

Thesis 262

Underhållsplan för framtida slipersbyten

- Träsliper på skarvspår i Småland

Dani Kassabian

Ola Mortensen

Trafik och väg

Institutionen för teknik och samhälle

Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet



Thesis 262

Underhållsplan för framtida slipersbyten

- Träsliper på skarvspår i Småland

Dani Kassabian

Ola Mortensen

Trafik och Väg
Institutionen för Teknik och Samhälle
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet



Copyright © Dani Kassabian, Ola Mortensen

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5228)/61 PDF-sidor/2014
ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet
Lund 2014

Examensarbete

CODEN: LUTVDG/(TVTT-5228)/61
PDF-sidor/2014

Thess / Lunds Tekniska Högskola, ISSN 1653-1922
Institutionen för Teknik och samhälle,
Trafik och väg, 262

Author(s): Dani Kassabian

Ola Mortensen

Title: Underhållsplan för framtida sliperbyten

English title: Maintenance plan for sleeper change in the future

Language: Swedish

Year: 2014

Keywords: Normalfördelning, sliper, sliperbyten, skarvspår, träsliper

Citation: Kassabian, Dani & Mortensen, Ola, Underhållsplan för framtida sliperbyten - Träsliper på skarvspår i Småland, Lund, Lunds universitet, LTH, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2014. Thess. 262

The method of joint tracks is an old way of railway construction which is still being used on several rail links in Sweden. Due to the current economic situation in Sweden, Joint tracks will continue to be used for a further period of time. This will result in a more effective maintenance planning for Joint tracks. The Swedish Transport Administration goal is to move from emergency maintenance to preventive maintenance. In order for those measures to be implemented, a study of the track's history and past maintenance is acquired. In particular the focus is on wooden sleepers combined with spike fastening, which are the most costly due to their constant demand of maintenance. Many of these sleepers are over 40 years old and have been worn to maximum. If it would be possible, would the optimal solution be to replace the older Joint tracks with new all-welded track with concrete sleeper. Unfortunately this is not realistic today given the current economic situation. In order to achieve this type of calculations, a study visit was carried out to a rail way link with Joint track. The track studied was 832 between the towns of Hultsfred and Berga. The purpose of the study was to count the number of sleepers in three categories. First was to count the number of sleepers which needed to be replaced urgently, secondly the sleepers that needed future replacement and lastly recently installed collected sleepers. The results were compared with data from the same route, which had been done two years earlier. With the given results through mathematical statistical distributions, a summary of the approximate level of maintenance of wooden sleepers could then be obtained.

Trafik och väg
Institutionen för Teknik och samhälle
Lunds Tekniska Högskola, LTH
Lunds Universitet
Box 118, 221 00 LUND

Transport and Roads
Department of Technology and Society
Faculty of Engineering, LTH
Lund University
Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

Innehållsförteckning

Förord	1
Sammanfattning	2
Summary	4
Förkortningar och förklaringar	6
1 Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte	7
1.3 Metod	7
1.4 Avgränsning	8
2 Litteraturstudie	9
2.1 Järnvägens historia i Sverige	9
2.1.1 Byggnation av järnvägsnätet	10
2.1.2 Svenska Stambanan	11
2.1.3 Privata järnvägsbolag	12
2.1.4 Smalspårsbanor	13
2.1.5 Förstatligande av Sveriges järnvägsnät	13
2.1.6 Järnvägsutveckling i Småland	14
2.2 Järnvägens beståndsdelar	17
2.2.1 Banan	17
2.2.2 Banunderbyggnad	17
2.2.3 Dränering	17
2.2.4 Konstbyggnader	17
2.2.5 Banöverbyggnad	18
2.2.6 Råler	19
2.2.7 Befästningar	19
2.2.8 Sliprar	21
2.2.9 Ballast	25

3	Skavspårstekniken	26
3.1	Krav på skarvspår	26
3.1.1	Generella Krav	26
3.1.2	Bantekniska krav för huvudspår	27
3.1.3	Bantekniska krav för sidospår	31
3.2	Skarvspårs problematik	32
3.2.1	Solkurvor	32
3.2.2	Rälsbrott	33
3.2.3	Uppfrysning/ tjällyftning	34
3.3	Underhåll av skarvspår	34
3.3.1	Tillåtna rälstemperaturer	34
3.3.2	Rälsskarvar	34
3.3.3	Slipersreglering	35
4	Metodbeskrivning	36
4.1	Inledning av arbete	36
4.2	Studiebesök	36
4.3	Statistiskt samband	38
5	Resultat	39
5.1	Sammanställning resultat	39
5.2	Beräkningar i MATLAB	40
6	Diskussion och slutsatser	41
6.1	Resultatdiskussion	41
6.2	Metoddiskussion	41
6.3	Slutsatser	42
6.3.1	Rekommendationer	42
7	Referenser	43
8	Bilagor	44
8.1	Bilaga 1 Bygg och gränsvärden	44
8.2	Bilaga 2 MATLAB-program	48
8.2.1	Anna Lindgrens MATLAB-program	48
8.2.2	Beräknings resultat från MATLAB-programmet	49
8.3	Bilaga 3 Tabellvärden	51
8.3.1	Mätdata med sliperbyten	51

8.3.1 Mätdata utan sliperbyten

51

Förord

Examensarbetet är skrivit på Trafikverket i Malmö på drift och underhållsavdelningen. Arbetet är utfört under vårterminen 2014 och är det sista momentet i vår utbildning till Civilingenjörer på Väg och vattenbyggnadsprogrammet på Lunds Tekniska Högskola.

Först och främst vill vi tacka våra handledare på Trafikverket Jan Lidby, Johan Petersson och Björn Schelin som har hjälpt oss under arbetets gång. Ett stort tack går även till Ebrahim Parhamifar som har varit vår handledare på skolan under arbetsgång.

Vi vill också tacka Anna Lindgren som har hjälpt oss med beräkningar i MATLAB till resultatdelen i arbetet. Tack också till Patrik Henriksson på Infranord som ansvarade för vår säkerhet under fältstudiedagarana i Småland.

Dani Kassabian & Ola Mortensen

Lund, maj 2014

Sammanfattning

Järnvägsskarvspår är en äldre metod som fortfarande används på ett flertal järnvägsförbindelser runt om i Sverige. Med tanke på den begränsade ekonomiska budget som rådet för infrastrukturen kommer skarvspår även fortsättningsvis att användas. Detta medför att det kommer behövas en effektivare underhållsplanering för skarvspår.

Den underhållsplan som i dagsläget används är undermålig och ger ingen strukturerad kunskap om skicket på skarvspåren. Detta har resulterat i att underhållet blivit eftersatt och de åtgärder som genomförts styrts utav akuta fel.

Trafikverkets målsättning är att gå från underhåll av akutåtgärder till underhåll genom förebyggande åtgärder. För att detta ska kunna genomföras behövs det en studie över spårets historik och tidigare underhåll. Den största problematiken berör främst träsliprar med spikbefästning. Metoden att använda sig utav spikbefästning är äldre metod som kräver konstant underhåll, vilket har resulterat i att dessa spår har fått ett slitage med stora underhållskostnader. Den optimala lösningen skulle vara att byta ut äldre skarvspår med nya helsvetsade spår med betongsliprar. Detta är inte möjligt idag eftersom det skulle leda till en dyr investering som inte är lönsam att genomföra med tanke på en den låg trafikering på dessa förbindelser.

Syfte med arbetet är att kunna få en uppfattning över vilken underhållsnivå som bör åstadkommas vad gäller slipersbyten på järnvägsförbindelser med skarvspår. Detta för att kunna få fram antalet sliprar som behöver bytas årligen. Målsättningen är att uträtta en beräkningsmodell byggd på tidigare dokumenterad statistik som kan räkna ut hur det framtida underhållsbehovet för träsliper bör se ut.

För att erhålla denna typ av beräkningsmodell genomfördes studiebesök på en skarvspårssträcka 832 (Hultsfred- Berga) där antalet sliprar som bör bytas akut, antalet framtida sliperbyten samt ny inbytta sliprar räknades. Resultatet jämfördes med värden från samma sträcka två år tidigare. Utifrån detta resultat har det genom matematiskt statistiska fördelningar kunnat erhållas en sammanställning på ungefärlig underhållsnivå av träsliprar.

Medhjälp av Anna Lindgren lärare i matematisk statistik på Lunds Tekniska Högskola kunde resultaten som erhållits från studiebesöket sammanfattas i en matematisk fördelning. Resultatet från beräkningarna utav sliprarna visade sig vara likt en normalfördelning, vilket innebar att sliprarna visade en tendens till att vara beroende utav varandra. Med detta i åtanke blev det tydligare att rådande underhållsmetod idag med sporadiska sliperbyten per km inte var hållbar i längden. Det som gjorde att denna underhållsmetod inte är effektiv är på grund av att byttes det några få sliprar på en sträcka och om de resterande sliprarna var i sämre skick medförde detta att de nyinlagda sliprarna tog en större belastning. Vilket försämrade de nyinlagda sliprarnas livslängd.

Den optimala underhållsmetoden utifrån resultatet från beräkningarna i MATLAB framhävde vikten av att byta större partier sliprar per km och att istället fokusera på de sträckorna med större mängd dåliga sliprar.

Beräkningarna från MATLAB visade även om Trafikverket skulle i fortsättningsvis använda sig utav sporadiska slipersbyten innebar det att antalet sliprar som behövdes bytas ut per km vara 61 st.

Beräkningarna lade även grund för vidare studier inom ämnet i form av undersökning av andra skarvspår och jämföra med resultatet som erhålls i denna rapport.

Summary

The method of joint tracks is an old way of railway construction which is still being used on several rail links in Sweden. Due to the current economic situation in Sweden, Joint tracks will continue to be used for a further period of time. This will demand a more effective maintenance planning for Joint tracks.

The maintenance plan that is being used today is deficient and does not give proper and structured information about where, when and in what condition the rail way tracks are. As a result of this, the maintenance has been neglected and the work which has been done has been guided by emergency errors.

The Department of transportation's goal is to move from emergency maintenance to maintenance through prevention measures. In order for those measures to be implemented, a study of the track's history and past maintenance is acquired. In particular the focus is on wooden sleepers combined with spike fastening, which are the most costing due to their constant requiring of maintenance. Many of these sleepers are over 40 years old and have been worn to maximum. If it would be possible, would the optimal solution be to replace the older Joint tracks with new all-welded track with concrete sleeper. Unfortunately this is not realistic today given the current economic situation. Also it would lead to expensive investments which would not be profitable to implement given the fact that there is low traffic on these links.

The main purpose of this essay is to get an idea and to establish a plan of what level of maintenance that should be done in terms of sleeper replacement of rail links with Joint tracks. This is to obtain the number of sleepers that needs to be replaced annually. The goal is then to accomplish a calculation model built on previously documented statistics to figure out how future maintenance of sleepers should look like.

In order to achieve this type of calculations, a study visit was carried out to a rail way link with Joint track. The track studied was link 832 between the towns of Hultsfred and Berga. The purpose of the study visit was to count the number of sleepers in three categories. First was to count the number of sleepers which needed to be replaced urgently, secondly the sleepers that needed future replacement and lastly newly installed sleepers. The results were compared with data from the same route, which had been done two years earlier. With the given results through mathematical statistical distributions, a summary of the approximate level of maintenance of wooden sleepers could then be obtained.

With the help of Anna Lindgren, Teacher in Mathematical Statistics at Lund University the results obtained from the study visit could be summarized in a mathematical distribution. The result of the calculations of total sleepers proved to be similar a normal distribution, which meant that the sleepers showed a tendency to depend out of each other. With this in mind, it became clearer that the current maintenance approach today with sporadic sleeper

changes per kilometer was not sustainable in the long run. What proved this maintenance method not effective was based on the situation if one changed a few sleepers at a certain distance and kept the remaining sleepers in worse condition. The results would mean that the new sleepers took a larger load from the railway traffic thus shortening the life-span of the sleepers.

The optimal maintenance method based on the results from the calculations in MATLAB highlighted the importance of exchanging bigger amounts of sleepers per km and focusing instead on the sections which had greater amount of bad sleepers.

Calculations from MATLAB also showed that if The Swedish Transport Administration would choose to continue with their current maintenance, the number of sleepers which needed to be replaced per kilometer would then be 61 sleepers.

Förkortningar och förklaringar

Axellast	Total belastning som en vagnaxel utsätter ett spår för.
Baxvärde	Värdet som erhålls när ett specifikt spår förflyttas i sidled.
Bessy	Trafikverkets datasystem för säkerhets-, underhålls- och övertagandebesiktningar.
Binomialfördelning	Matematisk fördelning där faktorerna är oberoende av varandra.
Histogram	Grafiskframställning av mätdata.
Kreosot	Ämne som används för träsliprar för att öka deras livslängd, framställt utav olja.
Linjebruk	Området där rälen anläggs.
MATLAB	Dataprogram för matematiska och tekniska beräkningar.
Normalfördelning	Matematisk fördelning där faktorerna påverkar varandra.
Ofelia	Trafikverkets datasystem för registreringar av vilka fel i anläggningen som har gjorts.
Rallare	Anläggningsarbetare vid järnvägen.
Spårvidd	Avståndet mellan rälerna på ett järnvägsspår.
TCS	Tuned Concrete Sleeper- knäckta betongsliprar.
Tjälskjutande jordarter	Jordarter såsom finkornigt grus, silt eller lera som har sämre vattengenomsläpplighet.
Tryckbank	Är marken vid sidan av själva järnvägsbanan, fylls med mineraljord om inget annat anges.
Tåggång	Beskriver hur tågets komfort upplevs, dålig tåggång ger dålig komfort, bra tåggång ger bra komfort.
Vignolräl	Är den vanligaste rälstypen som används.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Trafikverkets underhållsområde syd, mer specifikt Jönköpingsregionen har det varit funderingar kring hur underhållet av gamla skarvspår kan effektiviseras. Underhållsbudgeten är alltid begränsad och möjlighet till optimalt underhåll finns inte. Detta har medfört att underhållet inte varit kontinuerligt utan mer efter akuta behov. Vilket har resulterat i att anläggningens skick blivit eftersatt eftersom underhållet har styrts av budgetunderlaget för underhållet istället för själva standarden på sliparna. Det finns idag ett stort underhållsbehov av skarvspåren, eftersom budgeten inte tillåter en totalupprustning av spåren till svetsade spår med betongsliprar måste andra alternativ studeras.

Skarvspåren kommer därmed att finnas kvar under en överskådlig tid, vilket medför att effektivare underhållsmetoder måste studeras. Målsättningen är att komma ner till en acceptabel och regelbunden underhållsnivå som bevarar spåren utan att de försämras. Kostnaden för underhållet skall vara kontinuerlig från år till år. Det skall kunna gå att planera på ett produktivare sätt vart resurserna skall disponeras i anläggningen.

1.2 Syfte

Syfte med arbete är att undersöka vad som är en optimal underhållsnivå för sliperbyten på järnvägsförbindelser med skarvspår. Målsättningen är att arbeta fram en beräkningsmodell där det går att räkna fram vilket som är en optimal underhållsnivå på en skarvspårsförbindelse.

Följande frågeställningar skall besvaras:

- Vilka brister och problem finns det med skarvspår?
- Vilka underhållsmetoder finns det för skarvspår?
- Vilken mängd träsliprar behöver bytas regelbundet för att underhållsnivån skall hållas konstant från år till år?

1.3 Metod

Arbetet inleds med att göra en litteraturstudie för att få en djupare förståelse för järnvägsskarvspår. I litteraturstudien undersöks det dels järnvägens historia i Sverige samt hur järnvägsnätet är uppbyggde med dess olika beståndsdelar. Kunskapen som samlas in från litteraturstudien ligger sedan till grund till resultatdelen i arbete.

Till resultatdelen i arbetet har det genomförts två studiebesök. Ett av studiebesöket var att få en inblick i hur järnvägsnätet med skarvspår ser ut i Småland. På så sätt få en förståelse över vad som är problematiken med skarvspåren och vad är det som behövs göra för att förbättra underhållet.

Det andra studiebesöket gick ut på att räkna sliprar på en sträcka på 36 km mellan Berga och Hultsfred. I undersökningen räknades det vilka sliprar som behövdes bytas, vilka sliprar inom den närmaste tiden behövs bytas och antalet ny inlagda sliprar. Resultatet från detta studiebesök ligger sedan till grund för att kunna få fram beräkningsmodellen för att kunna räkna ut det framtida bytesbehovet av sliprar.

Efter studiebesöket sammanställdes mätvärden i tabeller och sedan bearbetades värdena i beräkningsprogrammet MATLAB för att få ett matematiskt samband. Anna Lindgren lärare i matematisk statistik på Lunds Tekniska Högskola bistod med detta.

1.4 Avgränsning

I arbetet kommer det inte att undersökas alla skarvspår som finns i Sverige, utan arbetet är avgränsat till att endast studera skarvspår i Småland. Det som kommer att undersökas på skarvspåren i Småland är endast hur sliperbyten påverkar ett skarvspårs livslängd. Detta är valt för att dels begränsa arbetet så att resultatet blir möjligt att genomföra och för att sliperbyten har en stor påverkan på ett skarvspårs livslängd.

Resultatets beräkningar är endast begränsat till en sträcka bana 832 (Hultsfred – Berga). Orsaken är att fokus låg på att undersöka en specifik sträcka mer utförligt och på så vis få mer grundlig information om problematiken om skarvspår.

2 Litteraturstudie

2.1 Järnvägens historia i Sverige

Den första järnvägsförbindelse som någonsin uppfördes var i norra England mellan Stockton och Darlington. Den byggdes av George Stephenson och öppnades för trafik år 1825. I Sverige dröjde utvecklingen för järnvägen fram till mitten av 1800-talet. Anledningen till att utvecklingen av det Svenska järnvägsnätet dröjde var på grund av satsningar på sjöfart som transportmedel. Under åren 1810-1832 byggdes Göta kanal som var ett effektivt transportmedel för Sverige under 1800-talet (Nicolin, 1995).

Initiativtagaren till att bygga järnvägar i Sverige var greve Adolf Eugène von Rosen som år 1845 fick ensamrätt att uppföra ett järnvägsnät i södra delarna av Sverige. Avtalet innebar att von Rosen skulle bygga järnvägar i 20 årstid och ansvara för driften under en långtid framöver. För att kunna finansiera utbyggnaden av järnvägsnätet i Sverige skulle von Rosen få finansieringshjälp av privata engelska investerare. Järnvägsnätet som von Rosen planerade att uppföra var tre huvudbanor mellan Stockholm – Gävle, Stockholm – Ystad och Stockholm – Göteborg. Till huvudbanorna igenom landet skulle det också ansluta ett flertal så kallade bibanor till kringliggande orter längst med huvudbanorna (Bårström och Granbom, 2012).



Figur 1: Adolf Eugène von Rosen (Bårström och Granbom, 2012).

von Rosens järnvägsvisioner blev dessvärre inte genomförda på grund av att de engelska investerarna drog sig ur de planerade järnvägsprojekten. Anledningen till att finansieringen uteblev var på grund av att engelsmännen påverkades av oron i Europa efter februarirevolutionen år 1848 i Paris. En annan orsak var att det fanns bättre och mer lönsammare järnvägsprojekt i andra länder att investera i (Bårström och Granbom, 2012).

När von Rosens planerade järnvägsplaner misslyckades blev den Svenska regeringen mer engagerad i den framtida järnvägsutbyggnaden i Sverige. År 1853 lämnade den *Kungl. Maj:t* in en proposition till utvecklingen av den svenska järnvägen. Förslaget innehöll följande:

- Staten skulle äga och bekosta alla järnvägsstamlinjer. Det innebar att staten skulle bygg de så kallade huvudlinjerna (stambanorna) igenom Sverige.
- Finansieringen för järnvägsbyggnationen skulle ske med hjälp av obligationslån med en årlig amortering.
- En förutsättning för finansieringen av första järnvägssträckan mellan Stockholm - Göteborg var att Riksdagen beslutade om att införa en brännvinskatt höjning.
- Hur den statliga järnvägen skulle se ut skulle Kungl. Maj:t disponera medel för.

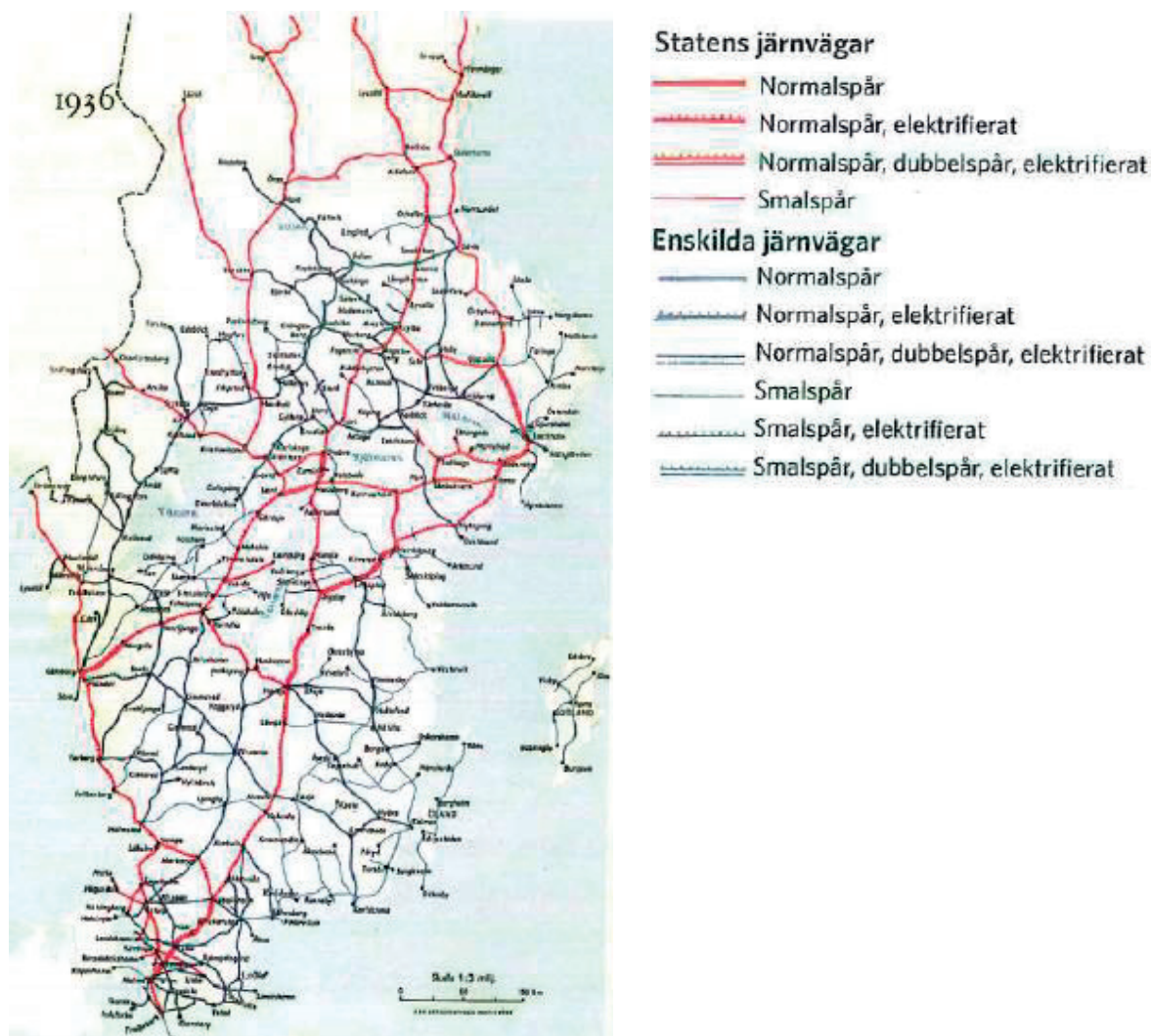
- Det skulle också finnas privata järnvägar utöver den statliga järnvägen som drevs av privata järnvägsbolag (Bårström och Granbom, 2012).

2.1.1 Byggnation av järnvägsnätet

Åren mellan 1860-1900 var den mest intensivaste järnvägsbyggnationsperioden i Sverige. Under den här tidsperioden arbetade det cirka 20 000 personer fördelat på både rallare och ingenjör med olika järnvägsprojekt runt om i landet. De statliga järnvägsbanorna byggdes i egen regi av statliga myndigheter. Byggnationen av de privatjärnvägarna byggdes av olika privata entreprenörföretag (Bårström och Granbom, 2012).

Placeringen av järnvägsnät bestämdes utifrån en del kriterier. Järnvägen skulle bland annat planeras utifrån viktiga och förutsägbara handelsstråk igenom Sverige. Placeringen igenom landet skulle också anpassa så att ingen järnväg skulle uppföras när de svenska kusterna och de större inhemska sjöarna. Anledningen var på grund av att järnvägen inte skulle vara sårbar mot eventuella fientliga anfall och inte konkurrera med den inhemska sjöfarten (Bårström och Granbom, 2012).

Det svenska järnvägsnätet var som allra störst utbyggt under slutet av 1930-talet, omfattningen av järnvägsnätet var cirka 17 000 km. Fördelningen var uppdelad genom att de statliga järnvägarna motsvarade en tredjedel av det totala järnvägsnätet och resterande två tredjedelar ägdes av privata järnvägsbolag (Bårström och Granbom, 2012).

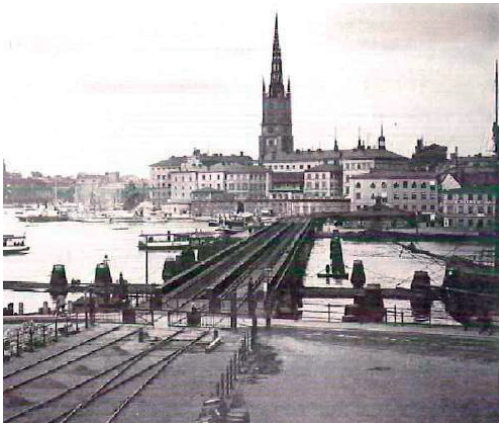


Figur 2: Sveriges järnvägsnät år 1936 (Bårström och Granbom, 2012).

2.1.2 Svenska stambanan

Det stadiga järnvägsnätet bestod av så kallade stambanor vars syfte vara att uppföra ett sammanbindande järnvägsnät igenom Sverige (Bårström och Granbom, 2012). År 1856 började byggnationen av Sveriges stambanan med västra stambanan och södra stambanan. I slut av år 1856 öppnades de första etapperna på det statliga järnvägsnätet för trafik mellan Göteborg – Jonsered på Västra stambana och Malmö – Lund på Söder stambanan. Järnvägsnätet i södra delarna av Sverige växte sedan fram successivt med ett flertal olika destinationer och fram till år 1875 var den svenska stambanan utbyggd enligt följande:

- Västra stambanan Stockholm södra – Falköping – Göteborg år 1862
- Västra stambanan Hallsberg Örebro år 1862
- Södra stambanan Falköping – Jönköping – Nässjö – Malmö år 1864
- Norra stambanan Stockholm norra – Uppsala år 1866
- Nordvästra stambanan Laxå – Charlottenberg år 1871
- Stockholm sammanbindningsbanan år 1871
- Östra stambanan Katrineholm – Norrköping – Nässjö år 1874
- Norra stambanan Uppsala – Krylbo – Storvik år 1875 (Bårström och Granbom, 2012).



Figur 3: Stockholms sammanbindningsbanan (Bårström och Granbom, 2012).



Figur 4: Uppsalas tågstation år 1866 (Bårström och Granbom, 2012).

I norr delarna av Sverige hade inte uppförandet av de statliga stambanorna priorerats som i södra delarna av Sverige. Anledningen var att behovet av ett järnvägsnät i norra Sverige ansågs inte var lika stort som behovet i södra Sverige (Bårström och Granbom, 2012).

År 1873 beslutade Svenska riksdag att uppföra en stambana mellan Storvik till Ånge, som färdigställdes år 1881. På den Norrländska stambanan byggas det också en förbindelse via Sundsvall, Östersund och Storlien som år 1882 öppnade för trafik (Bårström och Granbom, 2012).



Figur 5: Ånges tågstation år 1881 (Bårström och Granbom, 2012).



Figur 6: Åres tågstation (Bårström och Granbom, 2012).

2.1.3 Privata järnvägsbolag

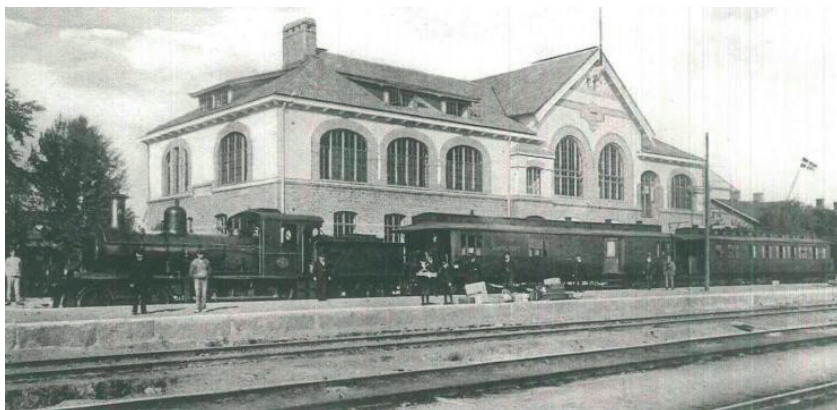
Sveriges totala järnvägsnät uppfördes två tredjedelar av privata järnvägsbolag som tidigare beskrivits i *kap 2.1.1 (Byggnation av järnvägsnätet)* (Bårström och Granbom, 2012). Under utbyggnadsperioden av järnvägsnäten i Sverige grundades det ungefär ett hundratal privata järnvägsbolag. De vanligaste ägarna till de privata järnvägsbolagen var privatpersoner, kommuner och landsting. Det kunde också vara handelsföretag eller industrier. Syftet var att de privata järnvägsbolagen skulle uppföra bibanor på kortare sträckor som ansluts till de statliga stambanorna. Detta innebar att det svenska järnvägsnätet blev mer tillgängligt för både allmänheten och för näringslivet (Bårström och Granbom, 2012).

För att de privata järnvägsbolagen skulle kunna finansiera sina järnvägsprojekt fanns det statslån som svenska staten bistod med. Statslånen var utformade med förmånliga villkor för järnvägsbolagen. Syftet med statslånen var att få ett effektivt och väl utbyggt järnvägsnät i Sverige. Det förekom också att finansieringen var från lokala investerare eller utländska investerare (Bårström och Granbom, 2012).

Varje ny järnvägsförbindelse som uppfördes av ett privatägt järnvägsbolag skulle bolaget först ansöka tillstånd från regeringen för att få uppföra en järnvägsförbindelse. Detta genomfördes på grund av att varje järnvägsbolag fick koncession för sina järnvägsförbindelser, vilket innebar ensamrätt att nyttja sin järnväg. Det medförde att de olika privata järnvägsbolagen inte konkurrerade med varandra, utan istället hade det monopol på sina järnvägssträckor. För att inte de privata järnvägsbolagen skulle utnyttja monopoliet felaktigt var koncessionerna från regeringen utformade med krav som skulle följas. Kraven berörde bland annat vilken prissättningsnivåer som skulle tillämpas (Bårström och Granbom, 2012).

Exempel på järnvägsförbindelser som uppfördes i Sverige under slutet på 1800-talet och början på 1900-talet av privata järnvägsbolag var bland annat:

- Borås - Herrljunga år 1863
- Kristianstad - Hässleholm år 1864
- Uddevalla - Vänersborg - Herrljunga år 1865
- Växjö- Alvesta år 1865
- Karlskrona - Växjö år 1874
- Helsingborg - Hässleholm år 1875
- Krylbo - Borlänge år 1881
- Härnösand - Sollefteå år 1893
- Borås - Alvesta år 1902 (Bårström och Granbom, 2012).



Figur 7: Alvestas tågstation år 1909 (Länsstyrelsen, 2010).

De privata järnvägsbolagen hade också en betydande inverkan på utvecklingen av export och import av varor från hamnområden i Sverige. Anledningen var att flera järnvägsförbindelser från hamnområden i Sverige uppfördes av privata järnvägsbolag. Exempel på järnvägsförbindelser från hamnområden som uppfördes av privata järnvägsbolag var bland annat:

- Nässjö - Oskarshamn år 1874
- Varberg - Borås år 1880
- Halmstad - Nässjö år 1882 (Bårström och Granbom, 2012).



Figur 8: Oskarshamns järnvägsstation (Adell, 1974).

2.1.4 Smalspårsbanor

Stambanorna i Sverige byggdes med normalspår med en spårvidd på 1435 mm. Ett billigare alternativ var att bygga med smalspår, spårvidderna som användes i Sverige för smalspår var 600, 891 och 1067 mm. På grund av att smalspår var billigare än normalspår så byggdes ungefär 4000 km privatägda järnvägar med smalspår i Sverige (Bårström och Granbom, 2012).

Skillnaden mellan smalspår och normalspår var att smalspårsbanor hade lägre hastighet, kapacitet och bärighet vilket innebar en sämre trafikförmåga än normalspår. Merparten av smalspårsbanorna i Sverige byggdes under åren 1890-1910. En del av smalspårsbanorna byggdes om till normalspårsbanor, en större del av smalspårsbanorna blev upp rivna och avvecklades (Bårström och Granbom, 2012).

2.1.5 Förstatligande av Sveriges järnvägsnät

Under 1930-talet fick allt fler privatägda järnvägsbolag svårigheter att få lönsamhet i sin verksamhet. Det var på grund av att vägtrafiken ökade i Sverige och konkurrerade med tågtrafiken. Detta medförde att flera privata järnvägsbolag gick samman med andra bolag för att kunna öka lönsamheten. En del bolag klarade inte av den ökande konkurrensen från vägtrafiken och blev tvungna att lägga ner sin verksamhet (Bårström och Granbom, 2012).

Det uppstod också svårigheter med att kunna samordna effektiva och attraktiva tågförbindelser mellan de olika privata järnvägsbolagen och de statliga. Orsaken till det var att varje järnvägsbolag hade sina egna resursanvändningar och planeringsstyre. Ett annat problem var att flera privata järnvägsbolag hade stora investeringsbehov som behövdes genomföras. På grund av den ökade konkurrensen från vägtrafiken var det omöjligt för flera privata järnvägsbolag att genomföra de större investeringarna (Bårström och Granbom, 2012).

Staten övertog ett flertal järnvägsbolag under 1930-talet, orsaken till att staten förvärvade bolagen var dels att det fanns ett statligt intresse för en del järnvägsförbindelser. Det kunde också vara att järnvägsbolagen inte kunde betala av sina fodringar till staten, som bestod av statslån. Det som då inträffade var att staten övertog bolagets järnvägssträckor i utbyte mot att statslånen skrevs av (Bårström och Granbom, 2012).

Eftersom att det fanns en del problematik med de privata järnvägsbolagen beslutade Sveriges riksdag år 1939 att förstatliga alla betydande privata järnvägsförbindelser. Det innebar att nästan alla privatägda järnvägsförbindelser förstatligades genom förvar av den svenska staten. Tidsperioden som staten förvärvade de privatägda järnvägssträckorna var mellan åren 1940 - 1948 (Bårström och Granbom, 2012).

2.1.6 Järnvägsutveckling i Småland

Järnvägen kom till Småland i samband med att södra stambanan byggdes mellan Malmö - Jönköping - Nässjö - Falköping och från Falköping fortsatte den mot både Stockholm och Göteborg. År 1864 var södra stambanan färdigbyggd, den öppnades i del etapper längst byggnationens gång t.ex. öppnades järnvägsförbindelsen i Jönköping år 1863 (Bårström och Granbom, 2012)

Det byggdes ytterligare en statlig järnvägsförbindelse i Småland och det var östra stambanan mellan Nässjö och Katrineholm, som var färdigbyggd år 1874. Till södra- och östra stambanan anslöts det ett flertal järnvägsförbindelser som uppfördes av privata järnvägsbolag. Några av järnvägsförbindelserna som uppfördes var bland annat:

- Jönköping - Vireda
- Kalmar - Berga
- Nässjö - Oskarshamn
- Nässjö – Halmstad (Bårström och Granbom, 2012).



Figur 9: Jönköpings tågstation på Södra Stambanan (Bårström och Granbom, 2012).

2.1.6.1 Jönköping – Vireda

Järnvägen mellan Jönköping och Vireda den så kallade Gripenbergs järnväg blev färdigställd år 1894. Järnvägsförbindelsen uppfördes med smalspår med en spårvidd på 600 mm (Welander, 2000).

Från början var det syftet att järnvägsförbindelsen skulle byggas från Jönköping och anslutas söder om Tranås på östra stambanan som gick mellan Nässjö – Katrineholm. På grund av ekonomiska problem byggdes järnvägsförbindelsen bara fram till Vireda. År 1935 lades järnvägen ner på grund av konkurrens från vägtrafiken (Welander, 2000).



Figur 10: Viredas station (Welander, 2000).

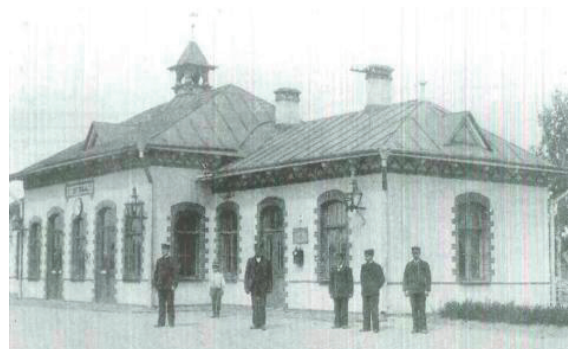
2.1.6.2 Kalmar- Berga

År 1897 var järnvägen mellan Kalmar och berga färdig byggd, den byggdes med smalspår med en spårvidd på 891 mm. Järnvägsförbindelsen förstatligades år 1940 av Svenska staten (Edman, B 2001).

Under 1960-talet lades järnvägstrafiken mellan Kalmar och Berga ner. Det började med att godstågen mellan Ruda och Sandbäckshult upphörde år 1963. På nyårafton år 1967 gick det sista persontåget mellan Kalmar och Berga. Sedan under 1970-talet rustades järnvägen upp och ersattes med normalspår i olika del etapper och år 1978 var det normalspår på hela järnvägssträckan (Edman, B 2001).



Figur 11: Kalmars tågstation (Edman, B 2001).



Figur 12: Bergas tågstation år 1898 (Edman, B 2001).

2.1.6.3 Nässjö – Oskarshamn

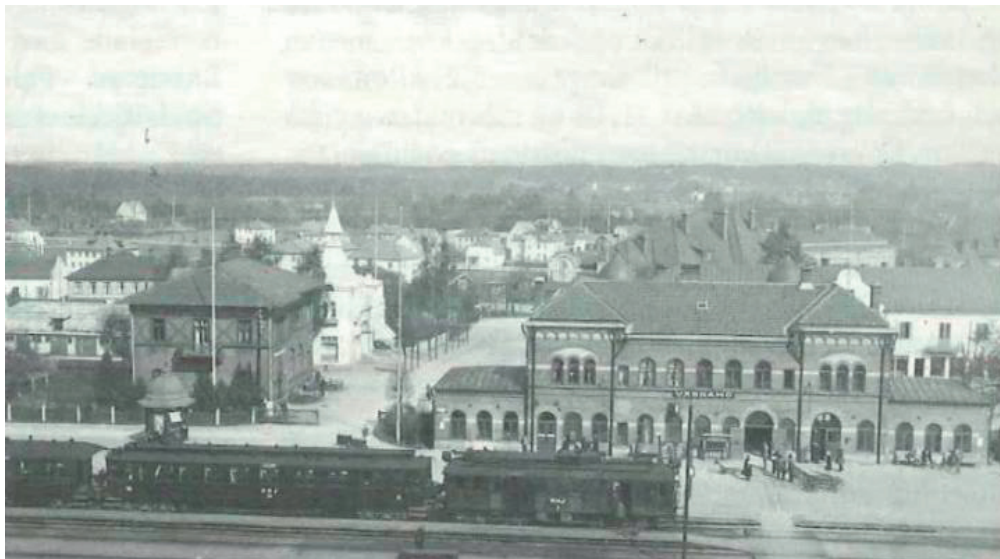
Järnvägsförbindelsen mellan Nässjö och Oskarshamn färdigställdes år 1874. Syftet med järnvägsförbindelsen var att anknyta Oskarshamns hamnområde till de statliga stambaneförbindelserna i Nässjö. År 1946 förstatligades järnvägsförbindelsen av den svenska staten (Adell, 1974).



Figur 13: Hulthfreds tågstation år 1948 (Adell, 1974).

2.1.6.4 Nässjö – Halmstad

Järnvägen mellan Nässjö och Halmstad var den längsta järnvägssträckan som ägdes av ett privatägt järnvägsbolag i Sverige, med en sträcka på 196 km. Byggnationen av järnvägslinjen började i Halmstad år 1873. Den första etappsträckan från Halmstad till Värnamo öppnades för trafik år 1877. Järnvägen blev färdigställd år 1882 och den förstatligades år 1948 (Leander, 1984).



Figur 14: Värnamos tågstation (Leander, 1984).

2.2 Järnvägens beståndsdelar

2.2.1 Banan

En järnväg innebär en bana som utgörs av överbyggnad och underbyggnad. Banöverbyggnaden i sin tur består utav ballast, sliprar, räler med befästningsanordningar, rälsvandringshinder, skarvar samt växlar. Banunderbyggnad innebär allt som erfordras för att bära upp banöverbyggnaden, d.v.s. *bank, broar, trummor etc.* (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

2.2.2 Banunderbyggnad

Banunderbyggnaden är det gemensamma namnet för det som bär upp själva järnvägsbanan (överbyggnaden). Den består i allmänhet av en jordkropp, bro eller bank. Syftet med underbyggnaden är även att utjämna terrängens ojämnheter. Innan en bana byggs genomförs en geoteknisk undersökning för att fastställa markens bärighet och eventuella behov av grundförstärkning. De områden som den blivande bansträckningen skall läggas ut på fastställs genom allmän rekognosering, där det avgörs om området är riskfritt eller inte (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

Jordarter som inte får förekomma som underbyggnad är *frostaktiva tjälskjutande jordarter* eftersom de utgör en risk för instabilitet. Innan ballast och spår läggs ut och spåret trafikeras skall bankroppen hunnit sätta sig, det på grund av att förhindra sättningar i spåret i framtiden (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

2.2.2.1 Grundförstärkning

Vid dagens nyproduktion används en mycket vanlig stabiliseringsmetod som består av en förstärkning med kalkpelare och kalkcementpelare. Även tryckbankar är ett vanligt alternativ (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

2.2.3 Dränering

Dränering av underbyggnaden är av stor vikt, för att ett stabilt spår skall erhållas. Därför måste vatten dräneras av från ballast, underballast och undergrund samt att regnvatten omhändertas. Med jämna mellanrum skall dräneringens funktion kontrolleras och rensning utföras ifall igensättning uppstått (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

2.2.4 Konstbyggnader

Det finns tre olika typer av *konstbyggnader* som kan utgöra en del av underbyggnaden om det behövs. Dessa är broar, tunnlar och trummor (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

2.2.4.1 Broar

En bro utgör en del av banunderbyggnaden, vilket medför att utformningen av den skall ske så att den utgör en minimal störning för spårkonstruktionen eller avvikelser från bankroppen. (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

En bro delas in i:

- Underbyggnad som bär upp överbyggnaden och överför kommande krafter från undergrunden. Den utgörs av landfästen och pelare som även kallas stöd.
- Överbyggnad som överför yttre belastningar såsom trafiklast till upplagen, som sedan förs ned genom underbyggnaden till undergrunden (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

Övergången mellan bro och bank skall utföras vinkelrätt för att undvika olika sättningar mellan rälerorna i spåret som kan medföra krängning, som innebär att tåget lutar. Vid dubbelspår skall överbyggnaden på en bro utformas som två separata brohalvor. Detta för att förenkla reparationer, lagerbyten och överbyggnadsbyten i framtiden. Vid val av bro typ finns det avgörande faktorer som är vanligt förekommande. Dessa är erforderlig spännvidd, tillgänglig överbyggnadshöjd, produktionsmetoder och materialpriser. Broar utförs vanligtvis med ballast som undergrund. Endast i undantagsfall kan broar utföras utan ballast som undergrund, dock blir möjligheten för spårriktning begränsad. Broar utan ballast förekommer bland äldre broar (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

2.2.4.2 Tunnlar

Beroende på vad det bärande huvudsystemet består av definieras tunneln som *Bergtunnel*, *Betongtunnel* eller *Ståltunnel* (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

Tunneln utförs med minimisektioner enligt gällande föreskrifter (BVH585.31). Vid utformning av invändig tunnelkontur skall hänsyn tas till följande:

- Bergmekaniska förutsättningar
- Inredning och installationer
- Aerodynamiska effekter
- Bankropp
- Säkerhet vid användning
- Brandskydd
- Sammansatta byggplatstoleranser
- Normalsektion för fria rummet (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

En viktig faktor vid utformning av järnvägstunneln är att räddningsfordon ska kunna ta sig in i tunneln utan förhinder. Räddningsfordonen skall kunna mötas och vända var som helst i tunneln. Kan räddningsfordonen inte vända skall det i tunneln anordnas vändfickor i form av förstorade nischer varje 100 meter. Vanligtvis skall räddningsfordon vara spårbundna men i de fall där så inte är fallet bör ballastsektionen utföras körbar med gummihjulbundna räddningsfordon. Preparerad gångväg och hanföljare skall finnas på båda sidor av tunneln (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

2.2.5 Banöverbyggnad

Banöverbyggnaden är den del av järnvägen där tågen färdas på. Den skall därför ha tillräcklig bärförmåga för att kunna tåla belastningen från tågen så att dessa får en så lugn och säker körbana som möjligt. För att uppnå en bra bärförmåga måste dimensionen på banöverbyggnaden ske så att de ingående delarna samverkar på bästa sätt och bildar en enhet. Denna enhet skall bära tågen och överföra belastningen till banunderbyggnaden (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

2.2.6 Räler

Rälen är det som tåget färdas på. Den rälstyp som förekommer vanligast kallas *Vignol-räl* efter den belgiske ingenjören Vignoles som var verksam i England och introducerade denna typ av räl i Europa i mitten av 1800-talet. Vignolrälen består av ett huvud, ett liv och en fot. En annan rälstyp är *gaturälen* där en flänsränna försetts till huvudet eftersom rälen är avsedd att ligga i spår med gatubeläggning (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

2.2.7 Befästningar

En befästning fäster rälen vid underliggande sliper. Den huvudsakliga uppgift som en befästning har är att överföra krafterna som erhålls från rälen till slipern och sedan föra krafterna vidare ner i banunderbyggnaden. Befästningen ska också se till att det är rätt spårvidden på spåret och förhindra att rälen vrids i förhållande till slipern. Viktigt är att rälsbefästningen bör ha erforderlig klämkraft samt utöva visst rälsvandnings- och vridningsmotstånd. Två olika typer av rälsbefästningar förekommer; direkt befästning och indirekt befästning. (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

Exempel på direkt befästning är *rälsspikbefästning*, där en spikplatta med rälsspikar fästs på slipern. Denna spikplatta fördelar sedan krafterna mellan räl och sliper. Nackdelen med denna typ av befästning är att rälen rör sig på grund av trafikbelastningen och därmed påverkas fästet omgående. Detta medför att klämkraften minskar (Allmän Järnvägsteknik, 2010).



Figur 15: Spikbefästning

Under indirekta befästningar finns exempelvis *Hey-Back-befästning*, där underläggsplattan skruvas fast i träslipern med fyra skruvar. Rälens fästs på denna platta med två fjäderklämmor. Mellan rälens och underläggsplattan läggs dessutom en gummiplatta för att undvika direkt förbindelse mellan platta och räl. När rälens rör sig till följd av trafikbelastningen påverkas fästet endast sekundärt, eftersom klämmor och gummiplattan fungerar som dämpare och filter (Allmän Järnvägsteknik, 2010).



Figur 16: Hey-Backbefästning

Andra typer av befästningar är *Fist-befästning*, som är en svensk uppfinning, förekommer endast i liten skala idag och framförallt i äldre sidospår (Allmän Järnvägsteknik, 2010).



Figur 17: Fistbefästning (Abetong, 2010b).

Pandrol (fastclip)-befästning, är en brittisk typ av befästning på betongspår och är idag den mest förekommande bland betongsliprar (Allmän Järnvägsteknik, 2010).



Figur 18: Fastclipbefästning (Pandrol, 2014).

2.2.8 Sliprar

En sliper består antingen av trä eller betong och har som uppgift att binda samman de båda rälsträngarna så att föreskriven spårvidd hålls samt överför belastningarna från rälerna till ballasten.

Det finns tre typer av sliprar:

- Linjesliprar – förekommer på hela banan utom vid växelspår.
- Växelsliprar – förekommer vid växelspår.
- Brosliprar - förekommer på broar (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

2.2.8.1 Träsliprar

Träsliprar var tidigare mest förekommande, och framförallt furuträ. Bok och ek användes också men i begränsad omfattning, mest i spårväxlar. Linjesliprar av trä har en normal längd på 2,6 m, medan växelsliprar sågas i längder om 2,75 m i intervall om 0,25 m upp till 6,50 m samt i längder om 7,1 m respektive 8,1 m. Brosliprar däremot har en större genomsnittsarea och sågas i längder från 3 m till 4,5 m (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

Fördelen med träsliprar är framförallt deras kostnad, de är billigare jämfört med betong. De ger ett relativt elastiskt spår och kan ibland klara av skador vid urspårningar utan att behöva kasseras. Träsliprar är också relativt lätta att byta ut (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

Nackdelen med träsliprar är deras begränsade livslängd, där obehandlat furu endast har en livslängd på 10-12 år. För att kunna öka livslängden impregneras träsliprar med Kreosot, som är en vätska som utvinns genom destillation av kreosotolja. Impregnering med Kreosot medför att träets motståndsförmåga mot röta och svampangrepp kraftigt ökar, vilket innebär att livslängden blir cirka 25 år (Allmän Järnvägsteknik, 2010).



Figur 19: Träsliprar av impregnerat furuvirke

2.2.8.2 Betongsliprar

Under mitten av 1950-talet började sliprar av betong att serietillverkas i Sverige. Den första betongslipern som tillverkades var *typ 101*, som var 2,3 m lång och vägde 190 kg. Den bestod av två betongblock som var förbundna inbördes med ett betongfyllt stålrör. En genomgående armeringsstång som spändes med muttrar i vardera änden. Detta innebar att betongen blev spännarmerad och därmed gav större böjhållfasthet hos den färdiga slipern (Allmän Järnvägsteknik, 2010)

Tvåblockslijper visade sig snart ha brister när spårriktningsmaskiner introducerades under 1960-talet. Vid spårriktning böjde sliprarna sig och svårigheter att hålla spårvidd samt räslutning inom satta toleranser uppkom. I mitten på 1970-talet övergicks det sedan till 2,5 m långa förspända blockslijper, så kallade monoliter. Dagens betongsliprar som infördes i slutet av 1980-talet är avpassade helt för Pandrol-befästningen som tidigare beskrivits i 2.2.7 (*Befästningar*) (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

Idag sker all nybyggnation av tågspår med betongsliprar eftersom de har längre livslängd, och större egenvikt som i kombination med starka befästningar ger ett ramstyvt och mer stabilt spår. Detta är av stor vikt då kraven på stora axellaster och höga hastigheter ständigt ökar. Nackdelen med betongsliprar är deras obefintliga förmåga att klara mekanisk påverkan, där en urspårning förstör sliprarna helt och hållet. Dessutom har betongsliprar en låg böjhållfasthet, vilket gör att spåret blir stummare än vad ett spår med träsliprar har (Allmän Järnvägsteknik, 2010).



Figur 20: Betongsliprar (Abetong, 2013a).

2.2.8.3 TCS-sliprar

TCS (Tuned Concrete Sleeper) är en betongsliper som är framtagen som ett alternativ att använda istället för träimpregnerade sliper. Denna typ av sliper är under prov och är tänkt att bli en framtida ersättare för träslipers främst i vattenskyddsområden. Skillnaden mellan en TCS-sliper och en vanlig betongsliper är att en TCS-sliper har sprickor i mittpartiet. Sprickorna har framställts under tillverkningsprocessen, där sliperarna knäcks på mitten. Anledningen till att sliperarna blir knäckta är för att ändra deras materialegenskaper. Det som inträffar är att TCS-slipern får mjukare materialegenskaper som efterliknar en träsliper. På grund av att materialegenskaperna ändras och efterliknar en träsliper går det att kombinera TCS-sliprar med träsliprar utan att en järnvägssträcknings egenskaper påverkas (Trafikverket, 2013b).

TCS-sliprar har en beräknad livslängd på 50 år och en vikt på 200 kg, vilket är 100 kg lättare än en vanlig betongslipers. Armeringen som används i en TCS-slipers är rostskyddsbehandlad, anledningen till att armeringen rostskyddsbehandlas är för att inte fukt ska kunna angripa armeringen i sprickorna och påverka slipers livslängd (Trafikverket, 2013b).



Figur 21: TCS-sliper

Syftet med att framställa TCS-sliprar var för att kunna ersätta dem med de befintliga träimpregnerade sliprarna som innehåller kreosot. Det på grund av att träsliprar som innehåller kreosot är miljöfarliga. År 2013 beslutade EU att användningen av kreosot för industriellt bruk skulle förbjudas. Dock innebar förbudet en dispensperiod på fem år, vilket medför att det är tillåtligt att använda kreosot impregnerade sliprar fram till år 2018 (Crona, 2012).

En annan orsak till att använda sig av TCS-sliprar är dess livslängd, som tidigare beskrivits är beräknad till 50 år. Detta innebär att en TCS-sliiper har en mycket längre beräknad livslängd än en träimpregnerad sliiper, som tidigare beskrivit har en livslängd på 25 år. Om den beräknade livslängden för en TCS-sliiper är korrekt kommer det att innebära att de framtida underhållskostnaderna kommer att minska. Dock är en TCS-sliiper dyrare att tillverka än en träimpregnerad sliiper, vilket innebär att investeringskostnaderna kommer att öka (Crona, 2012).

Trafikverket har implementerat TCS-sliprar på två järnvägssträckor i Sverige. Det är i Småland utanför Jönköping och vid Hulfsfred. På sträckan utanför Jönköping finns det 500 st. TCS-sliprar som är kombinerade med träsliprar (Infranord, 2013).

I Hulfsfred har det bytts ut 1000 st. träsliprar till TCS-sliprar som också här är kombinerade med träsliprar. På denna sträcka går järnvägen igenom ett vattenskyddsområde. I ett vattenskyddsområde gäller inte dispensperioden om slipersbyten med kreosot som är tillåtligt att använda fram till år 2018. Vattenskyddsområden är det förbjudit att ersätta befintliga träimpregnerade sliprar med nya impregnerade träsliprar. Det som istället används är träsliprar som är obehandlad, vilket innebär att livslängden blir mellan 5-10 år. Trämaterialet som används på de obehandlade sliprarna är ek (Infranord, 2013).



Figur 22: TCS-sliprar kombinerat med träsliprar i Hulfsfred.



Figur 23: Obehandlad sliiper i ek kombinerad med TCS-sliprar i Hulfsfred.

2.2.9 Ballast

Ballasten är ett fundament för spåret, med huvudsaklig uppgift att ta upp och fördela laster som uppkommer inom trafiken så att inte underbyggnaden sviktar. Den skall även ge sliprarna ett fast och stabilt läge, dock med viss fjädring både i höjled och sidled. Materialet som ballasten skall utgöra måste vara beständigt och solitt, med ett tillräckligt ballastdjup så att trycket fördelas jämt över underbyggnaden. Ballasten bör vara något elastisk, detta för att tåggången skall kunna bli mjuk och bekväm, samt för att skona spårkomponenter och fordon. Spåret skall inte ligga stumt i ballasten, eftersom det medför att krafterna på spåret blir för stora. För att göra detta möjligt måste ballasten ha goda dräneringsegenskaper, då hög vattenhalt påverkar bärigheten och ger upphov till problem med uppfrysningar vid kyla (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

Bäst resultat uppnås när ballasten består av jämnstora, skarpkantade och kubiska stenar, så att största möjliga friktion mellan stenarna och sliprarna uppkommer. Avrundade stenar ger en sämre friktion mellan stenarna och sliprarna. Det finns två typer av ballast och det är *Grusballast* och *makadamballast klass I & II* (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

2.2.9.1 Grusballast

Tidigare var grusballast det dominerande ballastmaterialet i Sverige, dock är det inte lika vanligt idag eftersom kraven på högre hastigheter och axellaster har ökat. Detta har medfört att grusballast alltmer ersatts av krossat stenmaterial. Det som ingår i grusballast varierar från relativt finkornig sand till grövre grus samt en del okrossat material. Generellt sett har grusballast sämre dräneringsegenskaper och lägre intern friktion än krossat stenmaterial. Dessa egenskaper resulterar i att grusballast har större risk för uppfrysningar samt lägre spårstabilitet eftersom materialets förmåga att bibehålla spårets läger är beroende av friktionen. I dagsläget förekommer grusballast mestadels på banor där trafikvolymen är låg, såsom läns och godsbanor (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

2.2.9.2 Makadamballast

Makadamballast består av krossat stenmaterial från finkristalliska bergarter såsom diabas och granit. Stenmaterialet makadam skall vara skarpkantat och kubiskt med stora skrovliga sidor, vilket ger hög friktion mellan partiklar och sliprar. Sådant stenmaterial ger också stora hålrum i ballasten vilket underlättar dränering. (Järnvägsteknik, 2011)

Makadam delas in i två klasser:

- *Makadam klass I* – utgör den vanligaste friktionen och är avsedd för linjebbruk. Färdig produkt skall ha kornstorlek mellan 32-63 mm.
- *Makadam klass II* – detta är en finare fraktion och är avsedd för bangårdar och platser där personal skall förflytta sig i spår. Färdig produkt skall ha kornstorlek mellan 11-32 mm (Järnvägsteknik, 2011).

Makadamballasten är den dominerade ballasten som används idag. Det eftersom att den anses mer stabil samt uppfyller de sammansatta krav som ställs på ballastmaterial till banor med snabb och tung trafik (Järnvägsteknik, 2011).

3 Skavspårstekniken

Skarvspår är en äldre metod vad gäller banteknik, där rälerna kopplas till varandra med ett skruvförband. Detta förband kallas för *öppen rälsskarv*. Skarven mellan rälerna hålls samman med hjälp av ett rälsskarvjärn och rälsskarvskruv med mutter och fjäderring. Normalt monteras skruvskallen in mot spårmitt, den punkt som delar spårvidden i två lika delar. Skarvjärnen kan utgöras av vinkeljärn eller plana skarvjärn (Järnvägsteknik, 2011).

Vid temperaturvariationer kan rälerna röra sig och påverka spåret. För att detta inte skall ske, byggs skarven med en skarvöppning mellan rälerna. Enligt Trafikverkets standardskarvkonstruktioner tillåts maximalt 20 mm skarvöppning när all rörelsemöjlighet utnyttjats (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

En annan typ av skarv är *Isolerskarv*, som används vid växlar, spårledningarna och för säkerhetssystemets fjärrblockering. Skarvtypen används för där rälens el måste brytas. Isolerskarven består av skarvjärn av icke-ledande kompositmaterial med isolerande plastmellanlägg och lim mot räl och fog. Isolerskarven är stum och monteras vanligen på fabrik som kortare rälstycken, som svetsas på plats. Med hänsyn till skarvsliprarnas läge delas skarvarna in i tre grupper, *svävande skarv*, *treslipersskarv* och *dubbelslipersskarv* (Järnvägsteknik, 2011).

3.1 Krav på skarvspår

3.1.1 Generella Krav

Skarvspår är en äldre metod där systemet har inbyggda funktionella svagheter som utsätts för stora påkänningar av klimat och trafikbelastning. Av den anledningen ställs det höga krav på spåret och på dess ingående komponenter. Regelbunden underhållning krävs för att dess funktion ska kunna upprätthållas. Stor vikt läggs på säkerheten mot *solkurvor*, *rälsbrott*, *rälsvandring* och *spårlägesförändringar* (Trafikverket, 2011a).

Följande kriterier skall spårets säkerhet baseras på:

- Minsta dimension av spåret ska klara av rälstemperatur mellan -40°C till $+ 55^{\circ}\text{C}$. Rälstemperaturen kan bli ca 20°C högre än omgivande lufttemperatur.
- Banunderbyggnaden ska vara stabil och utan nämnvärda sättningar eller uppfrysningar. Den ska också ha en bra fungerade dräneringsfunktion.
- Spåröverbyggnadens material ska uppfylla gällande komponent- och systemnormer. Val av komponenter enligt Standard BVS 1586.15.
- Spåret ska byggas med normenliga skarvöppningar och dessa ska underhållas inom gällande toleranser. Toleranser för skarvöppningarnas storlek enligt Standard BVS 1586.15.
- Skarvförbanden ska vara åtdragna med rätt förspänning och dessa ska underhållas.

- Spåret ska alltid vara underhållet så att toleranser enligt säkerhetsbesiktningsföreskrift innehålls (Trafikverket, 2011a).

3.1.2 Bantekniska krav för huvudspår

Det finns ett antal olika krav vid nybyggnad eller upprustning av huvudspår som berör, största tillåtna hastighet på spår, räler, sliprar, sliperavstånd, rälsbefästningar, rälskarvar, skarvöppningar, rälsstemperaturmätning, rälsvandringshinder, ballast & ballastsektion, kurvradie, övergång till skarvfritt spår, övergång till annan rälsprofil, övergång mellan ny och sliten räl och övergång mellan olika skarvspårkonstruktioner (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.1 Största tillåtna hastighet på normenliga spår

Vid bestämmande av största tillåtna hastighet (Sth) på skarvspår, är spårets konstruktion och spårgeometri av betydelse. Sth är även beroende av vilken tågtyp med vilken axellast som trafikerar spåret. Nedan finns största tillåtna Sth, med avseende på spårkonstruktionen:

- Skarvspår + Spikbefästning + Grusballast Sth (max) = 110 km/h
- Skarvspår + Spikbefästning + Makadamballast Sth (max) = 120 km/h
- Skarvspår + Heybackbefästning + Makadamballast Sth (max) = 130 km/h

(Trafikverket, 2011a).

3.1.2.2 Räler

Vid val av räl, skall reglerna i Standard *BVS 1524.1 Räler – krav på nya och begagnade* följas. Rälsprofil 50E3 skall väljas, dock kan rälsprofil SJ43 tillåtas för avvikande huvudspår under förutsättning att den tillåtna axellasten är under 22,5 ton. Maximal tillåten räls längd i skarvspår är 40 m. Vid kurvor med radien mindre än 500 m är den tillåtna räls längden 30 m (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.3 Sliprar

Nya kreosotimpregnerade furusliprar eller oimpregnerade eksliprar ska användas. Vid återanvändning av begagnade sliprar ska furu-, ek- eller boksliprar användas (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.4 Slipersavstånd

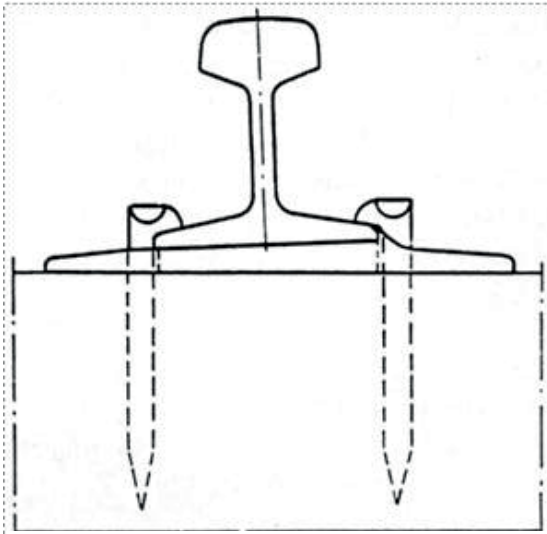
- Ska vara 600 mm i kurvor med radie mindre än 500 m.
- Ska vara 500 mm i skarvläget vid svävande skarv.
- Ska vara 600 mm på banor med största tillåtna axel last över 22,5 ton.
- Ska vara 650 mm i övriga fall.

Den maximalt tillåtna toleransen för slipersavstånd är ± 20 mm och antalet sliprar per 1000 m spår ska inte avvika mer än 0,5 % från det antal som erhålls med reglerna ovan.

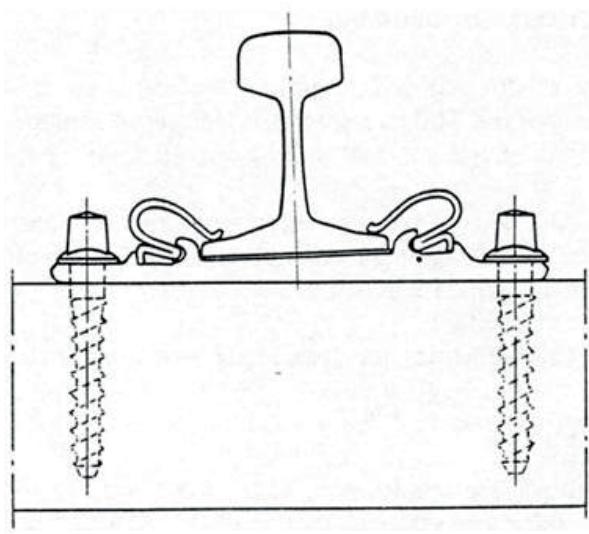
Maximalt tillåten snedställning av sliprar är 20 mm, och mäts som höger och vänster av läget på rälsens avvikelse vinkelrätt spår linjen (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.5 Rälsbefästningar

Två typer av rälsbefästningar skall användas, antingen *rälsspik med underläggsplatta* eller *Heybackbefästning* (Trafikverket, 2011a).



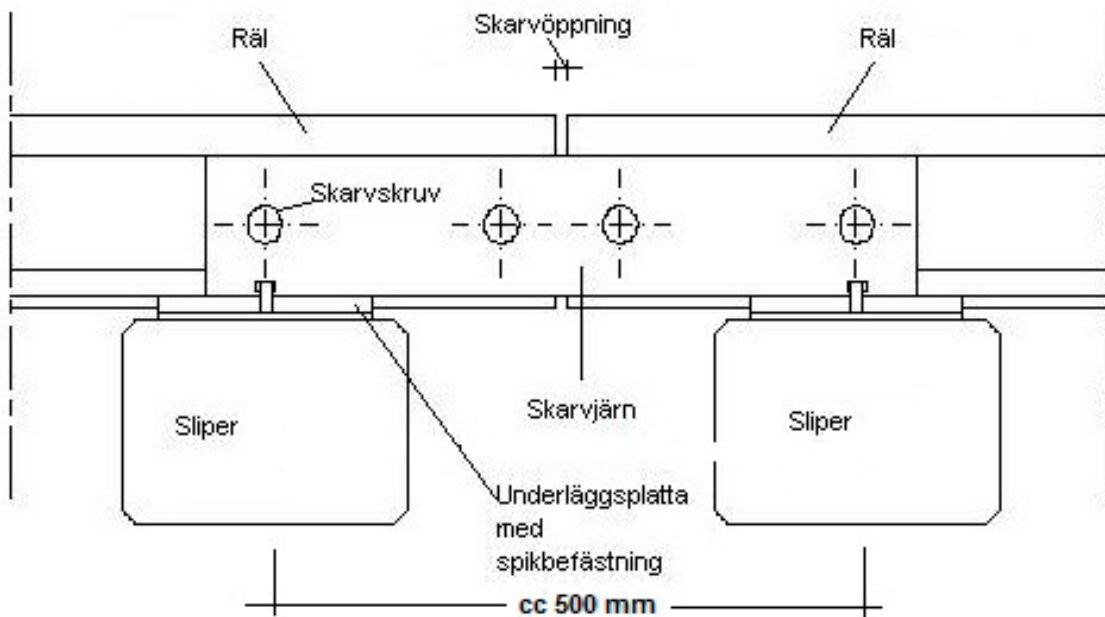
Figur 24: Spikbefästning (Trafikverket, 2011a).



Figur 25: Heybackbefästning (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.6 Rälsskarvar

Rälsskarvar i skarvspår ska vara svävande, vilket innebär att skarven placeras mittemellan två sliprar som är placerade med slipersavståndet 500 mm cc. Den tillåtna toleransen för skarvarnas läge är ± 20 mm från mitten av slipersfacket. Toleransen för skarvarnas läge i kurvor med radien mindre än 500 mm är ± 50 mm från mitten av slipersfacket. Skarvar i höger och vänster räl ska placeras mitt för varandra så att en jämn kraftfördelning åstadkoms samt att skevning i spåret förhindras. Skarvförband för rälsprofil 50E3 ska byggas med plana skarvjärn och monteras med rälsfjärdering och mutter enligt figur 25 (Trafikverket, 2011a).



Figur 26: Svävande skarv med sliperavstånd cc 500 mm (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.7 Skarvöppningar

I tabellerna enligt Bilaga 1 anges inom vilka gränsvärden som storleken på skarvöppningarna ska vara vid nybyggnation eller upprustning. Det nominella Byggvärdet, ”Bygg min” samt ”Bygg max” för respektive räslängd och rälsstemperatur anges i tabellerna. Storleken på skarvöppningen får beräknas som medelvärdet av högst 5 st. intilliggande skarvar. För att skarvuppmätning ska ske måste rälsstemperaturintervallet där skarvöppningen är vara mellan 0-20 mm för respektive räslängd (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.8 Rälstemperaturmätning

Vid mätningar av rälsstemperaturen används en rälstermometer, som är en liten apparat som placeras med hjälp av ett magnetfäste på rälen. Termometern ska placeras på rälsens skuggsida mot en ren och slät del av räslivet så att god kontakt erhålls. Flera mätpunkter bör väljas ut på en lämpligt vald sträcka med rådande temperaturvariationer för att få ett acceptabelt medelvärde (Trafikverket, 2011a).

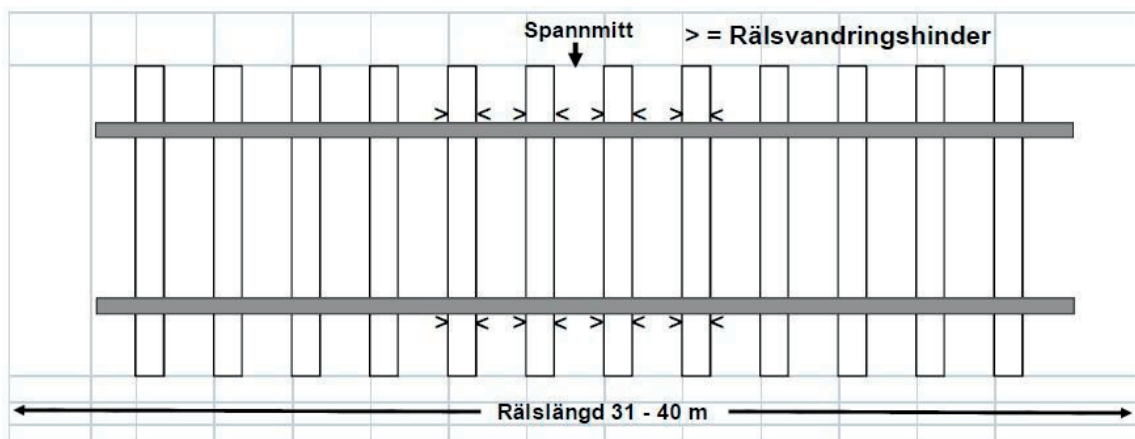


Figur 27: Rälstermometer (Safetrack, 2014).

3.1.2.9 Rälsvandringshinder

I skarvspår med rälsstikbefästning och räslängder över 20 m ska rälsvandringshinder monteras. Placeringen av rälsvandringshindren beror på räslängden.

- För räslängder 31-40 m låses de fyra mittersta sliparna på varje räls spann med fyra st. hinder per sliper.
- För räslängder 21-30 m låses de tre mittersta sliparna med lika antal hinder per sliper som ovan.
- För räslängder 20 m eller kortare monteras hinder efter behov på de mittersta sliparna
- Rälsvandringshindret ska ligga an mot slipern, dock får inte hinder monteras inom 5 slipersavstånd från öppen skarv (Trafikverket, 2011a).



Figur 28: Schematisk placering av rälsvandringshinder för räslängd 31-40 m (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.10 Ballast och ballastsektion

Ballast som väljs till skarvspår skall vara antingen makadam klass I eller makadam klass II. Makadam klass I ska alltid väljas där den tillåtna axellasten är över 20 ton samt i spår med räslängder över 20 m (Trafikverket, 2011a).

Ballastsektion ska anordnas enligt nedanstående punkter:

- Tjockleken på ballastlagret under slipersns underkant ska vara minst 30 cm.
- Vid broar med genomgående ballastlager under slipern, ska tjockleken vara minst 40 cm.
- Över ytan på ballastlagret ska vara i nivå med överkanten på slipern med undantag för kurvor med radie under 400 m där yttersträngen höjs över.
- Över ytan på sliprarna ska vara fri från ballast.
- Ballastskuldorna utanför ändarna på sliprarna ska ha en bredd på minst 40 cm.
- Vid kurvor där horisontalradien är mindre än 500 m ska ballastskuldornas bredd ökas till minst 55 cm.
- I kurvor där horisontalradien är mindre än 400 m ska ballastskuldran i yttersträng även höjas över med minst 10 cm.
- Släntlutningen på makadamballasten ska vara högst 1:1,5 både i rak- och kurvspår (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.11 Kurvradie

För att undvika negativ inverkan på underhållsbehovet och den tekniska livslängden för spårkomponenterna bör kurvradier mindre än 500 m undvikas (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.12 Övergång till skarvfritt spår

När ett skarvspår ska övergå permanent till ett skarvfritt spår ska de tre sista rälerna i skarvspåret vara 20 m långa. Buffertråler ska anordnas och befästas med Heyback. Vanligtvis är buffertrålerna de två sista rälerna närmast det skarvfria spåret. Vid öppen skarv i början av ett skarvfritt spår ska de tre första sliprarna vara träsliprar med Heybackbefästning. När det kommer till själva övergångspartiet mellan skarvspår och skarvfritt spår, bör det ligga i rakspår och inte i kurvor med radie under 500 m (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.13 Övergång till annan rälsprofil

Delas in i antingen *Permanent eller Tillfällig övergång*. Används vid övergång från rälsprofil SJ43 till 50E3 och 50E3 till 60E1.

Permanent Övergång – anordnas med hjälp av fabriksstillverkade övergångsräler, och bör ligga i rakspår, inte i kurvor med radie under 400 m (Trafikverket, 2011a).

Tillfällig Övergång – anordnas med hjälp av rampräler eller med övergångsskarvjärn. Rampräler används för tillfälliga övergångar mellan olika rälsprofiler i samband med exempelvis spårbyten. Normalt ska rampräler läggas in parvis, där maximal tillåten förskjutning i längdled mellan höger och vänster rampräl är 0,5 m. För parvis inlagda rampräler är den största tillåtna hastigheten 70 km/h. Endast i undantagsfall får ensam rampräl läggas in i rakspår eller cirkulärkurva. Största tillåtna hastighet för ensam rampräl är 30 km/h (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.14 Övergång mellan ny och sliten räl

Vid övergång från en sliten räl till en ny räl med samma rälsprofil, utförs detta med en sidorampräl. En annan metod för övergång kan också ordnas genom slipning med förhållandet 1:500 för rampningen. Vilket innebär att rampens längd ska vara minst 500 gånger slitlagrets storlek (Trafikverket, 2011a).

3.1.2.15 Övergång mellan olika skarvspårkonstruktioner

En övergång från spikbefästning till Heybackbefästning i skarvspår går att tillämpas genom att varannan av de 10 sista sliprarna med spikbefästning ersätts med Heybackbefästning. Detta innebär att 5 st. sliprar med spikbefästning ersätts med lika många sliprar med Heybackbefästning. När övergång från grusballastspår till makadamballastspår ska ske, ska grusballasten ersättas med makadamballast ned till sliprarnas underkant på de 20 första metrarna av grusballastspåret (Trafikverket, 2011a).

3.1.3 Bantekniska krav för sidospår

Kraven för huvudspår ska vara vägledande vid nybyggnad eller upprustning.

3.1.3.1 Räler

Lättare rälsprofiler eller profil SJ43 tillåts i sidospår. I sidospår där den tillåtna axellasten är 25 ton ska rälsprofil 50E3 användas. Är den tillåtna axellasten 22,5 ton eller lägre tillåts rälsprofil SJ43 (Trafikverket, 2011a).

3.1.3.2 Slipersavstånd

I sidospår är det största tillåtna slipersavstånd 750 mm, dock gäller 650 mm vid en axellast strax över 22,5 ton. Slipersavståndet 650 mm bör alltid övervägas vid nybyggnad eftersom det möjliggör högre axellaster och bidrar till längre livslängd för banöverbyggnaden (Trafikverket, 2011a).

3.1.3.3 Rälsvandringshinder

Samma regler som gäller för huvudspår, gäller även för sidospår som tidigare beskrivits i *kap 3.1.2.9 (Rälsvandringshinder)*.

3.1.3.4 Ballast

Det är tillåtet att använda grusballast i sidospår under förutsättning att anläggningsägaren ger sitt medgivande, dock bör makadamballast väljas, främst av miljöskäl och teknisk funktion (Trafikverket, 2011a).

3.1.3.5 Övergång till annan rälsprofil

Fabrikstillverkade övergångsräler är rekommenderade att användas, det är också tillåtligt att använda övergångsskarvjärn i sidospår (Trafikverket, 2011a).

3.2 Skarvspårs problematik

Svagheten med skarvspår, är själva skarven. En undermålig skarv bidrar till rälets förslitning och ger dålig tåggång. Dålig tåggång i sin tur ger dåligt spårläge och medför en snabbare förslitning av både spår, lok samt vagn. Skarvspår ger upphov till ljud när fordon passerar, som kallas *skarvdunk*. Allt eftersom spåret används och belastas deformeras skarvarna genom utvalsning. En annan nackdel med skarvspår, är att skarvarna kan tryckas ihop till den grad att de inte längre kan expandera. Detta kan leda till något som heter *Solkurvor*. Även *rälsbrott* och *uppfrysning* är bidragande problem av skarvspår (Järnvägsteknik, 2011).

3.2.1 Solkurvor

En solkurva kan uppstå när rälen under en varm dag utvidgar sig på längden. När stålet i rälen blir för varmt utvidgar det sig och drar sedan ihop sig när det blir kallt. Detta medför påfrestningar på rälsbefästningar och risk finns för att ballasten som håller samman sliperarna ger efter och rälen knäcks ut. Solkurvor uppstår vanligast i spår med räl på träsliprar som har spikbefästning, främst i kurvor. De kan även förekomma på raka skarvspår. Det är sällan som solkurvor uppstår på helsvetsade spår, och ifall de skulle uppstå är risken störst vid fasta spårdelar som exempelvis växlar eller järnvägsövergångar, där rälen inte kan utvidga sig på längden. Uppkomsten av solkurvor kan också bero på underhållsåtgärder, där ballasten rörs om och den mot hållande kraften minskar. Vid riskfyllda underhållsåtgärder måste fordon framföras med lägre hastighet efteråt tills ballasten har packats genom att en viss bruttovikt har passerat. Även en kraftig inbromsning eller tunga fordon kan bidra till att en solkurva uppstår, främst vid längre perioder med varmt klimat (Järnvägsteknik, 2011).



Figur 29: Solkurva på skarvspår (Trafikverket 2012c).

3.2.1.1 Åtgärder vid inträffande av solkurva

Vid misstanke om solkurva ska trafiken stoppas omedelbart och solkurvan åtgärdas omgående. Spåret efter inträffad solkurva, ska återställas efter samma principer som vid byggnation av ett spår. Första skedet av återställningen sker antingen genom att rälerna en bit utanför solkurvan kapas, återbaxning och montering av nödskarv, eller tillfällig svetsning. Sedan återställs ballastsektionen och därefter kan trafik passera dock i begränsad hastighet. Efter ett tag när räl temperaturen sjunkit till normala värden ska spåret justeras och återställas i fullgott skick. Därefter ska rälsreglering genomföras med normenliga skarvöppningar enligt Bilaga 1.

Vid de fall där en mindre spårförskjutning har inträffat ska banansvarig bedöma hurvida trafik ska tillåtas passera eller inte, och då högst 10 km/h. Rapport om misstänkt eller inträffad solkurva "Solkurverapport" ska alltid upprättas och bifogas digitalt som bilaga till aktuell felrapport i Trafikverkets databas för olyckor *Ofelia* (Trafikverket, 2011a).

3.2.2 Rälsbrott

Rälsbrott innebär att en räl brister och uppträder oftast som en vertikal öppning genom räl. Orsakerna kan vara redan befintliga skador på räl som utvecklas till rälsbrott såsom rostangrepp eller en skada i räls huvudet, orsakad av en hjulplatta. En annan orsak kan vara tillverkningsfel i rälen (Trafikverket, 2011a).



Figur 30: Rälsbrott (Trafikverket, 2012d).

3.2.2.1 Åtgärder vid inträffande av rälsbrott

Om ett rälsbrott uppkommer ska trafiken stoppas. Någon form av provisoriskt skarvförband ska monteras vid de fall där reparation eller utbyte av skadad räl inte kan utföras direkt. Skulle rälsbrottet uppkomma på ett elektrifierat eller signalreglerat spår, krävs kontaktförbindning. Skulle ett rälsbrott inträffa i en plankorsning och reparation inte kan genomföras omgående kan tåg under bevakning få passera i högst 10 km/h under särskilda omständigheter. Sådana omständigheter kan vara att en person utanför tåget kontrollerar att ingen axel spårat ur. Denna person ska stå i ständig förbindelse med tågets förare och tåget får inte öka hastigheten förrän det har getts klartecken om att alla axlar passerar säkert (Trafikverket, 2011a).

3.2.3 Uppfrysning/ tjällyftning

Uppfrysning eller tjällyftning betyder att spåret lyfts på grund av tjäle. Oftast inträffar uppfrysningen ojämnt så att den ena rälsen lyfts mer än den andra. Detta kan skapa ett skevningsfel som medför att tåget kan spåra ur. Bakomliggande orsaker kan bero på olika samverkande faktorer:

- Jordartens beskaffenhet (frostaktiv eller frostoppassiv).
- Rådande fuktighetsförhållande.
- Vinterklimatets stränghet.
- Otillräckligt frostskydd.
- Otillräcklig dränering (Allmän Järnvägsteknik, 2010).

3.2.3.1 Åtgärder vid inträffande av uppfrysning/ tjällyftning

Under vinterperioden är det olämpligt att spårrikta uppkomna höjd fel så kan dessa fel åtgärdas genom *Kilning*. Kilning innebär att ett mellanlägg av härdad masonit skjuts in mellan slipers och räl så att dessa inte svävar, utan ger rälsen stöd underifrån. Under våren när tjälen går ur banvallen, sjunker spåret tillbaka. Mellanlägget tas då bort för att bibehålla spårets höjdförändring inom tillåtna värden. Vanligtvis kvarstår dock ett spår fel, som fås bort genom att göra en spårriktning (Trafikverket, 2011a).

3.3 Underhåll av skarvspår

3.3.1 Tillåtna rälstemperaturer

De mest säkra underhållsarbeten i skarvspår ska utföras inom de rälstemperaturintervall, när skarvöppningarna varken slutits eller nått sin maximala öppning. Skarvöppningarnas storlek ska ligga inom de gränsvärden som beskrivs enligt Bilaga 1. Om det utförs underhållsarbeten som ändrar och försvagar spårets läge i ballasten eller rälsens befästning på slipern, såsom slipersbyte eller spårriktning, ska det observeras om skarvöppningarna är helt slutna eller öppna. Skulle det vara så att fler än 5 skarvöppningar i följd är helt slutna får rälstemperaturen vara högst + 30°C för att underhållsarbeten ska tillåtas. För att kunna genomskåda eventuella stora tryck- eller dragspänningar i spåret brukar det vanligtvis finnas några indikationer. Dessa indikationer kan vara att fler sliprar än normalt följer med vid små lyfthöjder, att sidolägesförändringar uppstår eller att önskade baxvärden inte går att uppnå (Trafikverket, 2011a).

3.3.2 Rälsskarvar

Rälsskarvarna ska underhållas regelbundet för att skarvspåret ska fungera. Kontroll av skarvförbanden gällande åtdragning ska ske genom att rälsfjädringsringarna är hela. Avståndet mellan fjädringsbågarna ska vara cirka 1 mm. Skarvarnas rörelsemöjligheter ska även kontrolleras vid en underhållsbesiktning, dessa ska smörjas vid behov (Trafikverket, 2011a).

Regelbunden understopning bör göras för att undvika nedstukning av rälsändarna vid öppen skarv, främst i spår med grusballast (Trafikverket, 2011a).

Kontroll av skarvöppningarnas storlek gentemot underhållsgränsvärden ”*Uh min*” och ”*Uh max*” Bilaga 1 ska genomföras minst en gång per år. Uppkommer ett behov ska rälsreglering utföras, lämpligast på våren innan den varma årstidens början. Denna kontroll gäller även för säkerhetsgränsvärden som angivs som ”*Sä min*” respektive ”*Sä max*” enligt Bilaga 1 (Trafikverket, 2011a).

Rälsreglering får endast genomföras då skarvöppningarna varken slutits eller nått sin maximala öppning. När rälsregleringen är genomförd ska skarvöppningarnas storlek ligga inom gränsvärdena för ”*Bygg min*” och ”*Bygg max*” enligt tabellerna i Bilaga 1. Dokumentation av utförda rälsregleringar ska upprättas och bör sparas i minst 2 år, eftersom effekten av rälsreglering kvarstår ett par år (Trafikverket, 2011a).

3.3.3 Slipersreglering

Förskjutning av sliprar kan ske på grund av rälsreglering eller röta som medför att sliprarnas beständighet minskas. Som regel byts 5 sliprar därefter behålls 20 sliprar, för att sedan byta 5. Detta för att inte tågen ska behöva sänka sin hastighet som de annars får göra om fler än 5 sliprar byts åt gången. Dokumentation över slipersbyten upprätthålls i BESSY som är en databas där all information som erhålls efter besiktning av en bana lagras. I Bessy står det vilka fel som banan har samt vilken del av banan felet förekommer på. Det finns också förslag på åtgärder, när felet ska åtgärdas samt när åtgärderna utförts finns även med i databasen i Bessy (Trafikverket, 2011a).

4 Metodbeskrivning

4.1 Inledning av arbete

Examensarbetet påbörjades officiellt efter ett möte med handledarna Jan Lidby och Johan Petterson på Trafikverket, där projektet samt problematiken med arbetet beskrevs. Den grundläggande problematiken som Trafikverket ville ha löst var hur andelen akuta åtgärder skulle minimeras och istället komma fram till en kontinuerlig drift och underhåll av äldre skarvspår i Småland. Vilka åtgärder skulle vidtas för att en så optimal drift och underhållsnivå som möjligt skulle uppnås. Det bestämdes även att varje måndag skulle möte hållas med handledarna så att arbetet kunde följas och eventuella problem diskuteras samt hur arbetet vidare skulle fortsättas.

Kontorsplatser samt datorer tilldelades på Trafikverket i Malmö och arbetet startades med insamling av information och fakta angående järnvägar och mer specifikt skarvspår. Eftersom kunskapen inom järnväg inte var omfattande spenderades de första veckorna med att leta fram kurslitteratur samt artiklar som berörde ämnet i fråga. En genomgång av olika program och databaser som Trafikverket använder gicks även igenom. Därefter påbörjades skrivning av litteraturstudie där järnvägens historik i Småland, samt beståndsdelarna för järnvägen beskrevs. Avgränsning gjordes och fokus låg i själva bantekniken för järnvägar och inte el samt signalteknik.

4.2 Studiebesök

Totalt gjordes två studiebesök till olika järnvägssträckor runt om i Småland för att se och förstå vad problemet var. Det första gjordes i februari och varade en heldag där några järnvägssträckor med varierande standard besöktes. Där gavs en inblick i vad skarvspår var och vilka brister samt problem som fanns med dessa sträckor. Information om hur underhållsarbetet av dessa sträckor gavs även. Första studiebesöket fungerade på så sätt som en bekantskap med problematiken både ur beställarens samt entreprenörens perspektiv.

Andra studiebesöket planerades en bit in i examensarbetet. Då hade efter några möten samt diskussioner problemet konkretiserats och fokus skulle ligga på järnvägssliprar av trä. Hur dessa skulle underhållas och bytas på ett mer kontinuerligt sätt än i nuläget.

Innan andra studiebesöket gjordes, genomgicks en säkerhetsutbildning Råd och Skydd som Trafikverket höll. Denna gav information om hur agerandet vid jobb med en järnvägsbana gick till ur ett säkerhetsperspektiv. Vilket avstånd man skulle ha till inkommande tåg samt klädsel vid besök på banan.

Studiebesöket bestod av att gå en järnvägssträcka (sträcka 872 Hultsfred - Berga) på ca 35 km och pricka av dels antalet sliprar som skulle bytas snarast, samt de som skulle bytas efter ett tag samt pricka nya sliprar som bytts in. Detta för att få in inblick i hur nya sliprar påverkade resterande sliprar efter att de bytts in, samt om lösningen verkligen var att byta

så många sliprar som möjligt. Under prickningen hade varsin person en prickräknare och ansvarade för att räkna sina sliprar.

En hade ansvar att pricka in de som skulle bytas akut, en hade de som skulle bytas efter ett tag så kallad underhållsanmärkning och en ansvarade för att pricka in ny inbytt sliprar. En säkerhetsansvarig från Infranord, som är en underhålls罔reprenör, fanns även med för säkerheten samt för att varsko när tåg skulle köra så att klivning av banan skulle ske.

En regel vid byte av sliprar är att max antalet tillåtna sliprar att byta ut är 5 stycken i rad därefter ska de efterföljande 20 sliprarna hoppas över och sedan byts de 5 därefter och utgör Kategori 2 – mindre nedsättning av spårstabilitet. Alternativ bytesmetod är 2 stycken i följd och lämna 20 stycken därefter vilket utgör Kategori 3 – obetydlig nedsättning av spårstabilitet. Dessa bytesmetoder medför att banan ej behöver spårriktas. Vid spårriktning krävs att hastigheten på den banan skall sänkas. Detta undviks i största mån eftersom det påför extra kostnader för godstrafiken samt tågförseningar både för godstrafik samt persontrafik.

Studiebesöket varade i två dagar, och utav hela sträckan mellan Hultsfred - Berga prickades sliprar på en sträcka på ca 26 km. På grund av tidsbrist kunde de resterande 9 km inte fullföljas. Här spelade den personliga bedömningen en stor roll vid inprickningen av sliprarna även om objektivitet eftersträvades. Efter studiebesöket samlades de värden som erhållits in och sammanställdes i en tabell enligt bilaga 1.



Figur 31: Dosa som prickar in sliprar.



Figur 32: Exempel på en sliper som bör bytas akut.



Figur 33: Sliper med underhållsanmärkning.



Figur 34: Ny bytt sliper.

4.3 Statistiskt samband

Efter studiebesöket sammanställdes all data i Excel filer där tre tabeller framställdes över samtliga mätvärden, km med slipersbyten samt km utan slipersbyten. Utifrån tabellerna räknades sedan ut i procent hur många slipers som var dåliga, som skulle bytas samt ny bytta sliprar. Även skillnaden i hur det har fördelat sig mellan åren 2012-2014 sammanställdes. Ett samband över vilken underhållsnivå som skulle tillämpas studeras fram, dock utan några konkreta resultat eftersom det insågs att det handlade om matematiskt statistiska beräkningar. För att kunna gå vidare med arbetet tillfrågades en lärare i Matematisk Statistik, Anna Lindgren ifall hon kunde tillföra hjälp med dessa beräkningar till arbetet.

Med hjälp utav Anna Lindgren arbetades det fram i programmet MATLAB en fördelning över sliprarna på sträcka 832. Det som MATLAB visade påminde avsevärt om en normalfördelning, eftersom sliprarna visade sig vara beroende utav varandra. Utifrån denna beräkning som erhållits från MATLAB har sedan resultatet grundat sig på.

5 Resultat

5.1 Sammanställning resultat

Resultatet som förväntades var att få fram en siffra på ungefärlig slipersmängd som behövdes bytas per km årligen. Detta för att veta på vilken underhållsnivå som Trafikverket skulle befinna sig i för att effektivisera underhållet. Prioriteringen var att gå över från akuta till planerade slipersbyten. Resultatet skulle sedan ligga till grund för kommande underhållsarbeten och på så sätt kunna få en mer noggrann översikt över vart och när slipersbyten skulle ske.

Studiebesöket som gjordes medgav en inblick i hur den rådande underhållskvaliteten på bana 832 var och utifrån dessa värden arbetades det fram ett underlag för ett resultat, som tidigare beskrivits i kapitel 4.3 (*Statistiskt samband*).

Nedan finns en tabell över de mätvärden som erhöles efter studiebesöket på bana 832. Det som är rödmarkerat innebär sträckor som inte tagits med i beräkningarna eftersom de var missvisande. Antalet sliprar på dessa sträckor visades i resultatet som "självläkande" på grund av att de vid bedömningstillfället upplevdes bättre än år 2012. Detta lät inte troligt och därför har de inte tagits med. Det blåmarkerade anger sträckor där nya sliprar inte lagts ut och grönmarkerade rutor är sträckor där nyinlagda sliprar finns.

Sliperantalet både från år 2012 och år 2014 finns både i antal och i procentsats. En tydlig trend som kan utläsas från tabellen är att på de sträckor där sliprar inte bytts ut är kvaliteten på sliprarna sämre och innehar högre antal sliprar som behöver bytas. På de grönmarkerade sträckorna var några sträckor bättre än andra med avseende på sliperskvaliteten. Detta tros bero på att undergrunden bestod utav makadam och inte grus som fallet var på de sämre sträckorna.

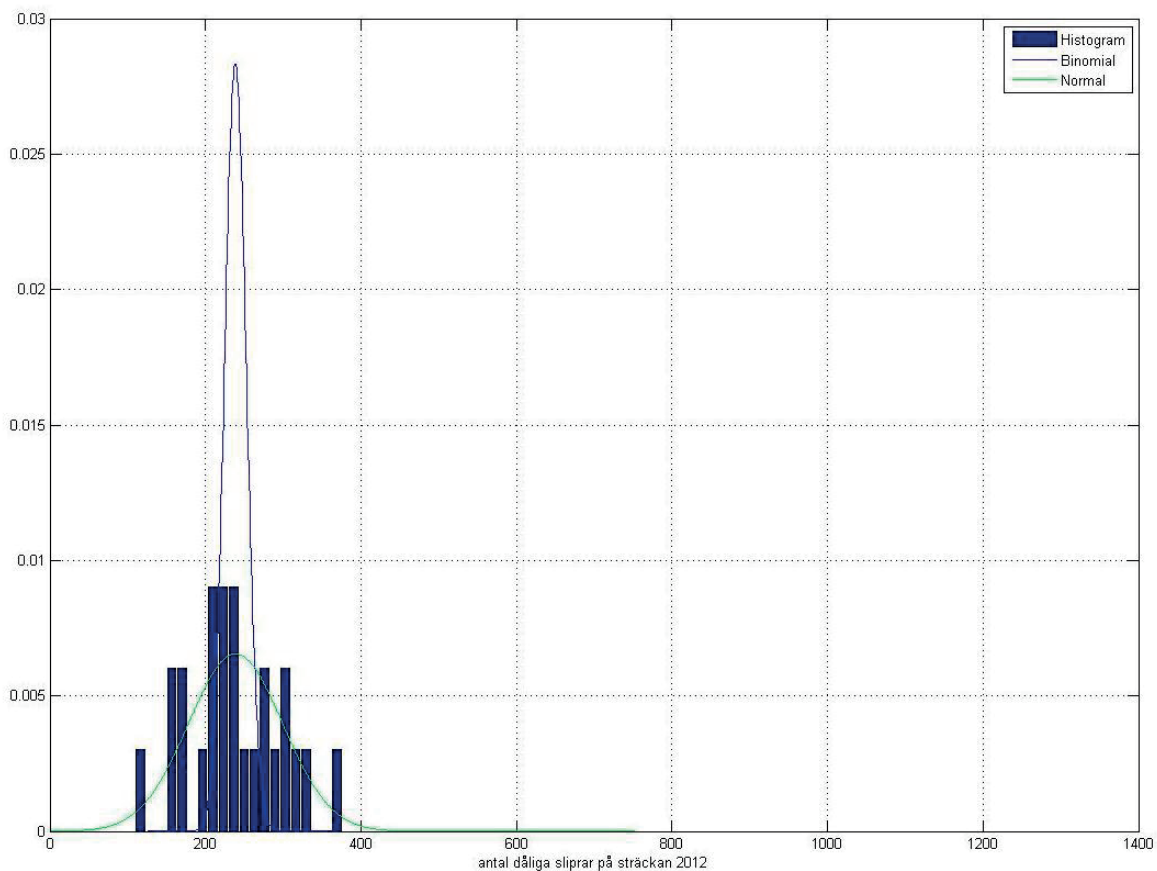
Km	Dåliga sliprar år 2012 (st)	Dåliga sliprar år 2012 (%)	Dåliga sliprar 2014 (st)	Dåliga sliprar 2014 (%)	Ny inlagda 2014 (st)
85-86	290	21%	263	19%	122
86-87	376	27%	264	19%	134
87-88	315	23%	150	11%	114
88-89	328	23%	182	13%	93
89-90	151	11%	152	11%	13
90-91	110	8%	94	7%	0
91-92	227	16%	182	13%	78
92-93	239	17%	328	23%	91
93-94	273	20%	350	25%	72
94-95	243	17%	213	15%	113
95-96	223	16%	145	10%	106
96-97	168	12%	193	14%	0
97-98	214	15%	576	41%	4
98-99	198	14%	476	34%	0
99-100	212	15%	381	27%	70
100-101	298	21%	420	30%	93
101-102	239	17%	476	34%	77
102-103	252	18%	370	26%	90
103-104	161	12%	434	31%	45
104-105	278	20%	495	35%	79
105-106	297	21%	602	43%	89
106-107	261	19%	557	40%	0
107-108	176	13%	486	35%	0
108-109	210	15%	497	36%	0
109-110	229	16%	393	28%	0

Figur 35: Samtliga mätvärden bana 832

För att få en mer strukturerad indelning utav delsträckorna, delades mätvärden in i två tabeller där ena innehåll mätvärden på sträckor utan slipersbyte och andra mätvärden med slipersbyte. Dessa tabeller finns bifogade som bilaga 3.

5.2 Beräkningar i MATLAB

För att få ett samband mellan andelen dåliga och ny inlagda sliprar på en sträcka krävdes det beräkningar i programmet MATLAB för att styrka ett eventuellt resultat matematiskt samband. Som tidigare nämnt bistod Anna Lindgren, Adjunkt på Matematikcentrum, LTH med dessa beräkningar. Resultatet av dessa återfinns i grafen nedan, som visar vilken typ av matematisk fördelning som mätvärdena visade.



Figur 36: Anna Lindgrens MATLABs modell

Utifrån figur 29 togs ett histogram fram över erhållna mätvärden. Från histogrammet applicerades två matematiska fördelningar varav ena är Binomialfördelning och den andra är Normalfördelning. Genom avläsning utav figuren kunde slutsatsen dras att fördelningen påminde starkt om en normalfördelning. Detta innebar att sliprarna visade en tendens att vara beroende utav varandra. Rent konkret betydde det att skulle ett par slipers på en viss sträcka bytas ut, kunde det leda till att omgivande sliprar överför sin belastning till de nya. De ny inlagda sliprarna skulle tagit på sig en större belastning och därmed slitats ut snabbare och få en kortare livslängd.

Utifrån MATLABs-programmet erhöles även antalet sliprar per Km som skulle vara optimalt att byta ut. Denna siffra uppgick till 61st. sliprar per Km (se bilaga 2).

6 Diskussion och slutsatser

6.1 Resultatdiskussion

Skarvspår är idag en äldre spårteknik som allt mer avvecklas och ersätts av betongsliprar med helsvetsade spår. I nuläget finns det dock fortfarande kvar ett flertal skarvspår sträckningar runt om i Sverige som fortfarande används. Merparten utav dessa spår är lågtrafikerade, ligger i glesbyggden och handlar i många fall om större godstransporter. Detta resulterar i att dessa spår blir lågprioriterade, vilket påverkar budgetunderhållet för dessa spår. Av den anledningen är det av storvikt att de resurser som erhålls disponeras på ett effektivt sätt.

Problematiken är idag att det inte råder kunskaper om hur ett effektivt och framförallt förebyggande underhåll av skarvspår ska ske. Ett resultat utav detta är att skarvspårs sträckor blivit eftersatta och fått ett varierande skick, vilket har medfört att en stor del av uppkomna fel är av akut karaktär. Underhållsresurserna har disponerats sporadiskt på sträckorna utan någon förbestämmd underhållsplan.

De underhållsmetoder som finns idag är slipersreglering och byte av sliprar. Metoden som används för byten av sliper är att de byts 5 sliprar i rad därefter behålls 20 sliprar. Det görs på grund av att då undviks hastighetsnedsänkningar och spårreglering av spåret. I underhållet ingår också kontroll av räls skarvar, för att en räls skarv ska vara godkänd ska den vara åtdragen och rälsfjädringarna ska vara hela.

Det som arbetet har inriktat sig mot är att undersöka vad som är en optimal bytesnivå för träsliprar. För att få fram den optimala bytesnivån har det gjorts beräkningar i MATLAB från erhållna mätvärden från studiebesöket på bana 832 (Hultsfred- Berga). Utifrån beräkningarna togs det sedan fram ett matematiskt samband över slipersbyten som bör genomföras årligen. För att uppnå en konstant underhållsnivå i anläggningen, vilket innebär att anläggningen inte ska förbättras eller försämrats.

6.2 Metoddiskussion

Studiebesöket innebar en subjektiv bedömning av standarden på träsliprar på sträckan 832 (Hultsfred- Berga). Detta har resulterat i att bedömningen har en viss felfaktor eftersom att värdena är utifrån en personlig åsikt och kan upplevas olika från person till person. Av den anledningen valdes som tidigare beskrivits i kap 5.1 (*Sammanställning av resultat*) de rödmarkerade sträckorna bort, eftersom att dessa sträckor fick missvisande värden. Resultaten har även baserat sig på mätvärden endast från två år, vilket kan anses inte vara tillräckligt för att kunna dra en säker slutsats.

Efter sammanställningen som gjordes i Excel valdes det att gå vidare för att undersöka resultatet ur ett matematiskt perspektiv. Detta för att kunna styrka resultatet med siffror istället för att bygga det på antaganden. Beräkningarna som gjordes i MATLAB anses vara trovärdiga, eftersom att MATLAB är ett noggrant beräkningsprogram som uppvisar små fel marginaler på det uträknade resultatet. Slutsatsen kan då dras att beräkningarna som är

utförda i MATLAB stämmer och att resultatet anses vara logiskt. Resultatet är dock endast anpassat till sträckan 832 (Hultsfred- Berga) och kan inte med säkerhet gälla för övriga sträckor med skarvspår. Omgivningen utgör en avgörande faktor för spårets standard. I och med att det inte skiljer sig så mycket mellan de olika spårens omgivning i Småland går det generellt att anse att resultatet kan tillämpas på övriga skarvspår i Småland. Det krävs dock en likadan undersökning som genomförts i detta arbete.

6.3 Slutsatser

Det största problemet med skarvspår har visat sig vara att träsliprar slits ut och kräver ett regelbundet underhåll i form av sliperbyten. I och med att det tidigare inte funnits någon planerad underhållsplan har detta lett till att underhållet inte varit kontinuerligt utan styrt utifrån akuta fel som tidigare beskrivits.

Resultatet som MATLAB generade för bana 832 (Hultsfred- Berga) visade istället att fokus skulle ligga på underhåll av de mest eftersatta sträckorna. Det optimala skulle då vara att byta ut fler träsliprar på en och samma sträcka jämfört vad som görs idag. Även om detta skulle leda till hastighetsnedsänkningar för tågtrafiken under en viss period. Genom att tillämpa den här typen av åtgärd kommer det att innebära på lång sikt att standarden på banorna kommer att höjas. Därmed övergår underhållet från akuta fel till förebyggande underhåll, vilket var målsättningen med arbetet.

Vår personliga uppfattning är att denna metod som beskrivits ovan kan vara ett sätt att komma bort från rådande problem. Resultatet anser vi också är logiskt med tanke på att sliprarna är beroende utav varandra och att det därmed är bättre att byta ett större parti med dåliga slipar på en sträcka.

Skulle Trafikverket välja att fortsätta med samma underhållsmetod som råder idag krävs i så fall ett sliperbyte på 61 st. sliprar per km utifrån vårt resultat på sträcka 832 (Hultsfred-Berga).

6.3.1 Rekommendationer

I detta examensarbete är resultatet endast baserat på en bana som tidigare beskrivits. För framtida examensarbeten rekommenderar vi att andra banor och även att 832 (Hultsfred-Berga) studeras utifrån ett längre tidsperspektiv än två år som utgörs i detta arbete. I framtida arbeten studera ifall vårt resultat på 61 st. sliprar per Km stämmer överens på sträckor med skarvspår.

7 Referenser

7.1.1.1 Litteratur

- Adell, S (1974). *Nässjö- Oskarshamns järnväg 1874-1974 Bockabanan- ett 100-årsjubileum*. Eksjö
- Bårström, S och Granbom, P (2012). *Den Svenska järnvägen*. Borlänge: Trafikverket
- Edman, B (2001). *Kalmar- Berga järnväg*. Jönköping: Svenska Järnvägsklubben skriftserie nr 73
- Leander, L (1984). *Halmstad - Nässjö järnvägar 1882-1982*. Helsingborg: Frank Stenvalls förlag
- Länsstyrelsen (2010). *Alvesta järnvägsstation byggnadsminnen i Kronobergs län: Länsstyrelsen i Kronobergs län*
- Nicolin, C (1995). *Järnvägens andra revolution*. Falun: Ekerlids förlag
- Welander, L (2000). *Jönköping – Gripenbergs järnväg*. Växjö
- Åhström, M (2011). *Järnvägsteknik*. Stockholm: Liber AB

7.1.1.2 Vetenskapliga artiklar

- Abetong (2013a). *Vägar och järnvägar: Abetong*
- Allmän Järnvägsteknik (2010). *Järnvägskolan Trafikverket*. Ängelholm
- Crona (2012). LCA av TCS-betongsliprar och linoljeimpregnerad träsliper
- Trafikverket (2011a). Banöverbyggnad skarvspår- krav och regler förebyggande underhåll: Trafikverket
- Trafikverket (2012b). Statistik, analys och förslag på åtgärder: Trafikverket

7.1.1.3 Webbaserade källor

- Abetong (2010b). <http://www.wislanda.se/jarnvag/betongsliper/1701.gif> (2014-05-12)
- Infranord (2013). <http://www.infranord.se/Pressrum/Nyheter/2013/Oktober/Test-med-miljovanliga-sliprars-i-Jonkoping-och-Hultsfred/> (2014-03-24)
- Nationellt/2012-11/Nytt-regelverk-for-skarvspar/ (2014-05-12)
- Pandrol (2014). http://www.pandrolusa.com/products/fastclip_fe.php (2014-08-27)
- Safetrack (2014). <http://www.safetrack.se/produkter/safetrack-ab-webshop/route/catalog/controller/product/type/view/shopid/319/> (2014-05-12)
- Trafikverket (2013c). <http://www.trafikverket.se/Pressrum/Pressmeddelanden1/Pressmeddelande1/Jonkoping/2013/2013-09/Miljovanligare-sliprar-testas/> (2014-03-24)
- Trafikverket (2012d). <http://www.trafikverket.se/Aktuellt/Nyhetsarkiv/Nyhetsarkiv2/>

8 Bilagor

8.1 Bilaga 1 Bygg och gränsvärden

Bygg- och gränsvärden	Räslängd: 36 till 40 m	Gränsvärden för skarvöppningar (mm)						
	Rälstemp (°C)	Byggvärde	Bygg min	Bygg max	Uh min	Uh max	Sä min	Sä max
-31 till -29								
-28 till -26								
-25 till -23								
-22 till -20								
-19 till -17								
-16 till -14	20	18	20	16	20	11	20	
-13 till -11	19	17	20	15	20	10	20	
-10 till -8	18	16	20	14	20	9	20	
-7 till -5	16	14	18	12	20	7	20	
-4 till -2	15	13	17	11	20	6	20	
-1 till +1	13	11	15	9	19	4	20	
+2 till +4	12	10	14	8	18	3	20	
+5 till +7	11	9	13	7	17	2	20	
+8 till +10	9	7	11	5	15	0	18	
+11 till +13	8	6	10	4	14	0	17	
+14 till +16	7	5	9	3	13	0	16	
+17 till +19	5	3	7	1	11	0	14	
+20 till +22	4	2	6	0	10	0	13	
+23 till +25	2	0	4	0	8	0	11	
+26 till +28	1	0	3	0	7	0	10	
+29 till +31	0	0	2	0	6	0	9	
+32 till +34								
+35 till +37								
+38 till +40								

Byggvärde:

Kolumnen anger nominella värden.

Bygg min och Bygg max:

Kolumnerna anger gränsvärden som gäller för nybyggda eller rälsreglerade spår.

Uh min och Uh max:

Kolumnerna anger gränsvärden som ska användas vid underhållsbesiktning och efterföljande bedömning av rälsregleringsbehov.

Sä min och Sä max:

Kolumnerna ska användas vid säkerhetsbesiktning.

Medelvärdesberäkning: Får endast användas vid jämförelse med Bygg- och Uh-gränsvärden.

Skarvöppningarnas storlek får då beräknas som medelvärdet av 5 st intilliggande skarvar. Medelvärdet anges för den mittersta skarven. Vid början av skarvspåret, övergång till annan räslängd, broar och växlar m.m. där medelvärdet inte går att beräkna gäller gränsvärden för varje enskild skarv. Skarvuppmättningsprotokollet i Bilaga 2 i BVMall (excel) innehåller formel för detta.

Bygg- och gränsvärden	Räslängd: 26 till 35 m	Gränsvärden för skarvöppningar (mm)						
	Rälstemp (°C)	Byggvärde	Bygg min	Bygg max	Uh min	Uh max	Sä min	Sä max
	-31 till -29							
	-28 till -26							
	-25 till -23							
	-22 till -20							
	-19 till -17	20	18	20	16	20	12	20
	-16 till -14	19	17	20	15	20	11	20
	-13 till -11	18	16	20	14	20	10	20
	-10 till -8	17	15	19	13	20	9	20
	-7 till -5	16	14	18	12	20	8	20
	-4 till -2	15	13	17	11	20	7	20
	-1 till +1	14	12	16	10	20	6	20
	+2 till +4	12	10	14	8	18	4	20
	+5 till +7	11	9	13	7	17	3	19
	+8 till +10	10	8	12	6	16	2	18
	+11 till +13	9	7	11	5	15	1	17
	+14 till +16	8	6	10	4	14	0	16
	+17 till +19	7	5	9	3	13	0	15
	+20 till +22	6	4	8	2	12	0	14
	+23 till +25	5	3	7	1	11	0	13
	+26 till +28	4	2	6	0	10	0	12
	+29 till +31	3	1	5	0	9	0	11
	+32 till +34	2	0	4	0	8	0	10
	+35 till +37	1	0	3	0	7	0	9
	+38 till +40	0	0	2	0	6	0	8

Bygg- och gränsvärden	Räslängd: 16 till 25 m	Gränsvärden för skarvöppningar (mm)						
	Rälstemp (°C)	Byggvärde	Bygg min	Bygg max	Uh min	Uh max	Sä min	Sä max
	-31 till -29	20	18	20	16	20	13	20
	-28 till -26	19	17	20	15	20	12	20
	-25 till -23	18	16	20	14	20	11	20
	-22 till -20	18	16	20	14	20	11	20
	-19 till -17	17	15	19	13	20	10	20
	-16 till -14	16	14	18	12	20	9	20
	-13 till -11	16	14	18	12	20	9	20
	-10 till -8	15	13	17	11	20	8	20
	-7 till -5	14	12	16	10	20	7	20
	-4 till -2	13	11	15	9	19	6	20
	-1 till +1	13	11	15	9	19	6	20
	+2 till +4	12	10	14	8	18	5	19
	+5 till +7	11	9	13	7	17	4	18
	+8 till +10	11	9	13	7	17	4	18
	+11 till +13	10	8	12	6	16	3	17
	+14 till +16	9	7	11	5	15	2	16
	+17 till +19	9	7	11	5	15	2	16
	+20 till +22	8	6	10	4	14	1	15
	+23 till +25	7	5	9	3	13	0	14
	+26 till +28	7	5	9	3	13	0	14
	+29 till +31	6	4	8	2	12	0	13
	+32 till +34	5	3	7	1	11	0	12
	+35 till +37	4	2	6	0	10	0	11
	+38 till +40	4	2	6	0	10	0	11

Bygg- och gränsvärden	Räslängd: 6 till 15 m	Gränsvärden för skarvöppningar (mm)						
	Rälstemp (°C)	Byggvärde	Bygg min	Bygg max	Uh min	Uh max	Sä min	Sä max
	-31 till -29	13	11	15	9	19	7	19
	-28 till -26	13	11	15	9	19	7	19
	-25 till -23	13	11	15	9	19	7	19
	-22 till -20	12	10	14	8	18	6	18
	-19 till -17	12	10	14	8	18	6	18
	-16 till -14	12	10	14	8	18	6	18
	-13 till -11	11	9	13	7	17	5	17
	-10 till -8	11	9	13	7	17	5	17
	-7 till -5	11	9	13	7	17	5	17
	-4 till -2	10	8	12	6	16	4	16
	-1 till +1	10	8	12	6	16	4	16
	+2 till +4	10	8	12	6	16	4	16
	+5 till +7	9	7	11	5	15	3	15
	+8 till +10	9	7	11	5	15	3	15
	+11 till +13	9	7	11	5	15	3	15
	+14 till +16	8	6	10	4	14	2	14
	+17 till +19	8	6	10	4	14	2	14
	+20 till +22	8	6	10	4	14	2	14
	+23 till +25	7	5	9	3	13	1	13
	+26 till +28	7	5	9	3	13	1	13
	+29 till +31	7	5	9	3	13	1	13
	+32 till +34	6	4	8	2	12	0	12
	+35 till +37	6	4	8	2	12	0	12
	+38 till +40	5	3	7	1	11	0	11

8.2 Bilaga 2 MATLAB-program

8.2.1 Anna Lindgrens MATLAB-program

```

1  %% histogram över antal dåliga sliprar 2012 och motivering till att
2  %% sliprarna på samma sträcka inte alls är oberoende. I så fall borde
3  %% det blivit binomialfördelning men det är det inte alls.
4  %% 16/5-14, Anna Lindgren
5
6  x=[110 168 176 198 210 229 261 214 151 273 161 328 278 297 298 239 212 ...
7     227 376 252 315 239 290 243 223]
8  n=1400;
9  X=sum(x)    %% totalt antal dåliga sliprar
10 M=length(x) %% antal sträckor
11 N=n*M      %% totalt antal sliprar
12 px=X/N    %% total andel dåliga sliprar
13
14 [antal,u]=hist(x,20)
15 br=u(2)-u(1)    %% klassbredd for omskalning
16 bar(u,antal/M/br)
17 hold on
18 plot(0:n,binopdf(0:n,n,px))
19 plot(0:n,normpdf(0:n,mean(x),std(x)),'g-')
20 hold off
21 legend('Histogram','Binomial','Normal')
22 grid on
23 xlabel('antal dåliga sliprar på sträckan 2012')
24
25 %% medelvärde och standardavvikelse
26 m=mean(x)    %% medelantal dåliga sliprar per sträcka.
27 s=std(x)    %% standardavvikelse för antal dåliga.
28 sbin=sqrt(px*(1-px)*1400)    %% den standardavvikelse det borde varit
29 %% istället för s om det hade varit oberoende, dvs binomial.
30
31 %% data för bytta och 2014
32 y=[0 0 0 0 0 0 0 4 13 72 45 93 79 89 93 77 70 78 134 90 114 91 122 113 106]
33 x14=[94 193 486 476 497 393 557 576 152 350 434 182 495 602 420 476 ...
34      381 182 264 370 150 328 263 213 145]
35

```

8.2.2 Beräknings resultat från MATLAB-programmet

```
>> kod

x =

Columns 1 through 22
  110  168  176  198  210  229  261  214  151  273  161  328  278  297  298  239  212  227  376  252  315  239

Columns 23 through 25
  290  243  223

X =

    5968

M =

    25

N =

   35000

px =

    0.1705

antal =

    1    0    0    2    2    0    1    3    3    3    1    1    2    1    2    1    1    0    0    1

u =

Columns 1 through 13
  116.6500  129.9500  143.2500  156.5500  169.8500  183.1500  196.4500  209.7500  223.0500  236.3500  249.6500  262.9500  276.2500

Columns 14 through 20
  289.5500  302.8500  316.1500  329.4500  342.7500  356.0500  369.3500

br =

   13.3000

m =

   238.7200

s =

   60.9341

sbin =

   14.0718

y =

Columns 1 through 21
    0    0    0    0    0    0    0    4   13   72   45   93   79   89   93   77   70   78   134   90   114

Columns 22 through 25
   91  122  113  106
```

Underhållsplan för framtida slipersbyten

Columns 1 through 21

110 168 176 198 210 229 261 214 151 273 161 328 278 297 298 239 212 227 376 252 315

Columns 22 through 25

239 290 243 223

X =

5968

M =

25

N =

35000

px =

0.1705

antal =

1 0 0 2 2 0 1 3 3 3 1 1 2 1 2 1 1 0 0 1

u =

Columns 1 through 13

116.6500 129.9500 143.2500 156.5500 169.8500 183.1500 196.4500 209.7500 223.0500 236.3500 249.6500 262.9500 276.2500

Columns 14 through 20

289.5500 302.8500 316.1500 329.4500 342.7500 356.0500 369.3500

br =

13.3000

m =

238.7200

s =

60.9341

sbin =

14.0718

y =

Columns 1 through 21

0 0 0 0 0 0 0 4 13 72 45 93 79 89 93 77 70 78 134 90 114

Columns 22 through 25

91 122 113 106

x14 =

Columns 1 through 21

94 193 486 476 497 393 557 576 152 350 434 182 495 602 420 476 381 182 264 370 150

Columns 22 through 25

328 263 213 145

8.3 Bilaga 3 Tabellvärden

8.3.1 Mätdata med sliperbyten

Km	Dåliga sliprar år 2012	Börbytas år 2012 (%)	Total/km	Ny inlagda år 2014	Ny inlagda år 2014 (%)	Kvar att byta (st)	Kvar att byta (%)	Dåliga sliprar år 2014	Sliperökning	Ökning (%)	Total/km
85-86	290	21%	1400	122	42%	168	58%	263	95	6,79%	1400
86-87	376	27%	1400	134	36%	242	64%	264	22	1,57%	1400
89-90	151	11%	1400	13	9%	138	91%	152	14	1,00%	1400
91-92	227	16%	1400	78	34%	149	66%	182	33	2,36%	1400
92-93	239	17%	1400	91	38%	148	62%	328	180	12,86%	1400
93-94	273	20%	1400	72	26%	201	74%	350	149	10,64%	1400
94-95	243	17%	1400	113	47%	130	53%	213	83	5,93%	1400
95-96	223	16%	1400	106	48%	117	52%	145	28	2,00%	1400
97-98	214	15%	1400	4	2%	210	98%	576	366	26,14%	1400
99-100	212	15%	1400	70	33%	142	67%	381	239	17,07%	1400
100-101	298	21%	1400	93	31%	205	69%	420	215	15,36%	1400
101-102	239	17%	1400	77	32%	162	68%	476	314	22,43%	1400
102-103	252	18%	1400	90	36%	162	64%	370	208	14,86%	1400
103-104	161	12%	1400	45	28%	116	72%	434	318	22,71%	1400
104-105	278	20%	1400	79	28%	199	72%	495	296	21,14%	1400
105-106	197	14%	1400	89	45%	108	55%	602	494	35,29%	1400

8.3.1 Mätdata utan sliperbyten

Km	Dåliga sliprar år 2012	Börbytas år 2012 (%)	Total/km	Ny inlagda år 2014	Ny inlagda år 2014 (%)	Kvar att byta (st)	Kvar att byta (%)	Dåliga sliprar år 2014	Sliperökning	Ökning (%)	Total/km
90-91	110	8%	1400	0	0%	110	100%	94	-16	-1,14%	1400
96-97	168	12%	1400	0	0%	168	100%	193	25	1,79%	1400
98-99	198	14%	1400	0	0%	198	100%	476	278	19,86%	1400
106-107	261	19%	1400	0	0%	261	100%	557	296	21,14%	1400
107-108	176	13%	1400	0	0%	176	100%	486	310	22,14%	1400
108-109	210	15%	1400	0	0%	210	100%	497	287	20,50%	1400
109-110	229	16%	1400	0	0%	229	100%	393	164	11,71%	1400



LUNDS UNIVERSITET