 Slutsats/Slutgiltig lösning

Arbetet med att ta fram en bra lösning för att göra approximationer känner vi att vi skulle kunna hålla på med hur länge som helst då vi måste väga in en hel del olika saker ur säkerhetssynpunkt. Eftersom vi också inte jobbat med detta en längre tid är det också lättare att missa säkerhetsdetaljer. Detta gör också att vi valt att presentera två alternativ, med ett som vår slutgiltiga lösning och ett som, om vår slutgiltiga lösning inte uppfyller de höga säkerhetskraven, skulle vara ett reservalternativ.

Vi tycker dock att vår lösning känns väldigt bra, och den positiva respons vi fått från granskarna kändes också bra varför vi också väljer att presentera den reviderade versionen av alternativ 3 som slutgiltig lösning.

Det alternativ som vi sedan väljer att presentera som reserv till vår slutgiltiga lösning är alternativ 1.

9.1 Vidareutveckling

Vidareutvecklingen ligger i att ta reda på hur säker den slutgiltiga lösningen är.

Skulle vår slutgiltiga lösning uppfylla de hårda säkerhetskraven som finns och börja användas är vidareutvecklingen därifrån att ta fram ett program som projektören bara matar in baninformationen i och sedan får ut en färdig approximation.

Skulle vår slutgiltiga lösning inte anses som säker ligger vidareutvecklingen i att ta reda på var gränsen går för hur stor skillnaden mellan approximerad lutning och egentlig lutning får vara för att den ska anses som säker. Därefter kan en regel tas fram som säger att om det händer att den approximerade lutningen överstiger den gränsen approximeras istället lutningen efter den lägsta på sträckan.

Det skulle också vara möjligt att helt strunta i att approximera på de ställen där denna gräns överskrids och helt enkelt ta en förkortning av MA:t.

Skulle det vara så att vår slutgiltiga lösning förkastas bör vidareutvecklingen vid valet av alternativ 1 vara att ett program som förenklar approximationsprocessen utvecklas. Dessutom bör en lösning tas fram för de fall då alternativ 1 inte klarar av att komma ner i 31 lutningar per MA.

Referenser

Tryckta källor

Andersson, Evert & Berg, Mats. (2007).
Spårtrafiksystem och spårfordon. Del 1: Spårtrafiksystem.
Stockholm: Universitetservice.

European Economic Interest Group, EEIG. (2008).
Description of the brake curve calculation.
Reference EEIG: 97E881

Trafikverket. (2009a).
ATC-signalering. Grundläggande signaleringskrav.
BVS 544.98015 Diarienummer: F09-7155/SI10

Elektroniska källor

Axelsson, Magnus. (2007).
Swedish ERTMS implementation plan. [PDF].
Regeringskansliet, Stockholm.
Tillgänglig: <<http://www.trafikverket.se/PageFiles/19213/Swedish%20ERTMS%20implementation%20plan.pdf>>
[2012-02-22]

European Commission. (2009).
2009/561/EG. [PDF].
Tillgänglig: <http://eur-lex.europa.eu/RECH_mot.do> sök på ”2009/561/EG”
[2012-03-29]

European Commission. (2012).
ERTMS in 10 questions. [PDF].
Tillgänglig: <http://ec.europa.eu/transport/rail/interoperability/ertms/doc/ertms_10_questions_en.pdf>
[2012-03-20]

European Commission's Directorate-General for Mobility and Transport, ECDGMT. (1996).
Rail transport: ERTMS: European Rail Traffic Management System. [PDF].
Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
Tillgänglig: <<http://bookshop.europa.eu/en/euret-pbC39796241/>>
[2012-03-29]

European Commission's Directorate-General for Mobility and Transport, ECDGMT. (2006).

ERTMS – Delivering flexible and reliable rail traffic. [PDF].

Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Tillgänglig: <<http://bookshop.europa.eu/en/ertms-delivering-flexible-and-reliable-rail-traffic-pbKO7205273/>>

[2012-03-29]

European Railway Agency, ERA. (2010).

SUBSET-026 v300. [Zip-fil].

Tillgänglig: <<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/SUBSET-026v300.aspx>>

[2012-05-18]

Städje, Jörgen. (2008).

Med ATC-systemet går tåget som på räls. [Internetartikel].

Tillgänglig: <<http://techworld.idg.se/2.2524/1.160472/med-atc-systemet-gar-taget-som-pa-rals>>

[2012-03-29]

The European Rail Traffic Management System, ERTMS. (2012a).

ERTMS in brief. [Hemsida].

Tillgänglig: <<http://www.ertms.net>> Klicka på ERTMS

[2012-03-21]

The European Rail Traffic Management System, ERTMS. (2012b).

FAQ. [Hemsida].

Tillgänglig: <<http://www.ertms.net>> Klicka på FAQ

[2012-03-21]

Trafikverket. (2009b).

ERTMS - för att stärka järnvägens konkurrenskraft. [PDF].

Tillgänglig: <http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6455/100485_ertms_for_att_starka_jarnvagens_konkurrenskraft.pdf>

[2012-03-28]

Trafikverket. (2011e).

ERTMS Regional. [PDF].

Tillgänglig: <http://www.trafikverket.se/PageFiles/58600/Broschyr_svenska_ERTMS%20Regional_110916.pdf>

[2012-03-28]

Trafikverket. (2012).

ERTMS i Sverige – nuläge och viktiga vägval. [PDF].

Tillgänglig: <http://www.trafikverket.se/PageFiles/68345/ertms_sverige_20120315_ny.pdf>

[2012-03-29]

Unife. (2012a).

A unique signalling system for Europe. [PDF].

Tillgänglig: <<http://www.ertms.net/facts-and-figures/ertms-factsheets.aspx>>

Klicka på Factsheet #9: A unique signalling system for Europe

[2012-05-18]

Unife. (2012b).

ERTMS Levels. [PDF].

Tillgänglig: <<http://www.ertms.net/facts-and-figures/ertms-factsheets.aspx>>

Klicka på Factsheet #3: ERTMS Levels

[2012-05-18]

Ej utgivna källor

Trafikverket. (2011a).

Förare Allmän ERTMS.

Tillgänglig över mail: anders.a.forsberg@trafikverket.se

Trafikverket. (2011b).

ERTMS Signalingenjörer mfl. Kapitel 1 Allmän ERTMS.

Tillgänglig över mail: anders.a.forsberg@trafikverket.se

Trafikverket. (2011c).

ERTMS Signalingenjörer Kapitel 3 Systemfunktioner.

Tillgänglig över mail: anders.a.forsberg@trafikverket.se

Trafikverket. (2011d).

ERTMS Signalingenjörer Kapitel 2 Markutrustning.

Tillgänglig över mail: anders.a.forsberg@trafikverket.se

Bildkällor

EuroGeographics. (2001).

ERTMS Deployment in 2020. [PDF].

Tillgänglig:

<http://ec.europa.eu/transport/rail/interoperability/ertms/doc/edp/ertms_map.pdf >

[2012-03-29]

Trafikverket. (2011b).

ERTMS Signalingenjörer mfl. Kapitel 1 Allmän ERTMS. [Ej utgiven källa].

Tillgänglig över mail: anders.a.forsberg@trafikverket.se

Trafikverket. (2011f).

Ådalsbanan - den viktiga länken. [PDF].

Tillgänglig:<http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6226/100378_adalsbanan_den_viktiga_lanken.pdf >

[2012-03-21]

Bilagor

Eftersom att en del av våra bilagor är så pass stora som 300 sidor långa har vi valt att lägga alla bilagor på bifogad CD-skiva. Dessa bilagor är, innehåller och kommer från följande sidor:

Bilaga	Innehåll	Nämns på sida
1	Approximation av bandelar för alt 1	29, 31
2	Approximation av referensbana alt. 1-3	29, 30, 33, 34, 36
3.1	ETCS-plan referensbanan del 1	17
3.2	ETCS-plan referensbanan del 2	-
3.3	ETCS-plan referensbanan del 3	-
4	Approximationsregler nuvarande lösning	21
5	Approximation av referensbana med slutgiltigt alternativ	46
6	Linjeberäkning referensbana	16