

Thesis 208

# Underhåll av fixerat spår

Erfarenheter från europeiska och japanska system

---

David Nyquist



Trafik och väg  
Institutionen för Teknik och samhälle  
Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet

# Underhåll av fixerat spår

Erfarenheter från europeiska  
och japanska system

David Nyquist

Examensarbete

CODEN:LUTVDG/(TVTT-5175/1-56 / 2010

Thesis / Lunds Tekniska Högskola,  
Institutionen för Teknik och samhälle,  
Trafik och väg, 208

ISSN 1653-1922

David Nyquist

## Underhåll av fixerade spår – Erfarenheter från europeiska och japanska system

2010

*Ämnesord:*

*Fixerat spår, ballastfria spår, slab track, feste fahrbahn, underhåll, erfarenhetsinsamling*

*Referat:*

Examensarbetet undersöker vad det finns för underhållsbehov på fixerat spår som är byggt i andra länder. Informationsinsamlingen har genomförts med intervjuer av personer med god kunskap i ämnet. Fördelarna med fixerat spår gentemot ett ballastspår är bland annat att det har mindre underhållsbehov, högre stabilitet och längre livslängd. I Japan har de haft problem med sprickbildning i cementasfaltbruket och att de behöver justera rälets position. Tyskland har haft problem med mellanläggsplattor som blir styva. Nederländerna har haft problem med sättningar. Ett område som är känsligt och behöver extra tillsyn är övergången mellan ballastspår och fixerat spår. Viktiga erfarenheter att ha med sig är att vara noggrann med undergrunden för att undvika sättningar och att det inte går att bygga en övergångszon utan risk för sättningar. Viktigt att tänka på livscykelkostnaden när man ska investera i en höghastighetsjärnväg, bygga med den metod som är mest lönsam i det långa loppet.

*English title:*

Maintenance of slab track – experience from European and Japanese systems

*Citeringsanvisning:*

David Nyquist, *Underhåll av fixerat spår – erfarenheter från Europeiska och Japanska system*. Lund, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2010. Thesis 208

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

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

## Förord

Denna rapport är ett examensarbete på 30 högskolepoäng på avdelningen Trafik och väg vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med Vectura Consulting. Arbetet har skrivits vid Vecturas kontor i Malmö mellan september och december 2010.

Det ursprungliga initiativet till arbetet ligger hos Vectura där intresset för frågorna kring underhåll av fixerat spår är stort. Valet att inrikta sig mot underhållsfrågor berodde på att kunskapen och erfarenheter om det är begränsad i Sverige. Erfarenheter har samlats in med hjälp av intervjuer av experter inom området i andra länder. Resultaten från rapporten hoppas jag kan ligga till grund för framtida studier inom ämnet.

Många personer har hjälpt mig under arbetets gång. Jag vill tacka mina handledare Andreas Persson på institutionen Trafik och Samhälle och Michael Than på Vectura som har hjälpt mig att under arbetets gång gå i rätt riktning och kommit med konstruktiv feedback. Jag vill tacka Björn Södergren och Andrei Prokopov på Trafikverket och Peter Nyström på Rcon som har hjälpt mig med värdefull information och bra kontakter ute i världen. Jag vill även tacka alla som har tagit sig tid att ställt upp och svara på mina frågor. Jag vill slutligen tacka min flickvän Sofie Engel som har varit ett bra stöd för mig under hela processen med att skriva examensarbetet.

Malmö december 2010

David Nyquist

<b>FÖRORD</b> .....	<b>2</b>
<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>5</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>7</b>
<b>1 INLEDNING</b> .....	<b>9</b>
1.1 BAKGRUND.....	9
1.2 SYFTE .....	9
1.2.1 Frågeställningar.....	9
1.3 AVGRÄNSNINGAR .....	9
1.4 DEFINITIONER.....	10
<b>2 METODIK</b> .....	<b>11</b>
2.1 LITTERATURSTUDIE .....	11
2.2 INTERVJUMETODIK .....	11
2.3 HUR INTERVJUERNA HAR GENOMFÖRTS.....	12
2.4 UNDERSÖKNINGSGRUPPER (PERSONER SOM BLIVIT INTERVJUADE) .....	12
2.5 PERSONER SOM INTE KUNDE INTERVJUAS VIA TELEFON.....	12
2.6 PERSONER OCH FÖRETAG SOM INTE VELAT ELLER KUNNAT MEDVERKA .....	13
<b>3 TEORI</b> .....	<b>14</b>
3.1 BESKRIVNING AV BALLASTSPÅR.....	14
3.1.1 Terrassen .....	14
3.1.2 Spårbädden.....	14
3.1.3 Rälén.....	15
3.1.4 Slipers.....	17
3.1.5 Befästningen .....	18
3.2 BESKRIVNING AV FIXERADE SPÅR (BALLASTFRIA SPÅR) .....	20
3.2.1 Förekomst och historia .....	20
3.2.2 För- och nackdelar .....	21
3.2.3 System för fixerat spår.....	21
3.3 ÖVERGÅNGSZONEN .....	28
<b>4 RESULTAT</b> .....	<b>29</b>
4.1 UNDERHÅLL SHINKANSEN .....	29
4.1.1 Spårjustering .....	29
4.1.2 Sprickor i cementasfaltsbruket .....	30
4.2 ERFARENHETER FRÅN TYSKLAND OCH FÖR ÄLDRE TYSKA SYSTEM .....	32
4.2.1 Befästning .....	32
4.2.2 Äldre system.....	33
4.2.3 Spårslipning.....	34
4.3 ERFARENHETER FRÅN RHEDA 2000.....	34
4.3.1 Inspektioner .....	34
4.3.2 Sprickor .....	34
4.3.3 Sättningar .....	35
4.3.4 Övergångszonen .....	35
4.4 ERFARENHETER FRÅN FF BÖGL.....	36
4.5 ERFARENHETER FRÅN EDILON CORKELAST EMBEDDED RAIL SYSTEM .....	37
4.5.1 Förebyggande underhåll .....	37
4.5.2 Avhjälpande underhåll .....	37
4.6 ERFARENHETER FRÅN SONNEVILLE OCH LVT.....	39

## Underhåll av fixerat spår – erfarenheter från Europeiska och Japanska system

---

4.7	ERFARENHETER FRÅN ÖRESUNDSBRON .....	39
4.7.1	<i>Problem med saltbeläggningar</i> .....	39
4.7.2	<i>Övergångszoner</i> .....	40
4.7.3	<i>Ballastspår</i> .....	41
4.8	ERFARENHETER SOM INTE ÄR BUNDNA TILL ETT VISST SYSTEM.....	41
4.8.1	<i>Rälen</i> .....	42
4.8.2	<i>Precisionen</i> .....	42
4.8.3	<i>Övergångszonen</i> .....	42
4.9	ERFARENHET FRÅN DANMARK .....	44
4.10	ERFARENHETER FRÅN NEDERLÄNDERNA .....	44
4.10.1	<i>Sättningar</i> .....	44
4.10.2	<i>Förebyggande underhåll</i> .....	45
4.10.3	<i>Andra problem</i> .....	45
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>46</b>
5.1	SÄTTNINGAR.....	46
5.2	ÖVERGÅNGSZONERNA .....	47
5.3	BEFÄSTNINGEN.....	47
5.4	SPRICKOR OCH FRYSNING .....	48
5.5	INSPEKTIONSINTERVALL.....	48
5.6	VAD HÄNDER EFTER 60 ÅR?.....	49
5.7	ANDRA APPLIKATIONER ÄN BARA FÖR HÖGHASTIGHETSJÄRNVÄG.....	49
5.8	SYNEN AV UNDERHÅLLSFRITT .....	50
<b>6</b>	<b>SLUTSATSER</b> .....	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>FÖRSLAG PÅ VIDARE STUDIER</b> .....	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>53</b>
8.1	SKRIFTLIGA KÄLLOR.....	53
8.2	MUNTliga KÄLLOR .....	54

## Sammanfattning

I Sverige ökar stadigt intresset för att bygga höghastighetsjärnväg, det är dock i dagsläget oklart om det kommer att bli av. En av frågorna som studeras är vilken teknik som banöverbyggnaden ska byggas med. Ska den byggas med vanligt ballastspår eller byggas med ett fixerat spår, även kallat för ballastfritt spår eller slab track? I många andra länder i världen byggs redan stora delar av höghastighetsnätet med ett fixerat spår, men är det möjligt att bygga det även i Sverige?

Examensarbetet undersöker vad det finns för underhållsbehov på fixerat spår i de länder där det redan används. Avgränsningar är gjorda till att studera större beprövade system som inte är ett specialsystem för specialförhållanden.

Arbetet bygger på intervjuer av personer med god kunskap om underhållet av höghastighetsjärnväg med fixerat spår eller personer med kunskap om underhållet på ett specifikt system. Intervjuerna har genomförts med öppna frågor där respondenten fritt har haft möjlighet att utveckla sina tankar. Intervjuerna har antingen genomförts via telefon eller e-post, då de flesta med kunskapen och erfarenheten inte är stationerad i Sverige.

I Sverige byggs all järnväg, med enstaka undantag, med ett vanligt klassiskt ballastspår. Ballastspåret är uppbyggt av en överbyggnad samt en underbyggnad. Överbyggnaden består av ett plattramverk av räls och slipers som vilar i och stöds av ballast. Underbyggnaden består av underballast som vilar på en terrassyta.

Även i övriga världen byggs stora delar av all järnväg med vanligt traditionellt ballastspår, men dagens utveckling går mot att andelen järnväg som byggs med fixerat spår ökar. Utvecklingen av de fixerade spåren började under 1970-talet i bland annat Tyskland och Japan, där en av anledningarna var behovet av ett mer underhållsfritt spår.

Fördelarna med ett fixerat spår gentemot ett ballastspår är bland annat att det har betydligt mindre behov av underhåll, spåret har en högre stabilitet och en betydligt längre livslängd. En av nackdelarna är att ett fixerat spår har en högre anläggningskostnad och är känsligare för sättningar.

Det finns flera olika konstruktionslösningar av ett fixerat spår. Huvudindelningen av fixerat spår är antingen om rälen har åtskilda stöd eller ett kontinuerligt stöd. Det finns även undergrupper som beror på om systemet har byggts med eller utan sliprar och om det är platsgjuten eller prefabricerad betong. De system som behandlas i examensarbetet är följande: Rheda 2000, LVT, Shinkansen slab track, FF Bögl och Edilon Corkelast Embedded Rail System. Dessutom finns en kort beskrivning om övergångszonens uppbyggnad eftersom det är det fixerade spårets svagaste länk.

I Japan består det återkommande underhållet av att de behöver justera långvägiga förändringar i rälen. De har även haft ett behov av att reparera sprickor i cementasfaltsbruket som beror på återkommande frysning och tining.

I Tyskland har de haft problem med att det finns modeller av mellanläggsplattor som torkar ut och blir styvare. När detta sker måste alla plattorna ersättas i ett inte allt för okomplicerat arbete med att lossa och lyfta på rälen. Alternativet är att använda plattor som är lite dyrare men som inte torkar ut.

Rheda 2000 systemet är relativt problemfritt, det har inte uppstått så mycket behov av att underhålla detta. Systemet är konstruerat för att få sprickor, ibland blir ett fåtal av sprickorna för breda så att de måste injekteras med ett flytande bruk.

Underhållet på FF Bögl skiljer sig inte speciellt mycket i förhållande till andra system som också använder samma befästningssystem.

När det uppstår små sättningar för ett fixerat spår, kan dessa justeras med hjälp av befästningssystemet i både höjd och sidled. Tyskland har varit förskonad från problem med stora sättningar medan Nederländerna har haft stora problem. I Nederländerna utvecklas just nu ett nytt befästningssystem med en större justeringsmån än vad dagens befästningar klarar av.

I systemet från EdilonSedra är möjligheten att justera rälen läge begränsad, men där jobbar de istället med att justera hela plattans läge genom att injektera ett bruk i underbyggnaden. Rälen har ofta en längre livslängd i detta system jämfört med andra system.

Det fixerade spårets mest känsliga del är övergången mellan ballastspåret och det fixerade spåret. Problemet är att det inte går att undvika att det uppstår sättningar. För att minimera problemet med sättningar byggs en övergångszon som bättre ska klara av problemet.

Allt tyder på att bygga järnväg med ett fixerat spår är en bra metod för att minska behovet av underhåll. De punkter som är viktiga när vi i Sverige bygger en höghastighetsjärnväg är att ha ordentlig koll på undergrunden för att minimera riskerna för sättningar. En annan viktig kunskap att ha med sig är att det inte går att bygga en övergångszon utan sättningar, utan att man får vara beredd på att den behöver ett kontinuerligt underhåll.

När vi väl kostar på oss att bygga en höghastighetsjärnväg är det smart att våga betala lite extra för att göra ordentliga undersökningar av undergrunden och använda de mest lämpade komponenterna för att minimera livscykelkostnaderna.



## Summary

There is an increasing interest for high speed lines in Sweden, but it is uncertain if it will be built. One of the questions that are studied at the moment by the Swedish Transport Administration is if the track should be built with conventional ballast track or slab track. Many other countries in the world, like Germany and Japan, have built their high speed lines with slab tracks; the question is if that is possible in Sweden?

The master thesis investigates the need of maintenance of slab tracks in countries where it already has been built. Delimitation of the master thesis is to only study proven systems that are not constructed for special conditions.

The thesis is based on interviews with persons from other countries with a high knowledge of the maintenance at their high speed lines. The interviews have been completed with open questions where the respondents have been able to freely answer the questions. The interviews have been conducted either with telephone or by e-mail, since most of the people are stationed abroad.

In Sweden all the railroads, with few exceptions, are built with ballasted tracks. The ballasted track is built with a superstructure and a substructure. The superstructure consists of a flat framework made up of rails and sleepers which is supported on ballast. The substructure is built of ballast that rests on the soil.

In the rest of the world, as the same as it is in Sweden, most part of the railroad is built with conventional ballasted track, but the ongoing development leads to a situation that more parts of the new built railroads are constructed with slab tracks. The development of slab track started during the 70's decade in Germany and Japan. One of the reasons was the increasing need for maintenance free tracks.

Some of the advantages with slab tracks compared with ballasted track are the reduced need of maintenance, a higher stability and a longer lifetime. Some of the disadvantages are the higher construction cost and the limited adaptability to larger displacements in the embankment.

The slab track has many different construction types. The two main types of slab track are divided in discrete or continuous rail support. It is divided into subgroups if the system is built with or without sleepers and with the use of cast-in-place or prefabricated concrete. The systems that are covered in this report are Rheda 2000, LVT; Shinkansen slab track, FF Bögl and Edilon Corkelast Embedded Rail System. There is also a shorter description of the construction of the transition zone, because it is the slab track most vulnerable part.

In Japan they have regular problems with the longitudinal alignment of the rail. They also have problems with cracks in the concrete asphalt mortar that occurs because of repetitive freezing and thawing.

In Germany they have had problems with one model of rail pad where the stiffness has a tendency to increase. They had to change all the pads in a complicated work to loosen and lift the rail. The alternative is to use rail pads that do not tend to get stiffer.

The Rheda 2000 system is quite free from problems, and the need of maintenance has been minimum. The system is designed to get cracks, but sometimes the cracks got wider than allowed and have to be injected with a fluid mortar.

The maintenance for FF Bögl is quite similar to other systems that also use the same fastening system.

When you got small settlements, you can adjust it with the fastening system in both lateral and vertical direction. In Germany they do not have many problems with large settlements, but that is a problem they have experienced in Netherlands. In Netherlands they now develop a new fastening system that can be adjusted much more in both lateral and vertical direction compared to fastening system they use at the moment.

In the system from EdilonSedra, there are limitations in the possibilities to adjust the rail. Instead they work with the height of the slab and adjust the rails height with injecting grouts in the substructure. The rails have a longer lifetime in the system from EdilonSedra compared to other systems.

The slab track weakest part is the transition between the slab and ballasted track. The problem is that you can not avoid settlements. To solve the problem you have to build a transition zone that can minimize the problems with settlements.

A lot of information points in the direction that slab tracks need less maintenance compared to ballasted track. The things that are most important to be extra careful with here in Sweden when we build high speed lines are to be careful with the preparation of substructure to avoid settlements. Another thing that you also have to bear in mind is that you almost never can build a transition zone without settlements and that you have to schedule time for regularly maintenance.

When we build high speed lines in Sweden, it would be wise to pay the extra money for a precisely inspection of the substructure and also use the most suitable components to minimize the life cycle cost.

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Intresset för att bygga höghastighetsbanor i Sverige har stadigt ökat de senaste åren. Det är dock väldigt oklart om det ska genomföras eller inte, just nu finns det inte något beslut i frågan. I den senaste nationella infrastrukturplanen för 2010-2021 finns inte Götalandsbanan med, som är den första tänkta sträckningen för höghastighetståg och planeras att gå mellan Stockholm och Göteborg. Anledningen till att den inte finns med enligt Regeringen (2010) är bland annat att de inte vet hur mycket den kommer att kosta, hur den ska dras och hur den ska finansieras. Till följd av att Götalandsbanan inte finns med, har Trafikverket (2010) enligt sin hemsida avslutat projektet, men de försätter arbetet med att ta fram en teknisk systemstandard för höghastighetsbanor. Regeringen (2010) säger att de nu ska fortsätta utreda möjligheterna med att bygga höghastighetsbanor i Sverige och kommer att fatta ett beslut så fort det finns tillräckligt med underlag.

En av frågorna vid bygge av höghastighetsbanor i Sverige är om överbyggnaden ska byggas av ballast eller med fixerat spår eller om de två metoderna ska kombineras. I en förstudie av Nyström och Prokopov (2010), anser de att ur ett ekonomiskt perspektiv kan vara mest lönsamt att i ett svenskt höghastighetsnät bygga båda dessa två olika banöverbyggnadstyper. Vilken byggnadsmetod som bör väljas beror bland annat på vilka markförutsättningar som råder i det aktuella avsnittet.

I Europa och Asien finns det ett stort utbyggt nät av höghastighetsbanor där delar är byggda med fixerat spår och det finns en mycket stor kunskap i ämnet. Ett fixerat spår beskrivs ofta som ett spår med litet behov av underhåll. En fråga som ofta ställs är huruvida dessa banöverbyggnadsmetoder är applicerbara i svenska förhållanden.

Oavsett om politikerna bestämmer sig för att bygga höghastighetsbanor i Sverige eller inte, finns det personer inom Trafikverket som är övertygade om att fixerat spår även är lämpligt på banor med lägre hastigheter.

## 1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka underhållet för de vanligaste systemen för fixerat spår i världen och vad de har för underhållsbehov och underhållsmetoder.

### 1.2.1 Frågeställningar

- Vilka är de mest förekommande felen som uppstår?
- Hur ofta uppstår dessa fel?
- Hur lång tid tar det att åtgärda felen?
- Vilka metoder används för att åtgärda felen?

## 1.3 Avgränsningar

Arbetet avgränsar sig till att titta på de mest byggda systemen som är beprövade och som inte är specialsystem för speciella förhållanden som t.ex. tunnlar och broar vilka ofta kräver speciella vibrationsdämpningskrav.

Det fanns även från början intentioner om att undersöka vad det fanns för kostnader för underhållet. Det visade sig dock under arbetets gång att det var väldigt svårt att få fram någon information om kostnader för underhållet av fixerat spår.

#### 1.4 Definitioner

- Fixerat spår** I denna rapport kommer namnet fixerat spår att användas. Ett annat vanligt namn som används är ballastfria spår eller engelska termen slab track men anledningen till att det inte används är därför att det kan bli tungläst när termen ballastspår förekommer i samma text. Dessutom beskriver termen fixerat spår bättre byggnadsprincipens egenskaper.
- DB** Är en förkortning av Deutsche Bahn som är infrastrukturförvaltaren av den tyska järnvägen. Deutsche Bahn kallas även i folkmun för Die Bahn.
- Disp. tid** Är en förkortning av spårdispositionstid och innebär den tiden som är ledig och tillgänglig för att utföra underhåll på järnvägen. På en hårt trafikerad bana är det oftast bara ett fåtal timmar per natt som är ledig för underhåll (Sundquist 1999).

## 2 Metodik

Arbetet med att samla in fakta om underhållet för de olika systemen genomförs med hjälp av intervjuer. I första hand ska intervjuerna genomföras via telefon, då stora delar av personerna som är intressanta att prata med inte är stationerade i Sverige utan främst i andra delar av Europa. Om personen inte haft möjlighet att ställa upp på en telefonintervju, har han fått svara skriftligt via e-post. Det genomfördes även en litteraturstudie för att öka kunskapen om järnväg och fixerat spår.

### 2.1 Litteraturstudie

Studien inleddes med en litteraturstudie för att öka kunskapen om järnväg och framförallt fixerat spår för att få en ökad förståelse om järnvägen samt även vilka områden där det finns ett behov av underhåll.

Litteraturstudien började med att studera vad det fanns för kunskap om vanlig järnväg och hur den var uppbyggd. Nästa steg var att undersöka vad ett fixerat spår är och hur det är uppbyggt, vad det finns för olika konstruktionsmetoder och byggsystem.

### 2.2 Intervjumetodik

Intervjuer är vanliga i många olika sammanhang, de vanligaste intervjuerna vi alla ser, hör och läser är de som journalister genomför i radio, tv och tidningar. När vi söker jobb blir vi kallad till anställningsintervjuer, vid besök hos läkaren intervjuas vi om våra besvär. Listan kan göras lång med olika yrkeskategorier som genomför intervjuer (Lantz, 2007).

För att en intervju ska kunna användas som datainsamlingsmetod krävs det att den i efterhand kan granskas kritiskt i syftet att besvara några av följande frågor: Har intervjuaren ställt de frågor som krävs? Speglar det som sagts under intervjun intervjupersonens uppfattning? (Lantz, 2007).

Vilka är kraven för att en intervju ska kunna anses vara användbar? Lantz (2007) skriver att i vetenskapliga sammanhang brukar följande krav ställas på en intervju:

- Metoden måste ge tillförlitliga resultat(kravet på reliabilitet)
- Resultaten måste vara giltiga(kravet på validitet)
- Det ska vara möjligt för andra att kritiskt granska slutsatserna.

Vad är skillnaden mellan en intervju och ett samtal? Intervjun har till syfte att endast samla information och en förutsättning är att personen som intervjuar har en avsikt eller ett syfte med intervjun. Till skillnad från intervjun har ett samtal inte ett bestämt syfte och det som sägs brukar ge sig under samtalets gång (Lantz, 2007).

Det finns olika typer av intervjuformer, vanligtvis brukar formerna beskrivas utifrån skillnader i struktureringsgraden. Den ena ytterligheten av intervjuform kallas för öppen intervju där intervjuaren ställer en vid, öppen fråga som den tillfrågade fritt kan utveckla sina tankar om. Motsatsen till en öppen intervju är en helt strukturerad intervju. I den strukturerade intervjun ställs i förväg formulerade frågor som ställs i en förutbestämd ordning och svarar på i förväg uppgjorda svarsalternativ (Lantz, 2007).

Beroende på vilken intervjuform som väljs, finns det olika analysmetoder, kvalitativa och kvantitativa analyser. När man pratar om kvalitativa analyser handlar det om att göra en bestämning hos flera undersökningsobjekt avseende förekomst och sammansättning av egenskaper. I kvalitativa analyser handlar det om att undersöka ”likartad – olikartad” och inte som i en kvantitativ analys där det handlar om ”mer än” eller ”mindre än” (Westlander, 1993).

### **2.3 Hur intervjuerna har genomförts**

Intervjuerna har varit av öppen karaktär där det har ställt en öppen fråga till respondenten som han sedan har haft möjlighet att fritt kunnat utveckla sina tankar kring. Undersökningen har genomförts med ett fåtal intervjuer med kvalitativ analysmetod. Detta för att få personerna att dela med sig av sin kunskap och sen har det funnits möjlighet att ställa följdfrågor utifrån deras svar.

### **2.4 Undersökningsgrupper (personer som blivit intervjuade)**

Wojciech Nawrat som är chef för Research and Development på Rail.One i Tyskland och tillverkare av systemet Rheda 2000. Han har blivit intervjuad tre gånger via telefon. Frågorna har ställts öppet och han har sedan berättat om olika problem, men har även berättat om andra saker som handlar om vad de gjort för att inte få problem.

Mikael Lundgren som är underhållsledare för järnvägen på Öresundsbron, han intervjuades en gång ansikte mot ansikte. Mikael fick möjlighet att berätta om underhållet av järnvägen på Öresundsbroförbindelsen och framförallt underhållet på det fixerade spåret i tunneln.

Roel Hartman som är manager of operation på Infrasppeed i Nederländer och högst ansvarig för underhållet på de Nederländska höghastighetsspåren. Han intervjuades via telefon om underhållet höghastighetsjärnvägen och vilka problem de handskas med.

Stefan Knittel som är VD på Rhomberg Rail Consult och har stor kunskap om fixerat spår och som även var med i byggandet av det fixerade spåret i citytunneln. Han intervjuades om hans allmänna kunskaper om fixerade spår och även om han visste något om systemet FF Bögl.

Gang Liu som nu jobbar på Vectura Consulting i Danmark och tidigare har jobbat för BaneDanmark och intervjuades om planskilda korsningar som byggts med fixerat spår i Danmark.

### **2.5 Personer som inte kunde intervjuas via telefon**

Från början var det tänkt att alla intervjuer skulle genomföras som telefonintervjuer, dock gick det inte att genomföra alla via telefon.

Atsushi Yokayama på Japan Rail hade inte tid till att bli intervjuad via telefon utan skickade istället en föreläsning han hade haft på ett seminarium. Efter att jag läst igenom föreläsningen, skickades via e-post kompletterande frågor till Yokayama som han svarade på.

Christian Stolz på Deutsche Bahn hade inte heller tid att ställa upp på en telefonintervju men han svarade istället på mina frågor skriftligt via e-post. Stolz svarade på mina frågor utifrån synvinkeln att han är beställare av systemet.

Amy de Man på Edilon)(Sedra anställd som System Development Manager föredrog även han att svara på frågor via e-post.

Peter Laborenz som är vice President på Sonneville AG och tillverkare för LVT systemet valde att svara på mina frågor via e-post.

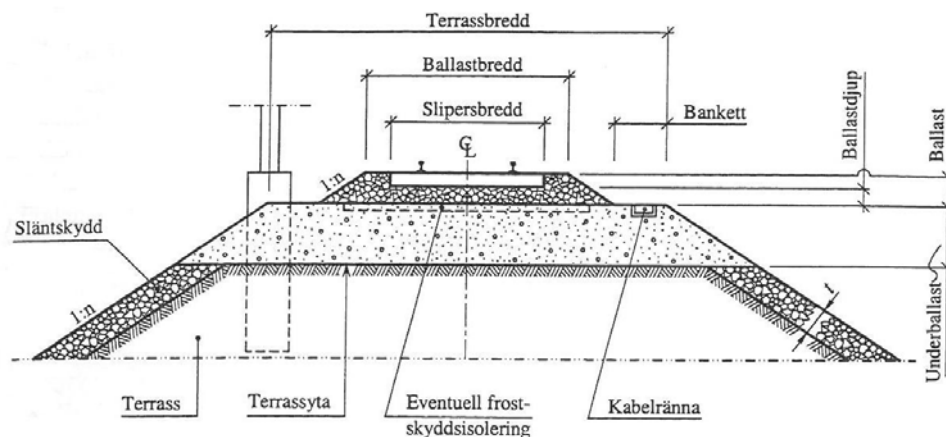
## **2.6 Personer och företag som inte velat eller kunnat medverka**

Tyvärr har det inte gått att få kontakt med någon person inom Max Bögl med rätt kompetens för att svara på frågor om underhållet av deras system FF Bögl. Flera försök att ringa och skicka e-post har gjorts utan framgång.

## 3 Teori

### 3.1 Beskrivning av ballastspår

Ballastspår är den vanligaste förekommande typen av järnvägsspår i Sverige. Ett annat namn för ballastspår är klassiska spår eller konventionellt spår. Ett ballastspår, se Figur 1, består av en överbyggnad och en underbyggnad. Överbyggnaden består av ett plattramverk av räls och slippers som vilar i och stöds av ballast. Underbyggnaden består av underballast som vilar på en terrassyta (Esveld, 2001 och Sundquist, 1999).



Figur 1, uppbyggnaden av ett ballastspår (Sundquist, 1999)

#### 3.1.1 Terrassen

Terrassens överyta är gränssnittet mellan geoteknik och banbyggnad. Terrassen ska ha tillräckligt bra styrka och bärighet, vilket ska vara på minst  $35 \text{ MN/m}^2$ . Terrassen ska även ha en bra dräneringsförmåga för regn- och smältvatten. Det är viktigt att terrassen har bra motståndskraft mot sättningar så att det bara uppstår små deformationer. Om inte terrassen uppfyller dessa krav kan man antingen gräva diken, mekaniskt konsolidera marken eller på kemisk väg stabilisera marken. För att förebygga att terrassens material stiger och blandar sig med underballasten brukar ett materialskiljande lager av geotextil läggas på terrassytan. (Esveld, 2001 och Sundquist, 1999).

#### 3.1.2 Spårbädden

Spårbädden består utav två komponenter, ballasten och underballasten. Spårbädden har till uppgift att fördela lasten från slipparna till terrassen. Ballasten tillhör överbyggnaden och underballasten tillhör underbyggnaden (Sundquist, 1999).

#### **Ballasten**

Det finns ett antal viktiga krav som ställs på ballasten. Den ska ha en stabiliserande verkan i horisontell- och vertikalled, vara lastfördelande mellan sliper och underballast, elasticitetsgivande till spåret, vara dränerande samt ge möjlighet till justering av spårläget genom stoppning/spårriktning. Det är viktigt att ballasten har förmåga att behålla dessa



egenskaper under en lång tid och motstå nedbrytande faktorer från till exempel trafiklast och klimat (Sundquist, 1999).

Ballasten ska bestå av krossat material av hårda bergarter. Bergkrossmaterialet ska ha skarpa kanter med en kubisk form, för att få en så hög inre friktion som möjligt i materialet (Esveld, 2001 och Sundquist, 1999).

Det är viktigt med en bra ballast vid byggande och underhåll av järnvägen, Sundquist (1999) ställer följande huvudkrav på ballasten:

- rätt kornstorleksfördelning, vilket är 0/80 för underballasten och 0/40 för överballasten (Banverket 2004).
- bra kornform,
- att den ska vara kantig,
- den ska ha rätt hållfasthet
- till sist ska den dessutom vara ren.

Elasticiteten i ballasten har en stor betydelse för spåret. Är spåret för stumt påverkas det rullande materialet och sliprarna negativt medans ett för mjukt spår utmattar rälena (Corshammar, 2006).

### **Underballasten**

Underballastens funktionskrav är att fördela trafiklast, dränera spårbädden, skydda terrassen mot erosion och att hindra finpartiklar från terrassen att vandra upp i ballasten (Sundquist, 1999).

Det finns några kvalitetskrav som ställs på underballasten till följd av de ställda funktionskraven. Det är att underballasten ska ha goda dränerings- och komprimeringsegenskaper (Sundquist, 1999).

Materialet till underballasten ska bestå av krossmaterial från hårda och hållfasta bergarten med god motståndskraft mot vittring. När materialet läggs ut är det viktigt att det inte uppstår separation i materialet. Tjockleken på underballasten beror på vilket frostdjup som är aktuellt på orten, underballastens material och om det underliggande materialet består av frostaktiva jordarter eller fyllning (Sundquist, 1999).

Det materialskiljande lager som har nämnts i kapitlet ovan om terrassen är viktigt för att förhindra att material stiger upp i underballasten. Anledningen till detta är att de finare materialen skulle försvåra dräneringen av spårbädden och skulle därför få en sämre skjuvhållfasthet och större risk för frysning vilket leder till en stum konstruktion och även risk för rörelser i spårbädden (Esveld, 2001).

### **3.1.3 Rälen**

Rälen är järnvägens enskilt viktigaste komponent. Rälen är tågets farband och ska vara jämn, stabil och stark, den ska även fungera som lastbärare. Rälen har även till uppgift att leda tåget i rätt riktning utan att spåra ur. Det är viktigt att rälen har en geometriskt rätt utformning så att den kan erbjuda ett lågt rullmotstånd och att hjulen kan löpa på ett störningsfritt sätt ur komfort-

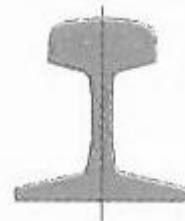
och belastningssynpunkt. Spårvidden i Sverige är 1435 mm. På en elektrifierad bana har rälen även till uppgift att fungera som elektrisk ledare (Esveld, 2001).

Rälen ska klara av att ta emot vertikala och laterala krafter från axellasten, förningskrafter, accelerations- och bromskrafter. Krafterna ska sedan föras över och fördelas till sliprarna (Esveld 2001). Rälen har livslängd på ca 30 till 40 år om den underhålls på rätt sätt (Corshammar, 2006).

Rälen står inte vertikalt utan lutar inåt mot spårmitt, i Sverige har man en lutning på 1:30 medans man i stora delar av världen istället har en lutning på 1:40 (Corshammar 2006). Anledningen till att rälen ska luta lite inåt istället för att stå vertikalt är för att motverka uppkomsten av tågans sinusgång på raksträckor. När rälen lutar in mot mitten uppstår det en kraft som vill centrera tåget till mitt emellan de två rälerna (Esveld, 2001).

### **Rälstvärsnittet**

Den vanligaste rälstypen är den klassiska vignolrälen även kallad ”flat-bottom rail” (Banverket 1998). Vignolrälen härstammar från I-balksprofilen, där den övre flänsen är formad som ett huvud i syfte att stödja och guida hjulen, se Figur 2 (Esveld, 2001).



**Figur 2, profilen av en vignolräl (Esveld, 2001)**

Det finns flera olika storlekar och varianter på Vignolrälen, där de vanligaste i Europa är UIC 54 och UIC 60. Siffran står för hur mycket rälen väger per meter. Det är bärlighetskraven som styr vilken storlek och modell av räl som används (Sundquist, 1999).

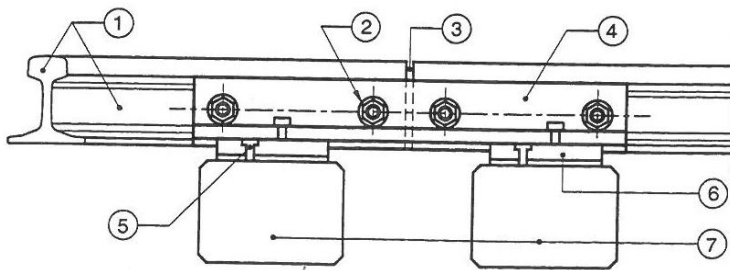
### **Räslängder**

Nyproducerade räler är normalt i längder av 40, 60 eller 80 meter. Rälerna till skarvfria spår levereras i hopsvetsade längder på upp till 400 meter (Sundquist, 1999).

### **Skarvning och svetsning av rälen**

Det finns två huvudtyper av spår, det ena är med en öppen skarv och det andra är med en sluten svetsad skarv. Skarvspåret är den äldsta typen av spårkonstruktion och används där den maximala hastigheten är högst 130 km/h. Skarvspåret är ett osäkrare spår på grund av sämre lateral styvhet och kräver dessutom mer underhåll än ett helsvetsat spår (Corshammar, 2006).

Den vanligaste typen av rälsskarvar är skruvförbandet och kallas allmänt för ”öppen rälsskarv”, se Figur 3. Det krav som ställs på skarven är att de krafter som uppstår i längdled i rälen, på grund av temperaturförändringar, ska bli rimligt stora. När rälsen byggs ser man alltid till att det finns en skarvöppning mellan de monterade rälerna. Anledningen till detta är att rälens längd ändras när temperaturen förändras och en fel skarvöppning kan leda till väldigt stora axiala spänningar (Sundquist, 1999).



Figur 3 uppbyggnaden av en rälsskarv (Sundquist, 1999)

Isolerskarv är en skarv där rälen används som ledare för elström till signalsäkerhetsanläggningar. Det finns tre olika typer av isolerskarv och användes beroende på aktuella förutsättningar. Isolerskarven förekommer både i spår med öppen skarv och i helsvetsade spår. (Corshammar, 2006 och Sundquist, 1999).

Ett svetsat spår är ett spår utan öppna skarvar där rälerna har svetsats samman till kontinuerliga rärlängder. Det helsvetsade spåret minskar underhållskostnaderna på spåret och fordonen och det ökar även passagerarnas komfort (Banverket, 1995).

Till skillnad från ett spår med öppen rälsskarv kan inte ett svetsat spår längdändras, då det inte finns något utrymme för det. För att klara den längdförändring som vill uppstå, p.g.a. temperatur och dylikt, krävs det att rälen fäst så hårt i slipern att rörelser förhindras, vilket innebär att en temperaturförändring upptas som längskraft i rälen. Det är viktigt att mäta temperaturen i spåret vid nybyggnad, underhåll och tillsyn för att kunna montera alla räler med samma spänning, då krafterna i spåret är helt temperaturberoende. Rälstemperaturen kan variera mellan  $-45^{\circ}\text{C}$  upp till  $+55^{\circ}\text{C}$  (Banverket, 1995).

### 3.1.4 Slipers

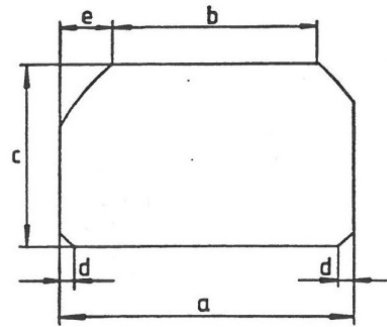
Sliprar kan tillverkas i trä, betong och stål. Träsliprar var totalt dominerande fram till början av 50-talet men det snabbt stigande priset på träsliprar gjorde att betongslipern utvecklades och nu helt dominerar vid nyproduktion. Stålslipern har bara haft begränsad användning i världen och har aldrig använts i Sverige (Statens järnvägar, 1984). Sliprarna ligger med ett CC avstånd på max 65 cm i rakspår och kurvor med en radie på över 500 meter och med CC avstånd på 60 cm i kurvor med en radie under 500 meter. Vid nyproduktion i Sverige brukar sliperavståndet 60 cm användas överallt (Banverket, 1995).

Esveld (2001) säger att sliperns uppgift är att:

- Skapa stöd och förutsättningar för rälen och för att fästa rälen i slipern
- överföra den vertikala belastningen från rälerna ner till ballasten
- upprätthålla spårläge och spårvidd
- elektrisk isolera de båda rälerna
- att hjälpa till att ta upp horisontella krafter som har orsakats av trafik och temperatur, både i längd- och sidled.

### Träsliper

Träslipern är rektangulär i formen, se Figur 4 och har mått på 155 mm x 240 mm och en längd på 2,6 meter. En träsliper väger ungefär 100 kg och kan därför placeras för hand. I Sverige har furu varit det dominerande träslaget på grund av att den goda tillgången och dess lämplighet. En sliper av furu som har blivit impregnerad har en livslängd på 25 till 30 år. En impregnerad träslipers livslängd begränsas inte av klimatpåverkan utan av den mekaniska påverkan den blir utsatt för (Esveld, 2001 och Statens järnvägar, 1984). Fördelarna med en träsliper är att den är elastisk och inte elektriskt ledande medans nackdelarna är att den har dålig nötningshållfasthet och har svårt att klara av krafterna från ett helsvetsat spår (Sundquist, 1999).

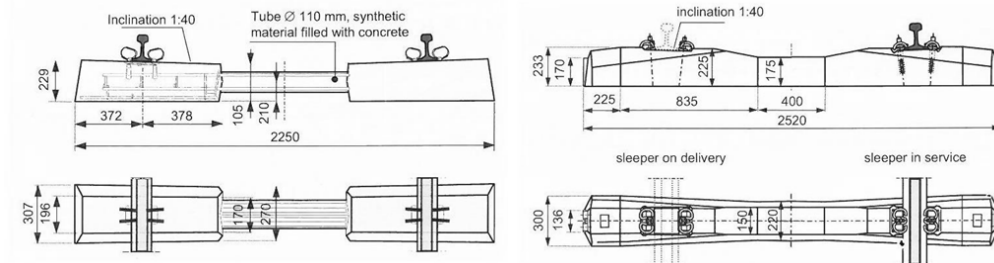


Figur 4, en träsliper i skärning (Statens järnvägar, 1984)

### Betongsliper

Betongslipern finns i två huvudtyper, den ena är en kontinuerlig sliper som kallas för enblocksliper och den andra typen är en tvåblocksliper av två betongblock med en stålprofil mellan betongblocken, se Figur 5. Fördelarna med en betongsliper är att den har en stor massa vilket ger ett bra spårårläge, den har lång livslängd, den är lätt att tillverka och har ett relativt lågt pris. Nackdelarna är att den har dålig slaghållfasthet och mindre elasticitet än trä (Esveld, 2001, Statens järnvägar, 1984 och Sundquist, 1999).

Enblockslipern är den vanligaste typen i Sverige då det har visat sig att tvåblockslipern har



Figur 5, de båda huvudtyperna av en betongsliper, t.v. en tvåblocksliper och t.h. en enblocksliper (Esveld, 2001)

problem med rälsinfästningen. Enblockslipern har dessutom bättre förmåga att ta emot högre och mer intensiva laster. Enblocksslipern kan även konstrueras med förspänd armering (Esveld, 2001 och Statens järnvägar, 1984).

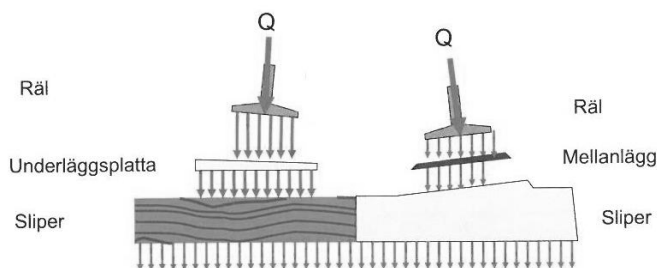
En betongsliper väger ungefär 250 kg och har en längd av 2,5 meter. Enblockslipern är förspänd till 280 till 300 kN beroende på utförande (Statens järnvägar 1984). En betongsliper har en förväntad livslängd på minst 50 år (Banverket, 2002).

#### 3.1.5 Befästningen

Befästningen har till uppgift är att överföra vertikal- och lateral spårkraft samt längsgående krafter från rälen till slipern, krafter som uppstår vid temperaturförändringar och när fordon antingen accelererar eller retarderar. Befästningen har även till uppgift att förhindra rälsvandring och rälsvältning, den ska även bibehålla den önskade spårvidd och förhindra utknäckning av

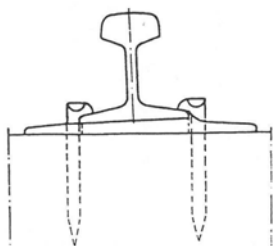
rälen. Befästningen har även till uppgift att fungera som elektrisk isolering mellan räl och sliper. (Corshammar, 2006 och Sundquist, 1999).

Det som ingår i benämningen befästning är förutom själva befästningsanordningen även underläggsplatta eller mellanlägg samt en isolator, se Figur 6. Mellanlägget används mellan räl och betongsliper och har till uppgift att dämpa vibrationerna och impulslaster som uppstår vid tågpassager som annars hade lett till att betongen spruckit eftersom den inte är tillräckligt elastisk. En träsliper har tillräcklig elasticitet och större förmåga att ta hand om de uppkomna vibrationerna men har istället sämre ythårdhet än en betongsliper. För att minska yttrycket använder man underläggsplattor av stål så att kontaktarean mot träslipern ökar. Isolatorn har till uppgift att förhindra att spårledningen inte kortsluts av fukt eller krypström mellan rälena (Corshammar, 2006).

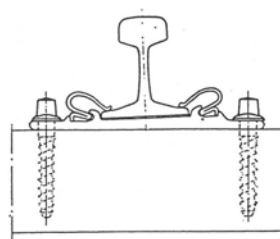


Figur 6, en underläggsplatta på en träsliper och en mellanlägg på en betongsliper (Corshammar, 2006)

Befästningar brukar delas in i direkta eller indirekta befästningar och sedan i fjädrande eller ofjädrande befästningar. I en direkt befästning är rälen och den eventuella underläggsplattan fixerad direkt till slipern med fästnanordningen. I en indirekt befästning fäster rälen mot underläggsplattan/mellanlägget med en speciell fästnanordning och underläggsplattan/mellanlägget fixeras sedan till slipern med en annan fästnanordning. Fördelen med en indirekt fästnanordning är att underläggsplattan/mellanlägget inte behöver lösgöras från slipern vid rälsbyte och att underläggsplattan kan monteras i förväg. En rälsspik är ett exempel på en direkt ofjädrande befästning, se Figur 7 och en Hey-Back befästning, se Figur 8 är exempel på en indirekt fjädrande befästning, (Esveld, 2001). Nackdelarna med rälsspik är att den vid höga axellaster mister kontakten med rälen och bara klarar av att fixera rälen i sidled, medans en indirekt fjädrande befästning som till exempel Hey-Back befästningen klarar av att fixera rälen både i längs- och sidled (Corshammar, 2006).



Figur 7, en spikbefästning (Statens järnvägar, 1984)



Figur 8, en Hey-Back befästning (Statens järnvägar, 1984)

## 3.2 Beskrivning av fixerade spår (ballastfria spår)

### 3.2.1 Förekomst och historia

I dagsläget är större delen av all järnväg i världen byggd med traditionella ballastspår, men dagens utveckling går mot att fler järnvägsspår byggs med fixerade spår. Vanligtvis byggs de fixerade spåren i höghastighetsnäten, spårvägar och dylikt (s.k. light rail system), på broar och i tunnlar (Esveld, 2001). Det finns stora skillnader på hur olika länder väljer att bygga sina höghastighetsspår. I länder som Tyskland, Holland och Kina bygger man stora delar av sin höghastighetsjärnväg med fixerade spår medans man i till exempel Frankrike, Italien och Spanien bygger sin höghastighetsjärnväg på ballastspår (Nyström och Prokopov, 2010).

De första höghastighetstågen började köra i Japan 1964 på vanliga ballastspår. Efter ett tag ökade skadorna på spåren till en följd av ökande trafik. Detta tillsammans med behov av bland annat ett spår med mindre underhåll och önskan om kortare tid att disponera för underhåll nattetid, gjorde att japanerna konstruerade ett fixerat spår med mindre underhållsbehov. I Japan började de första fixerade spåren användas redan 1975. Där används de fixerade spåren oftast på viadukter, broar och i tunnlar. Utvecklingen i Japan är att större delen av den nybyggda höghastighetsjärnvägen byggs med fixerat spår (Nyström och Prokopov, 2010).

I Tyskland började utvecklingen av fixerade spår på 1970-talet med bland annat systemen Rheda och Züblin. Systemen har haft en kontinuerlig utveckling sedan dess (Esveld, 2001).

Rheda 2000 är en vidareutveckling av Rheda systemet och installerades första gången i juli 2000 på höghastighetssträckan mellan Leipzig och Halle. Systemet har sedan dess installerats på flera sträckor i Europa och Asien. En del av sträckor är bara delar av linjen installerad med Rheda 2000 och på andra linjer är hela sträckan installerad med Rheda 2000 (Rail.One, 2010).

Max Bögl började utveckla fixerade spår på 1970-talet i Tyskland. Systemet har kontinuerligt utvecklats sedan det byggdes för första gången 1977. Det finns idag byggda linjer med FF Bögl bland annat i Tyskland och Kina. I Tyskland är hastighetsbegränsningen 330 km/h och i Kina byggs en linje mellan Beijing och Shanghai, med trafikstart i slutet av 2011, som kommer att ha en topphastighet på 380 km/h (Max Bögl, 2010).

Roger Sonnevile började under 1960-talet utveckla det som var föregångaren till dagens LVT system. Dagens LVT system har utvecklats från tvåblockssliprar för vanligt ballastspår. Systemet finns installerat i tre av världens fyra längsta järnvägstunnlar (Sonneville, 2010b).

Edilon Coreklast Embedded Rail System installerades första gången i Nederländerna på 1970-talet. Systemet utvecklades först till att användas i plankorsningar och har under tidens gång utvecklats att även användas på broar, tunnlar, spårvägar och till höghastighetsjärnvägar (de Man, 2010).

### 3.2.2 För- och nackdelar

De huvudsakliga fördelarna med fixerade spår gentemot ballastspår är att underhållskostnaderna är betydligt lägre för det fixerade spåret och att spåret har en högre stabilitet (Esveld, 2001).

Esveld (2001) anger följande fördelar med fixerat spår:

- Det fixerade spåret är i stor utsträckning underhållsfritt. Underhållsarbete som till exempel kompaktering, rengöring av ballasten och spårjustering behövs inte genomföras. Underhållskostnaderna för ett fixerat spår anges ofta till 20 - 30 % av kostnaderna för ett ballastspår.
- Livslängden för det fixerade spåret är längre än livslängden är för ett ballastspår. Livslängden antas vara 60 år eller längre för ett fixerat spår (Esveld 2001 och Nyström & Prokopov, 2010).
- Tillgängligheten till spåren blir stor när det inte behövs speciellt mycket tid för nattligt underhållsarbete.
- Det blir inget ballastsprut från förbipasserande höghastighetståg.
- Minskar konstruktionens höjd och vikt.

De stora nackdelen med ett fixerat spår i förhållande till ballastspår är enligt Esveld (2001) följande:

- Ett fixerat spår har högre anläggningskostnad än vad ballastspår har.
- Bullerstörningarna från ett fixerat spår kan vara högre än från ett traditionellt ballastspår.
- Om det fixerade spåret behöver justeras mycket i sin position krävs det mycket arbete för att genomföra denna förändring.
- Anpassningsförmågan till stora sättningar i underbyggnaden är väldigt dålig.
- Vid en urspårning kommer återställningsarbetet att ta mycket mer tid och kräva en större arbetsinsats.
- Det krävs stor noggrannhet och uppmärksamhet vid övergången mellan ett fixerat spår och ett ballastspår.

### 3.2.3 System för fixerat spår

Det finns sex huvudtyper av fixerade spår, se Tabell 1. Varje huvudtyp kan sedan bedömas om den har en hög eller låg böjstyvhet, se Tabell 2. Ett fixerat spår med låg böjstyvhet är helt beroende av den underliggande jordens bärcapacitet och böjstyvhet. En överbyggnad med prefabricerad eller monolistisk platta klarar knappt av att utsättas för något böjmoment alls. När det är opålitliga och lösare jordarter kan en förstärkt platta med högre böjstyvhet och extra styrka användas. Den förstärkta plattan kommer kunna fungera som bro vid de svagare partierna och de lokala deformationerna i överbyggnaden (Esveld, 2001).

Underhåll av fixerat spår – erfarenheter från Europeiska och Japanska system

**Tabell 1** En överblick av olika konstruktionsmetoder för fixerade spår, där de system som behandlas i rapporten är fetmarkerade (Esveld, 2001)

Fixerat spår					
Åtskilda stöd				Kontinuerligt stöd	
Med sliper eller block		Utan sliper			
Slipern eller block inbäddad i betongen	Sliper på toppen av en asfaltsbetong-plattform	Prefabricerad betongplatta	Platsgjuten betong utan sliprar (används på konstbyggnader)	Inbäddad räl	Räl som är hopklämd och med kontinuerligt stöd
Rheda classic <b>Rheda 2000</b> Züblin <b>LVT</b>	ATD GETRAC	<b>Shinkansen</b> <b>FF Bögl</b>	Fastgjutna spår på konstbyggnader	<b>Edilon</b> Balfour Beatty	CoconTrack ERL Vanguard KES

**Tabell 2**, styvhet för olika konstruktionsmetoder (Esveld, 2001)

Fixerat spår	Böjstyvhet	
	Låg	Hög
Slipern eller block inbäddad i betongen	<----->	
Sliper på toppen av en asfaltbetongplattform	<---->	
Prefabricerad betongplatta	<----->	
Platsgjuten betong utan sliprar (används på konstbyggnader)	<----->	
Inbäddad räl	<----->	
Räl som är hopklämd och med kontinuerligt stöd	<----->	



### **Slipern eller block inbäddad i betongen**

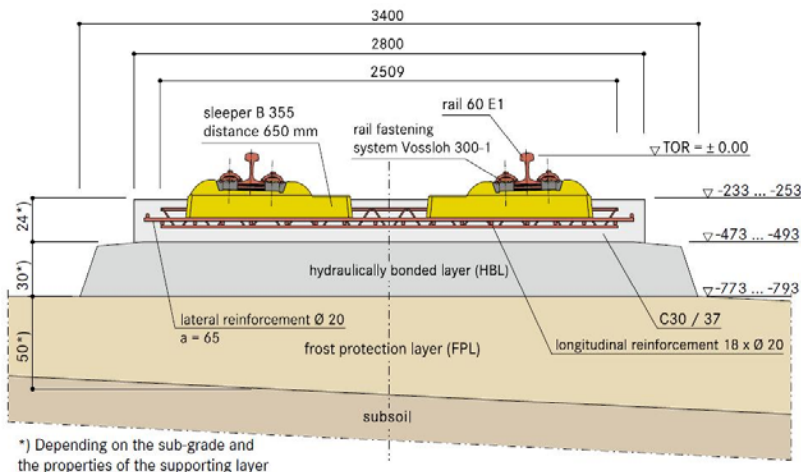
Konstruktionslösning med att bädda in slipern eller blocket i betongen är väldigt vanlig på Tysklands nya höghastighetsbanor. Generellt beskrivs konstruktionsmetoden att slipern gjuts in i betong direkt på en betongplatta eller i ett betongtråg. Om det placeras en gummisula under eller som innesluter slipern eller det enskilda blocket uppnår man en högre elasticitet. Med en högre elasticitet minskar oönskat buller och vibrationer (Esveld, 2001). De två system med inbäddade block som kommer att beskrivas är Rheda 2000 och LVT.

#### **Rheda 2000**

Rheda 2000 är ett tvåblockssystem där blocken är ingjutna i en förstärkt betongplatta som är gjuten i ett steg. Mellan blocken finns det fackverksarmering som har till uppgift att ta hand om stabiliteten vid transport och konstruktion och för att få en effektiv inbäddning vid gjutning (Rail.One, 2010).

Rheda 2000 systemet, se Figur 9, installeras som ett uppifrån- och nersystem där toppen och inre kanten av rälen är referensyta. Detta gör man för att uppnå högsta möjliga precision på spårets geometri. Detta innebär att räl och monoblocken är monterade i rätt position innan betongplattan gjuts. Denna teknik gör det möjligt att neutralisera de oundvikliga avvikelserna i spårets komponenter (Esveld, 2001). När Rheda 2000 systemet byggs på järnvägsbank är den kontinuerliga plattan konstruerad för att det ska bildas sprickor i plattan (Rail.One, 2010).

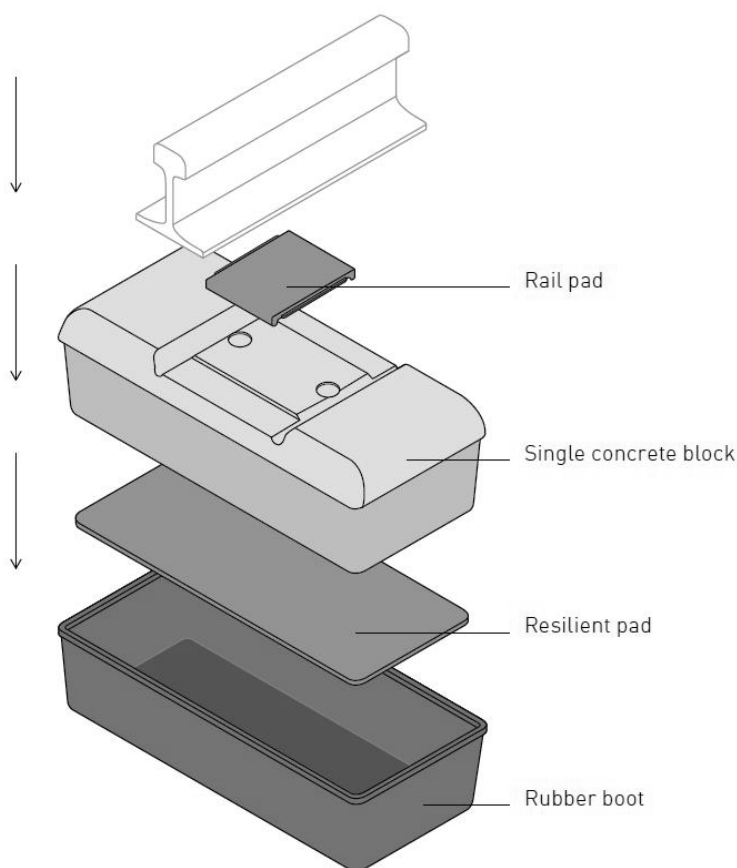
Systemet kräver att det inte uppstår några sättningar i systemet då armeringsjärnen är koncentrerade till centrum av betongplattan med huvuduppgift att reglera sprickvidden och överföra sidokrafter och inte att skapa en styv platta (Esveld, 2001).



**Figur 9, uppbyggnaden av Rheda 2000 systemet (Rail.One, 2010)**

### LVT

Low vibration track (LVT) är ett system från Sonneville AG som har sitt säte i Schweiz. LVT systemet är uppbyggt med två stycken armerade blocksliprar som är omgivna av oarmerad betong. För blockets uppbyggnad se Figur 10. Det finns inga speciella krav på befästningssystem mer än en elastisk mellanlaggsplatta används. Den elastiska plattan som ligger under betongblocket har till uppgift att minska inverkan från lågfrekventa vibrationer och den elastiska mellanlaggsplattan skyddar mot högfrekventa vibrationer (Sonneville, 2010a). Runt betongblocket och den elastiska plattan finns en gummigalosch som har till uppgift att separera betongblocket från betongplattan (Sonneville, 2009a).



**Figur 10, uppbyggnaden av ett block för LVT systemet från Sonneville (Sonneville, 2010a)**

### **Prefabricerad betongplatta utan sliper**

Prefabricerade spår utan sliper har fästansordningen monterad direkt i den prefabricerade betongplattan. Fördelarna med prefabricerade betongdäck är enligt Esveld (2001):

- Högre grad av mekaniserad produktion
- Mindre arbetskostnad på plats
- Rälerna kan direkt anpassas och fixeras
- Mindre risk för problem på grund av misstag från arbetare
- Lättare att reparera och renovera.

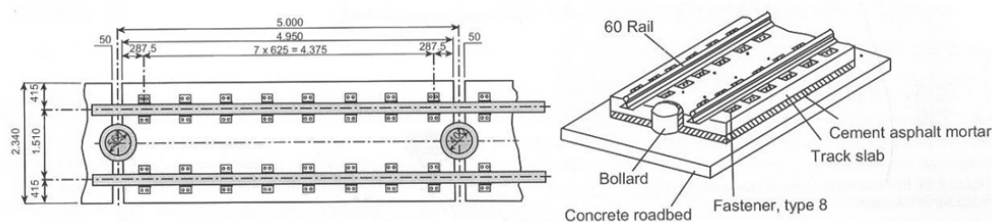
De system med prefabricerad betongplatta som beskrivs närmare är Japanska Shinkansen slab track och tyska FF Bögl.

### **Shinkansen slab track**

Shinkansen slab track består och tillverkas i tre huvuddelar. Det prefabricerade betongplattan består av räler, fästsystem och en betongplatta. Betongplattan är gjord av antingen armerad betong eller förspänd armerad betong. Underbyggnaden är antingen cementstabiliserat friktionsmaterial, del av bro eller tunnelkonstruktionen. Ur underbyggnaden sticker det upp 200 mm höga cirkulära pollare med ett CC avstånd på 5 meter och med en diameter på 400 - 520 mm, som har till uppgift att förhindra att betongplattan flyttar sig i längs- och sidled, se Figur 11 (Ando et.al, 2001).

Betongplattan monteras på plats mellan pollarna och på rätt höjd en bit ovanför underbyggnaden. I tomrummet under och mellan betongplattorna injekteras ett cementasfaltbruk som kallas för CAM (cement asphalt mortar), detta bruk har till uppgift att justera höjden på plattan och dess elastiska stöd. (Esveld, 2001).

Dimensionerna på den prefabricerade betongplattan är 2220mm - 2340mm bred, 4900mm - 4950mm lång, 160mm - 200mm tjock och väger ungefär 5 ton (Ando et.al, 2001).



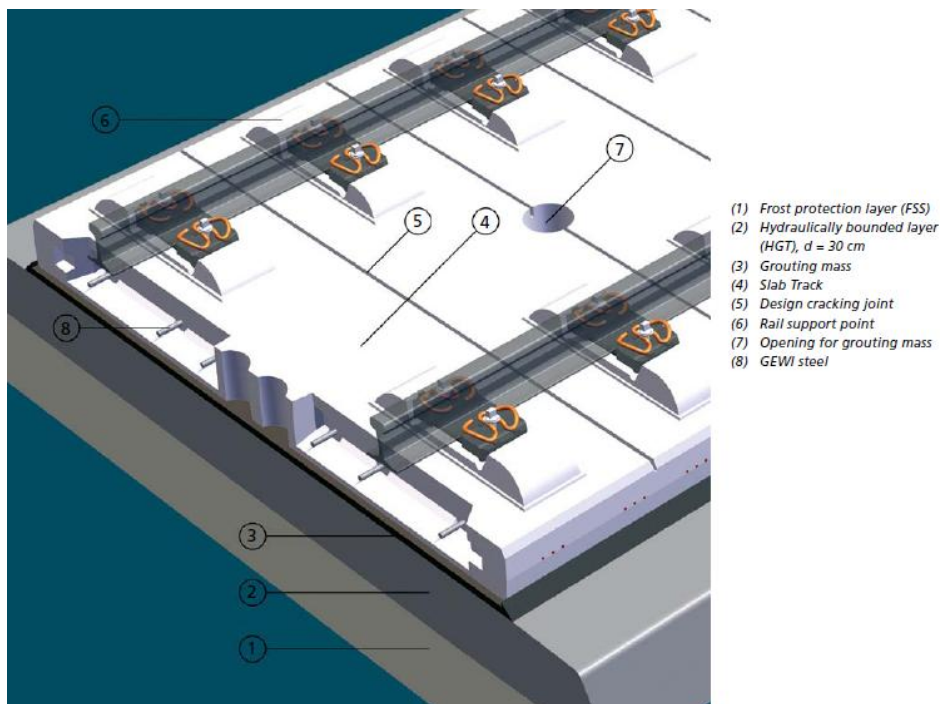
**Figur 11, utformningen av Shinkansen slab track (Esveld, 2001)**

### FF Bögl

Bögls system för fixerade spår, FF Bögl har många likheter med Shinkansens system för fixerade spår. Det som skiljer systemen åt är storleken på betongplattan och armeringen. Betongplattan är 20 cm tjock, 6,45 m lång och 2.55 m eller 2,8 m bred. I sidled är det förspänd armering medans det i längdled är vanlig traditionell armering. Det finns sex inbyggda höjdjusteringsanordningar som kallas för ”Spindles” som snabbt och enkelt kan justera betongplattans läge. (Esveld, 2001).

Marken där spåret ska byggas stabiliseras och täcks sedan med ett frostskyddande lager, se Figur 12. Ovanpå det frostskyddade lagret byggs antingen ett hydrauliskt skyddande lager kallat för HGT eller ett baslager av armerad betong, BTS. När underbyggnaden är färdigproducerad placeras de prefabricerade betongdäcken på plats. Det är ett mellanrum på 5 cm mellan betongplattorna och även ett litet mellanrum mellan betongplattan och underbyggnaden. Dessa utrymmen skapas med hjälp av ”spindles”, utrymmet fylls sedan med ett injekteringsbruk bestående av bitumen och cement (Max Bögl, 2010).

Till skillnad från Shinkansen slab track finns det inte några stående pollare mellan varje platta i FF Bögl systemet, utan här är det bara friktionskrafterna mellan betongplattan, injekteringsbruket och baslagret som ska motverka rörelser i längs- eller sidled (Esveld, 2001).



Figur 12 visar konstruktionen av systemet FF Bögl, källa Max Bögl (2010)

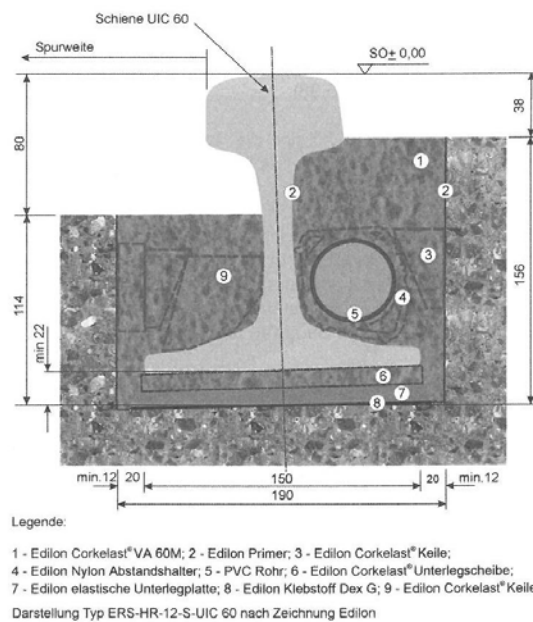
### Rälsen är inbäddad i betongplattan

Uppbyggnaden av denna modell av fixerat spår kännetecknas av att rälen är inbäddad i plattan och har ett kontinuerligt stöd. Rälen fixeras av ett elastiskt material som omger nästan hela rälen förutom räls huvudet. Spårtypen klarar av att leverera till hela skalan från spårväg upp till höghastighetsspår (Esveld, 2001). Det system med inbäddad räls som kommer att beskrivas är Edilon Corkelast Embedded Rail System.

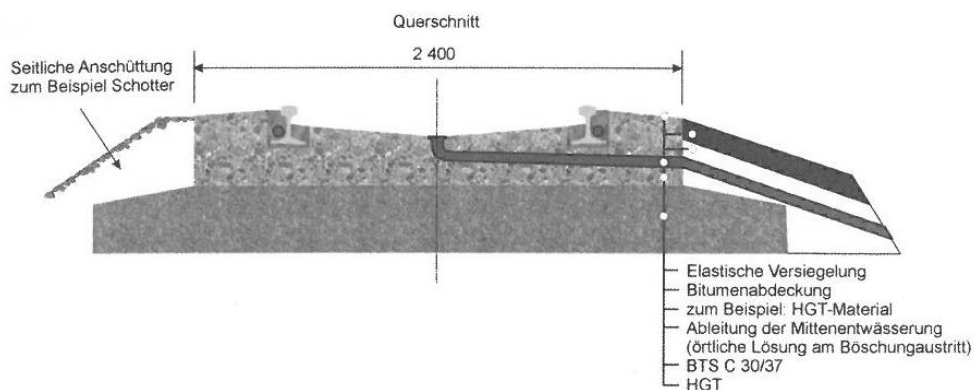
### Edilon Corkelast Embedded Rail System

Det som är speciellt med Edilons Embedded Rail (ERS) är att rälen ligger inbäddad i en ränna. Systemet är klassificerat som medelstvt med en nedböjning på en till två millimeter vid normalt axeltryck (EdilonSedra, 2008b). Det är själva systemet hur rälen är inbäddad i en ränna som kallas för Edilon Corkelast Embedded Rail System, hur rännan är uppbyggd kan variera. Rännan kan finnas i en betongplatta som antingen är platsgjuten eller prefabricerad, den kan även vara av stål och vara en del av en stålkonstruktion i en bro, se Figur 14 (Frantzich, 2010).

Materialet som ligger runt rälen kallas för Corkelast och blandas till på plats och hålls sedan ner i rännan vid installation av systemet. Figur 13 visar uppbyggnaden av Edilons ERS i en ränna (EdilonSedra, 2008b)



Figur 13, uppbyggnaden av Edilon Corkelast Embedded Rail System (Darr och Fiebig, 2006)



Figur 14, ett exempel på en uppbyggnad av en hel platta med Edilon ERS i en ränna (Darr och Fiebig, 2006)

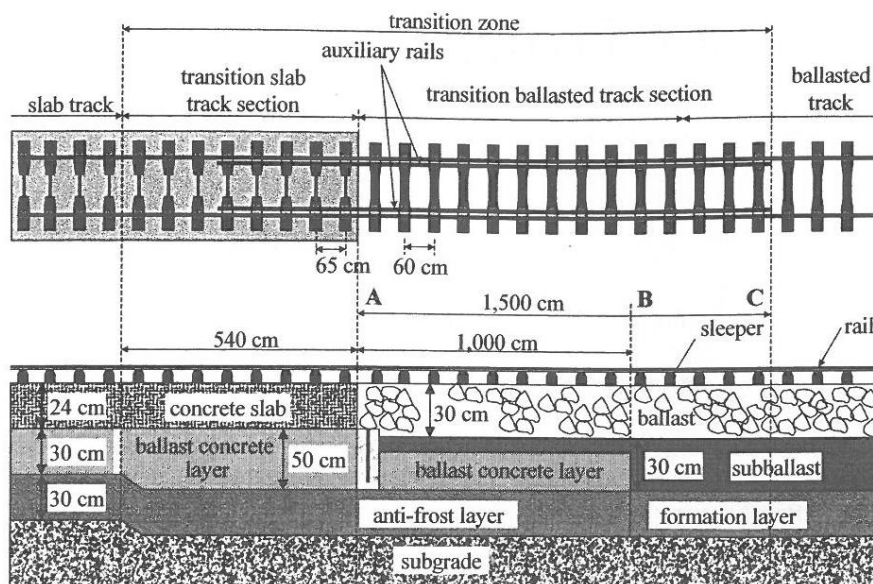
### 3.3 Övergångszonen

Anledningen till att övergångszonen beskrivs i ett eget avsnitt är för att det är det fixerade spårets svagaste länk. Det behövs ha en djupare förståelse hur en övergångszon kan byggas upp vid vidare läsning.

För att minimera risken att det uppstår fel vid övergången mellan de två olika konstruktionstyperna byggs en övergångszon på drygt 20 meter. Varje tillverkare och system har egna metoder för hur övergångszonen byggs (Profillidis, 2006). Övergångszonen måste klara av att överföra krafter som uppstår från trafiklast och temperaturförändringar på ett jämt och mjukt sätt. Det kan uppstå problem till följd av att det är olika konstruktionshöjd mellan byggnadsmetoderna (Esveld, 2001).

En övergångszons uppbyggnad förklaras här närmare med hjälp av ett exempel på en typ av övergångszon som används i Rheda 2000 systemet. Profillidis (2006) beskriver övergången som visas i Figur 15 med hjälp av fem punkter:

- Övergångszonen har en sektion med ballastspår och en sektion med fixerat spår.
- I sektionen för fixerat spår ökar tjockleken på det hydrauliskt bundna lagret (i Figur 15: ballast concrete layer) från 30 till 50 cm.
- I sektionen för ballastspår, är ballasten fixerade till varandra med ett lim. I sektionen AB är stora delar av underballasten ersatt med en förlängning av det fixerade spårets hydrauliskt bundna lager, medans underballasten är förlängd i sektion BC.
- Två extra räler är placerade innanför de vanliga rälerna i hela övergångszonen.
- Det frostskyddande lagret är förlängt in i ballastsektionen.



Figur 15, en metod för att konstruera övergångszonen mellan ballastspår och fixerat spår (Profillidis, 2006).

## 4 Resultat

### 4.1 Underhåll Shinkansen

Yokoyama (2008) beskriver att de vanligaste underhållsåtgärder de behövt göra på det fixerade spåret på linjen mellan Tohoku och Jyoetsu varit följande:

- Spårjustering av långvågiga spårlägesfel i rälerna.
- Reparationer av sprickor i lagret med CAM (cement asphalt mortar).

#### 4.1.1 Spårjustering

Justeringarna av spåret baseras på information som är insamlade av ett inspektionsfordon som kallas för "East-i" som inspekterar spåren var tionde dag (Yokoyama, 2008). I intervjun med Yokoyama framkom det att East-i håller samma hastighet som övriga tåg som trafikerar spåren, det vill säga 270 km/h. Informationen om spårläget som samlas in av East-i, bearbetas sedan i ett datasystem som beräknar vilka justeringar som behövs genomföras för att rätta till spåret. Minsta spårjusteringen som är möjlig att genomföra är på  $\pm 1$  mm. Beräkningsresultaten för justeringarna som ska genomföras laddas över i ett kort som kallas för "IC-card", korten sätts sedan in i den maskin som ska utföra arbetet (Yokoyama, 2008).

För att justera spåret i sidled används en maskin som kallas för Track Liner (TL), se Figur 16. Maskinen och dess operatör utför de spårjusteringarna i sidled som finns instruerade i IC-kortet. De vertikala justeringarna av spåret måste dock i stor utsträckning utföras för hand, se Figur 17. För att göra de vertikala justeringarna använder man speciella kuddar som innehåller ett specialmaterial. Det speciella materialet blandas i ordning på arbetsplatsen och som sedan gradvis blir styvare för att klara av att ta upp de uppkomna krafter som belastar kudden. (Yokoyama, 2008).

Yokoyama (2010) berättade att i Japan behöver de banförvaltande företagen justera ungefär 5 % av den samlade spårlängden varje år. Ett arbetslag klarar av att justera ungefär 200 meter spår under de nattliga dispositionstiderna.



Figur 16, det Japanska spårjusteringsfordonet Track Liner (Yokoyama, 2007)



Figur 17, vertikal justering utförs förhand, (Yokoyama, 2007)

#### 4.1.2 Sprickor i cementasfaltsbruket

Det andra problemet som är vanligt hos Shinkansens system för fixerade spår är att det blir sprickor i cementasfaltsbruket det s.k. CAM (cement asfalt mortar). Sprickorna uppstår när bruket blir utsatt för återkommande frysning och tining, se Figur 18. (Yokayama, 2008).



Figur 18, hur sprickbildning i cementasfaltsbruket under plattan (Yokoyama, 2007)

För att reparera skadorna i det uppspruckna bruket använder japanerna ett speciellt material av harts som är förstärkt med glasfiberarmering som hålls ned i mellanrummet mellan en monterad träram och det skadade bruket, se Figur 20, Figur 19 och Figur 22 (Yokoyama, 2008).

När cementasfaltsbruket är reparerat med det speciella harts materialet är det väldigt ovanligt att det behöver repareras igen. Det blir väldigt motståndskraftigt mot den nedbrytande processen vid nedfrysning och upptining (Yokoyama, 2010).

Vid ett pass med normala disp. tider vid nattliga underhållsarbetet klarar ett arbetslag av att reparera det uppspruckna cementasfaltsbruket under fem stycken betongplattor (Yokoyama, 2010).

Efter att kostnaderna för att laga det uppspruckna bruket har ökat, har japanerna utvecklat konstruktionen och ändrat konstruktionen med bruket. De kallar den nya metoden för "long tube method" och innebär att brukets yttre kant är indragen 50 eller 70 mm i förhållande till betongplattans kant, se Figur 21. Anledningen är för att förhindra att det uppstår sprickor när den blir utsatt för återkommande upptining och frysning (Yokoyama, 2008).





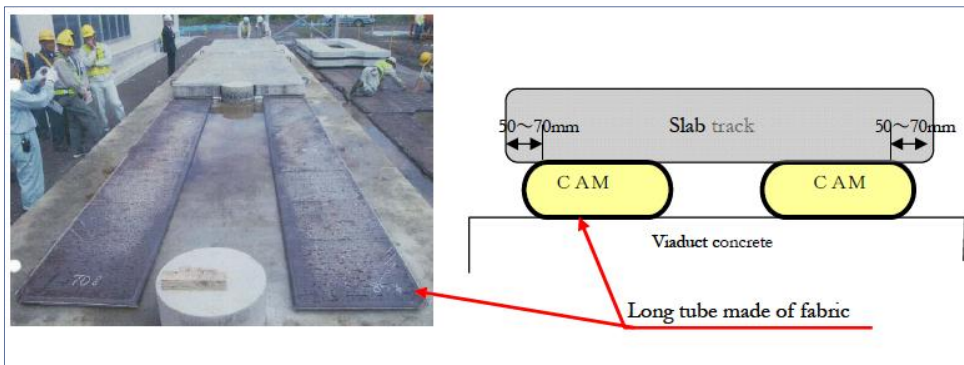
Figur 20, montering av träramen innan gjutning av hartsprodukten (Yokoyama, 2007)



Figur 19, en arbetare som håller i det speciella harts materialet med glasfiber (Yokoyama, 2007)



Figur 22, färdigt resultat efter reparation av bruket med den speciella hartsblandningen (Yokoyama, 2007)

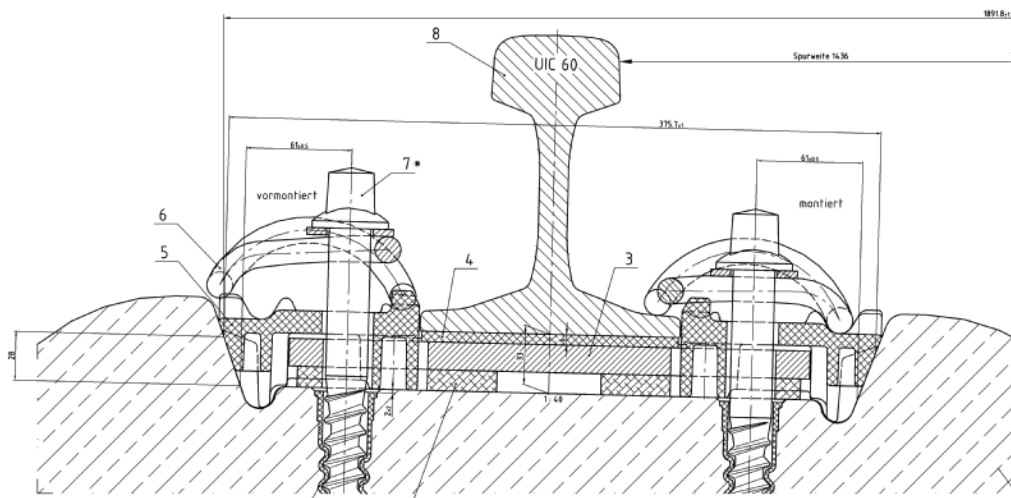


Figur 21, den förbättrade konstruktionen för att förhindra problemen med frysning och tining av cementasfaltsbruket (Yokoyama, 2007)

## 4.2 Erfarenheter från Tyskland och för äldre tyska system

### 4.2.1 Befästning

Enligt Stolz (2010) använder de i Tyskland rälsbefästningar från Vossloh kallat för System 300 på linjer med systemen Rheda 2000 och FF Bögl. I denna befästning finns det mellanliggande plattor av elastomerer precis under rälen, se nr 4 i Figur 23 nedan. I produktinformationen från Vossloh (2010) beskriver de att plattan är väldigt elastisk och har till uppgift att vara ett substitut för den elasticitet som finns i en vanlig ballastbädd. Stolz (2010) berättar att det på en linje de byggde i början av 90-talet, fick de problem med att elastomeren efter drygt 15 år började bli styvare och därmed tappade sin funktion som det elastiska materialet i konstruktionen. Stolz (2010) berättade att de därför blev tvungna att byta ut plattorna av elastomererna på denna linjen.



Figur 23, uppbyggnaden av Vosslohs befästning System 300 (Stolz, 2010)

Knittel (2010) berättar om samma problem som beskrivs ovan med att äldre varianter av underläggsplattor blir styvare. Han berättar att problemet uppstår med underläggsplattor som består av vanligt gummi därför att oljan i gummit läcker ut och förångas. Alternativet är att använda underläggsplattor av polyuretan eller microcellulargummi som kostar en eller två euro mer än den vanliga underläggsplattan av gummi. Knittel (2010) säger att det kan fungera att använda de gamla plattorna utifall man har lite trafik och därmed har större möjligheter att stoppa trafiken för att genomföra bytet. Men Knittel (2010) rekommenderar starkt att använda de lite dyrare plattorna eftersom man snabbt kommer att tjäna in den lilla extra kostnaden genom att slippa göra bytet av underläggsplattan.

Enligt Stolz (2010) är att arbeta med att byta elastomererna ett väldigt komplicerat arbete. Arbetarna måste först släppa på befästningarna och sedan lyfta upp rälen för att sen kunna byta ut plattan av elastomeren.

Stolz (2010) berättar vidare att arbetet med att byta ut elastomererna pågår nattetid under flera veckor och är väldigt tidskrävande. Dock behöver inte spåren stängas under dagtid utan arbetet kan utföras under de vanliga dispositionstiderna för underhåll nattetid.

#### 4.2.2 Äldre system

I några av de äldre varianterna av system för fixerade spår där överbyggnaden består av ett betongtråg, monoblock-sliprar och platsgjuten betong, som till exempel Rheda Classic (Esveld 2001), har de enligt Stolz (2010) haft problem med att sliprarna varit ofixerade gentemot den gjutna betongen, se Figur 24. Ett annat problem som också uppstod för denna konstruktionstyp är att det uppstod sprickor mellan betongtrågen och platsgjutna betongen, se Figur 25. För att laga problemet med att slipern blir ofixerad mot den gjutna betongen använder man epoxiharts, se Figur 26.

Enligt Stolz (2010) är det väldigt ovanligt att problemen uppstår när banan är i bruk, utan de uppstår oftast direkt efter att banan byggts. Problemen påverkar därför oftast inte driften av banan. I de få fallen när de ändå uppstår i ett senare skede, klarar de av att åtgärda felen under de vanliga disp. tiderna nattetid. Stolz (2010) nämner även att de kan behöva sänka hastigheten på tågen den första tiden för att försäkra sig att materialen de har använt för att åtgärda problemen verkligen kan stelna ordentligt.

Dessa problem som uppstod för de äldre systemen är enligt Stolz (2010) inte något som uppkommer för de nya modernare systemen Rheda 2000 och FF Bögl. Anledningen till detta är för att de är konstruerade på annorlunda sätt, Rheda 2000 tillverkas med två blocks-sliprar och FF Bögl är konstruerad utan sliprar och inget av systemen byggs med ett betongtråg.



**Figur 24, en monoslipper som är ofixerad mot betongen i Rheda Classic (Stolz, 2010)**



**Figur 25, sprickor mellan betongtråget och platsgjutna betongen i Rheda Classic (Stolz, 2010)**



**Figur 26, hur en lagning av en ofixerad slipper med hjälp av epoxiharts (Stolz, 2010)**

### 4.2.3 Spårslipning

Spårslipningen på de tyska höghastighetsbanorna är enligt Stolz (2010) relativ regelbunden, men beror även på rälets kondition. Tyskarna slipar spåren ungefär två gånger per år med Vosslohs HSG (HighSpeedGrinding) som slipar spåren med en hastighet av 80 km/h.

### 4.3 Erfarenheter från Rheda 2000

Nawrat (2010) berättar att de system som är föregångare till Rheda 2000 systemet som Rail.One byggde för mer än 40 år sedan fortfarande håller god kvalitet och har samma funktionalitet som de hade direkt efter byggnationen. Under årens gång har betongens egenskaper inte försämrats speciellt mycket utan det är mest dess utseende som har förändras och ser inte längre lika bra ut som den en gång gjorde. Spåren är dock inte underhållsfria, de har fått slipa spåren med jämna mellanrum.

Banöverbyggnaden dimensionerades för en livslängd på 60 år och Nawrat(2010) tror inte att det kommer vara några problem att uppnå dessa 60 år. Han tror i själva verket att dessa banöverbyggnader kommer att klara sig längre än vad de är dimensionerade för.

#### 4.3.1 Inspektioner

I intervjun berättar Nawrat (2010) vidare att i Tyskland är inspektionsintervallerna för fixerade spår detsamma som för konventionella ballastspår. I dagsläget utreder Rail.One möjligheterna att förlänga tiden mellan inspektionerna, vilket även den tyska infrastrukturförvaltaren av den järnvägen Deutsche Bahn har ett intresse av. Anledningarna till att de funderar på en förändring av inspektionsintervallet är för att de anser att de fixerade spåren har en högre kvalitet och att nedbrytningen går långsammare i jämförelse med ballastspår.

Nawrat (2010) poängterar dock att alla infrastrukturförvaltare kommer vara väldigt försiktiga och noggranna innan de tar ett beslut att genomföra en förändring av inspektionsintervallet. Anledningen till detta är för att kvaliteten på järnvägen är direkt kopplad till säkerheten och att säkerheten alltid kommer i första hand.

Det enda förebyggande underhållet enligt Nawrat (2010) är att förhindra att det växer något på banan. För att förhindra ogrästillväxt besprutas banan med kemikalier.

De äldre växeltyperna behöver regelbunden tillsyn och smörjning men enligt Nawrat (2010) är de nya modellerna av växlar smörjningsfria.

#### 4.3.2 Sprickor

Nawrat (2010) berättar att Rheda 2000 är ett system som är konstruerat för att det ska uppstå sprickor i betongplattan. Armeringen i betongplattan har till uppgift att jämt fördela sprickorna över hela betongplattan och till att begränsa bredden på sprickorna. Enligt DB systemteknik (2002) är den största tillåtna sprickvidden 0,5 mm i betongplattans yta. Nawrat (2010) säger att det inte är speciellt vanligt att sprickorna i betongplattan överstiger gränsvärdet. De flesta av de sprickor som ändå överstiger detta uppstår oftast strax efter byggnationen och de åtgärdas innan järnvägen tas i bruk.

Nawrat (2010) berättar att det inte är något speciellt bruk som behövs för att försegla sprickorna utan det finns flera olika alternativ på marknaden av flytande bruk. Stolz (2010) berättar att på DB använder de ett bruk som de kallar för ”epoxidhartz”, epoxiharts på svenska, för att försegla

sprickorna som är bredare än 0,5 mm. Nawrat (2010) beskriver jobbet med att försegla sprickor som ett ganska enkelt jobb. Sprickorna behöver inte förbehandlas genom att till exempel först utvidgas utan det är bara att fylla sprickorna med förseglingsmaterialet. Att åtgärda uppkomna sprickor är inget som påverkar driften av banan, både Stolz (2010) och Nawrat (2010) berättar att åtgärderna kan göras under de vanliga disp. tiderna. Enligt Nawrat (2010) åtgärdar de en spricka åt gången och en spricka tar cirka 30 minuter att åtgärda.

Om det uppstår sprickor som är större än 0,5 mm och som inte täpps igen och istället tillåts bli större, finns det enligt Nawrat (2010) en risk att det läcker in vatten i betongplattan. Vattnet som läcker in i kan leda till en oönskad nedbrytning av betongplattan. Vattnet tillsammans med kyla kan leda till att betongen spricker upp mer än önskvärt och vattnet kan angripa armeringen och leda till korrosion.

#### **4.3.3 Sättningar**

Nawrat (2010) tycker inte att sättningar är ett speciellt stort bekymmer för en färdigbyggd linje för höghastighetståg. Anledning till att det inte oroar honom speciellt mycket är att de är väldigt noga i projekterings- och byggfasen med att förbereda undergrunden väl. Nawrat (2010) berättar att de aldrig går vidare med byggnationen av överbyggnaden förrän de känner sig säkra på att de kommer att få sättningar som är mindre än 20 mm. De sättningar som uppstår och är mindre än 20 mm kan justeras av befästningen. I produktinformationen från Vossloh (2010) skriver företaget att System 300 som används till bland annat Rheda 2000 kan justeras 60mm i höjled och 16 mm i sidled. Justeringarna utförs med hjälp av mellanläggsplattor.

Nawrat (2010) säger att det finns skillnader även mellan de mindre sättningarna. En mindre sättning som är jämn, sker över en längre tidsperiod och på en längre sträcka som till exempel 300 till 500 meter inte är speciellt farlig. Enligt Nawrat (2010) behöver inte en sättning av denna typ åtgärdas om den inte ger dynamiska effekter på tågen.

Nawrat (2010) påpekar dock att en mindre sättning som uppstår under en kortare tid och på en kortare sträcka kan vara mer kritisk och har ett större behov av att bli åtgärdade. För att göra de justeringar som behövs för att justera sättningarna över en kortare sträcka är enligt Nawrat (2010) ganska lätt. Han säger att det bara är att lätta på befästningarnas skruvar och lyfta rälen och sedan byta ut till nya mellanläggsplattor. Enligt Nawrat (2010) brukar de göra dessa jobb under helgnätter då de har möjlighet att få tillgång till lite längre disp. tider. Det är dock ett arbetsmoment som är ganska intensivt och behövs planeras väldigt noga i förväg.

#### **4.3.4 Övergångszonen**

Nawrat (2010) berättar att övergångszonen mellan ballastspår och fixerat spår är ett problematiskt område. Det är även svårt när det fixerade spåret går från att ligga på bank för att sedan fortsätta in i en tunnel eller upp på en bro.

I övergångszonen är det viktigt att jobba med underbyggnaden och se till att den är ordentligt gjord. Trots att de är extra noga med övergångszonen berättar Nawrat (2010) att det aldrig går att vara 100 % säkra på att den är helt korrekt gjord. Små sättningar på tre till fem millimeter som uppstår är enligt Nawrat något som är acceptabelt och inget att oroa sig för. Anledningen till att dessa små sättningar inte oroar Nawrat (2010) är därför att de är lätt att justera rälen med hjälp av befästningen.

I övergångszonen mellan bank och tunnel/bro uppstår det som tidigare nämnts även sättningar i dessa partier. För att undvika att plattan spricker upp och blir skadad vid en eventuell sättning, även mindre sättningar på mindre än 20 mm, finns det en fog som tar upp sättningen och förhindrar att plattan blir skadad. Nawrat (2010) berättar att sättningen kan justeras med hjälp av befästningssystemets justeringsmån på 30mm i höjded.

När det uppstår små sättningar i övergångszonen och på en kortare sträcka av 30 till 50 meter och sättningen kan justeras med hjälp av befästningssystemet, anser Nawrat (2010) att det utan problem kan göras på en eller två nätter.

#### **4.4 Erfarenheter från FF Bögl**

Knittel (2010) som är en oberoende konsult inom järnvägsbranschen berättar att det inte är några speciella skillnader på underhållet av FF Bögl och andra system som också använder Vosslohs befästningssystem 300.

Om det händer en olycka på spåret som får till följd att plattan blir skadad och måste ersättas, tror inte Knittel (2010) att det är så stor skillnad på tiden för att åtgärda problemen. Knittel (2010) tror att det eventuellt kan gå lite snabbare med FF Bögl att återställa spåret, men att det är en marginell fördel åt FF Bögl.

## 4.5 Erfarenheter från Edilon Corkelast Embedded Rail System

### 4.5.1 Förebyggande underhåll

De Man (2010) berättar att det enda förebyggande underhåll som behövs göras på deras system för fixerat spår med Edilon Embedded Rail är slipning av rälen och rensning av dräneringspunkter.

Hur ofta rälen behöver slipas beror enligt de Man (2010) helt på hur stort slitaget är på rälen. Det är ett beslut som infrastrukturförvaltaren får ta utifrån deras policy. De Man (2010) framhåller att förslitningen på rälen i deras ERS är lägre än för något annat spårssystem. Livslängden för rälen ligger på 15 till 30 år där medellivslängden är 25 år. Rälen kan enligt de Man (2010) slipas med maskiner som kör upp till 120 km/h.

Hur ofta dräneringspunkterna behöver rengöras beror på hur stor risk det är för att det ska bli stopp i dräneringen, faktorer som påverkar enligt de Man(2010) är saker som årstid och växtligheten i omgivningen. Rengöringen tar bara ett par minuter per punkt och utförs för hand. I broschyren från Edilon)(Sedra (2008) står det att de rengöringsmedel och metoder som används inte påverkar systemet.

De Man (2010) poängterar att detta inte är något som är speciellt för detta system utan behövs göras för alla typer av system för fixerade spår. De Man (2010) anser att det är upp till banförvaltaren att bestämma detta utifrån rådande förutsättningar.

### 4.5.2 Avhjälpan underhåll

#### ***Rälen och befästningen av Corkelast***

Enligt de Man (2010) har det rapporterats in väldigt lite om att det har uppstått problem med deras ERS. Livslängden på rälen är den dominerande faktorn för hur länge system med den inbäddade rälen håller. De ingående komponenterna (Corkelast) håller oftast längre än rälen förväntade medellivslängd på 25 år. Det går inte att byta ut enskilda delar i systemet utan allt måste bytas samtidigt tillsammans med ny räl. I de fall där Corkelasten har behövt bytas i förväg har det oftast berott på att man behövt göra justeringar i spårets geometri. Dessa orsakas oftast av att förutsättningar och funktioner har förändrats och som man inte visste om när spåret byggdes.

Det vanligaste felet som uppstår enligt de Man (2010) är brott i rälen och beror oftast på att det gjordes fel vid installationen eller att det är dålig kvalitet på hjulen, rälen och eller svets skarven. Det är enligt de Man (2010) svårt att uppskatta hur ofta det uppstår problem med rälsbrott och lämnar därför inget svar om detta.

Problemet med rälsbrott kan man enligt de Man (2010) oftast åtgärda under en natt. För att göra ett byte av rälen på en sektion av max 18 meter plus två stycken termitsvetsar, uppskattar de Man (2010) att det behövs cirka 10 man plus utrustning.

Ibland kan det uppstå behov att justera nivån på Corkelast materialet, detta kan till exempel bero på att det hälldes i för mycket av Corkelasten, eller en nedbrytning av rälen eller förändringar av hjulprofilen. I Figur 27 visas arbetet med att fylla på rännan med ny Corkelast efter ett genomfört rälsbyte på en bro i Nederländerna.

För att bibehålla den tänkta livslängden kan ibland det översta lagret behövas justeras för att hela systemets livslängd ska bibehållas. I broschyren från Edilon)(Sedra (2008a) skriver de att orsakerna till att behöva byta översta lagret kan ha sitt ursprung från felaktigheter vid installation, en felaktig användning eller ett felaktigt underhåll.



Figur 27, Corkelast hälls ner i rännan och omsluter rälen (EdilonSedra, 2010)

De Man (2010) berättar att behovet att justera höjden på ERS:en och att byta ut det översta lagret, inte är något som görs regelbundet utan görs först när det uppstår incidenter som skapar behov av en åtgärd. Arbetet med att åtgärda Corkelasten kan göras nattetid under de vanliga disp. tiderna.

### **Justeringar av rälen i höjd och sidled (Sättning)**

Det är enligt de Man (2010) väldigt ovanligt att det uppstår problem med sättningar för deras system. Det finns två huvudsätt att justera höjden på rälen. De Man (2010) berättar att man antingen kan justera rälen läge genom att byta hela ERS:en eller att injektera ett bruk under plattan för att justera dess läge.

Injekteringsbruket är en produkt som går att köpa på den fria marknaden och tillhandahålls av flera olika tillverkare. De Man (2010) berättar att injekteringsbruket ursprungligen kommer från husbyggnadsindustrin.

De Man (2010) framhåller att den vanligaste metoden för att justera höjden på rälen är att använda injekteringsbruket. I samband med att plattan justeras i höjddled går även att justera plattan i sidled. Det blir dock mycket mer komplicerat när plattan även ska justeras i sidled och det behövs extra maskiner. Metoden med injekteringsbruk används både vid stora och små sättningar.

Det går att trafikera banan med normal hastighet direkt efter utfört arbetet är utfört då injekteringsbruket enligt de Man (2010) härdar snabbt. Metoden med injekteringsbruk fokuserar enligt de Man (2010) på att snabbt lösa problemen till en rimlig kostnad vilket inte en lång avstängning av linjen gör.

Enligt de Mans (2010) erfarenheter räcker det med de nattliga disp. tiderna för att justera plattan. Krävs det mer tid än vad en nattlig disp. tid ger utrymme för, går det att dela upp arbetet på flera pass och utföra arbetet stegvis utan att störa den dagliga driften av spåret.

### **Övergångszonen**

De Man (2010) anser att alla övergångszoner är kritiska och att de behöver ett kontinuerligt underhåll. De vanligaste problemen i övergångszonen är sättningar i ballastspåret. För att åtgärda problemen med sättningar använder de metoder som stoppning och injektering för att återställa spårets läge.



Enligt de Man(2010) kommer problemen med sättningar att återkomma om tiden mellan underhållsåtgärderna är för stort. Underhållsåtgärder på övergångszonerna kan utföras under de vanliga disp. tiderna nattetid och påverkar inte den dagliga driften av järnvägen.

#### **4.6 Erfarenheter från Sonneville och LVT**

Laborenz (2010) på Sonneville berättar att de inte har möjlighet att dela med sig av någon kunskap om behovet av underhåll på en järnväg med deras system. Anledningen till detta är att de inte har tillgång till informationen och det beror till större delen på de infrastrukturförvaltare som köpt deras system inte skickar den informationen.

I svaret från Laborenz (2010) berättar han att trots LVT systemet är underhållsfritt så finns det stor möjlighet att byta ut enskilda komponenter på ett snabbt och lätt sätt. Det enda som behövs är en domkraft av standardmodell och andra handverktyg för att byta block, mellanläggsplattor eller gummigaloscher. Arbetet med att byta ut enskilda komponenter kan utan problem utföras nattetid eller till och med mellan tågen om det finns tillräckligt med tid.

Laborenz (2010) berättar att det går att justera systemet upp till 25 mm i höjddel genom att lägga in en underläggsplatta av HDPE(high density polyethylene)under blocket.

Laborenz (2010) poängterar att konstruktionen av deras system gör att när det väl finns ett behov av underhåll, kommer det genomföras till en låg kostnad där det bara behövs standardkomponenter. Men speciellt vill Laborenz (2010) trycka på det inte behövs något tids- eller pengakrävande betongarbete.

#### **4.7 Erfarenheter från Öresundsbron**

I järnvägstunneln i Öresundsbroförbindelsen är ett LVT system från Sonneville installerat. Den installerade längden är på sammanlagt 4x2 km. Järnvägen på hela Öresundsförbindelsen är dimensionerad för 200 km/h (Öresundsbron 2010). Lundgren (2010) berättar att de besiktigar banan enligt Trafikverkets vanliga föreskrifter plus att det även gör extra inspektioner av betongen för att kontrollera att det inte uppstår några sprickor i plattan.

I intervjun med Lundgren (2010) framkom det att underhållsbehovet på spåren i tunneln har varit minimalt under de 10 år som förbindelsen har varit i bruk. Av tunnelns räl har ca 25-30 % blivit slipat, det har hittills bara uppstått lite räfflor och vågbildningar. Lundgren (2010) berättar att de inte haft några som helst sprickor i betongplattan. Och de har enligt Lundgren (2010) heller aldrig behövt justera spårens läge, varken i höjd eller sidled.

##### **4.7.1 Problem med saltbeläggningar**

Salthalten är väldigt hög i tunneln enligt Lundgren (2010). Anledningen till detta är att när tågen passerar Pepparholmen pressar tågen ner den saltrika luften i tunneln. Utanför tunneln sköljs saltet bort via regnvattnet men inne i tunneln blir saltet kvar och orsakar problem för järnvägen. Lundgren (2010) berättar att saltet har gjort så att rälen har börjat rosta väldigt tidigt. Redan efter tio år har de behövt byta ut rälen på en sträcka av cirka 400 meter. I intervjun med Lundgren (2010) berättar han att de har gjort oförstörande provningar på rälen och att de kommer behöva byta ut nästan all räl inom fem till tio år. Enligt Lundgren (2010) ska en UIC60 räl hålla minst 30 år.

Salterna orsakade även ett annat problem, Lundgren (2010) berättar om hur saltbeläggningen gjorde att signalsystemet felaktigt visade att det var tåg på spåret. År 2006 bestämdes det att det gamla signalsystemet skulle bytas ut mot ett så kallat axelräknarsystem som sedan dess har fungerat perfekt. För att bryta den felande signalkedja som bildades av saltet var de även tvungna att byta ut befästningarna och mellanläggsplattorna.

I samband med att de bytte signalsystem och gjorde rälsbytet, passade de enligt Lundgren (2010) på att lyfta upp några av blocksliprarna för att titta och undersöka gummigaloschen, se Figur 28. Det framkom då att det inte vid något av tillfällena hade varit något fel på någon av de undersökta gummigaloscherna, utan att de var i jättebra skick och de låg helt perfekt. Lundgren (2010) tror att de kommer att hålla minst den beräknade livslängden.



Figur 28, visar när blocken i LVT systemet lyfts upp (Sonneville, 2009b)

#### 4.7.2 Övergångszoner

I intervjun med Lundgren (2010) framkom det att det inte byggdes några övergångszoner mellan ballastspåren och de fixerade spåret när förbindelsen byggdes. Lundgren (2010) berättar att det cirka två år efter byggnation bestämdes att det skulle byggas någon typ av övergångszon. Anledningen till ombyggnationen var att de hade fått problem vid övergången och en del störningsmoment, bland annat att de ofta var tvungna att stoppa om ballasten. I Figur 29 nedan visar hur övergångszonen såg ut innan den byggdes om. På frågan varför det inte byggdes någon övergångszon från början, svarar Lundgren (2010) att det troligtvis handlade om brist på pengar.

Lundgren (2010) berättar att de fick hjälp av Vossloh att konstruera de nya övergångszonerna och att de är konstruerade så att längden på sliprarna successivt ökar in mot betongplattan. De fem första sliprarna är tre meter breda, nästa fem sliprar är tre och en halv meter bred och sista

fem sliprarna närmast betongplattan är fyra meter breda. Under rälen har de mjuka gummiunderläggsplattor för att göra en mjukare övergång till det fixerade spåret. Anledningen till att de har mjuka

gummiunderläggsplattor berättar Lundgren (2010) är därför att de mätte spårens styvhet och det visade sig att ballastspåret var styvare än det fixerade spåret. Det finns även möjlighet att lägga in mellanläggsplattor för att justera höjden på spåret utifall det skulle bli nya sättningar. Metoden med



Figur 29, är taget innan det att övergångszonen byggdes om i Öresundsförbindelsens tunnel (Lundgren, 2010)

mellanläggplattor är i det specifika fallet en bättre metod att justera spåren än att använda en stoppningsmaskin på grund av att området är känsligt.

De ombyggda övergångszonerna har blivit väldigt lyckade, Lundgren (2010) berättar att de inte haft några som helst problem efter ombyggnationen. Maxhastigheterna är 180 km/h och 140 km/h vid övergångszonerna.

#### **4.7.3 Ballastspår**

Ett avsnitt som Lundgren (2010) tror att de kommer att få problem med i framtiden är ballastspåret på bron. De kommer att få problem när de kommer att behöva byta ut ballasten som har nått sin livslängd. Anledningen till nedbrytningen är att ballastspåret ligger i ett betongtråg och kontinuerligt bryts ner av lasterna och att ballasten kontinuerligt behöver stoppas om av en stoppningsmaskin. En följd av nedbrytningen är att ballasten kommer behövas bytas ut efter ett antal år därför att det blir stummare av att makadamen krossas. Lundgren (2010) berättar att de i sin långsiktiga planering har planerat in ballastbytet till cirka 20 till 25 år efter byggnationen.

Lundgren (2010) poängterar att när ballastbytet ska göras kommer de att få stora problem med tillgängligheten för tågen. Arbetet med att byta ut ballasten är väldigt komplicerat och tidskrävande. Anledningen är därför att de behöver få bort allting ut betongtråget, spåret måste lyftas bort och den gamla ballasten måste schaktas bort för att kunna lägga ut ny ballast.

På frågan varför det inte byggdes fixerat spår även på bron svarar Lundgren (2010) att han tror det beror på kostnadsaspekten, att det hade blivit dyrare med ett fixerat spår.

Lundgren (2010) tror inte att arbetet kan genomföras utan att det uppstår väldigt stora störningar i tågtrafiken. Lundgren säger att de troligtvis inte hade klarat av att göra detta byte i dag samtidigt som man hade fortsatt med dagens tjugominuters trafik med Öresundstågen. Storleken på störningen är svårt att sia om, men beror på hur man väljer att lägga tåglägen och tågmöten och hur många godståg som också vill trafikera spåren.

Lundgren (2010) berättar att ett problem som återstår efter det att de har lyckats byta ut all ballast, är att tågen kommer bli tvungna att åka med reducerad hastighet till ett visst antal tonnage har rullat över spåren. Anledningen till detta är att det inte går att använda en dynamisk spårstabilisator på bron.

#### **4.8 Erfarenheter som inte är bundna till ett visst system**

Problemet med stora sättningar är enligt Stolz (2010) ett problem som inte är bundet till ett specifikt system för fixerat spår. Ett sådant problem beror på att det blir något fel med underbyggnaden. Stolz (2010) har bara erfarenheter från en gång då det har blivit en stor sättning. Anledningen den gången var att det uppstod ett fel i järnvägsbanken och fick till följd att det uppstod en större sättning. För att åtgärda felet injekterade de järnvägsbanken och lyfte överbyggnaden cirka 60mm. Injekteringsmassan som de använde för att lyfta betongplattan är en liknande blandning som den epoxiharts som beskrivs i kapitel 4.3.2 och används för att laga uppkomna sprickor i betongplattan.

Stolz (2010) uppskattar tiden att genomföra en sådan operation till att ta ca 48 timmar. Den stora sättnings som Stolz (2010) var med om uppstod innan järnvägen var satt i drift och påverkade därför inte driften av järnvägen.

#### 4.8.1 Rälén

I intervjun med Stolz (2010) framkom det att rälén har en förväntad livslängd som är betydligt mycket kortare än vad andra ingående delar i konstruktionen, som till exempel plattan. Stolz (2010) berättar att rälén behöver bytas var 15-20 år. Denna livslängd är oberoende från vilket system som används för fixerat spår eller om det är ett vanligt ballastspår för höghastighetståg.

#### 4.8.2 Precisionen

Knittel (2010) berättar att det är viktigt att undvika systematiska fel. Ett litet fel som upprepar sig kan leda till stora problem. Knittel (2010) berättar om en erfarenhet de har från Tyskland där det hade byggts Rheda Classic. De fick problem med att varannan sliper hängde 0,2mm i luften och rälén vilade på de andra sliparna istället. När tågen passerade i 250 km/h i kombination med de 0,2 millimetern som rälén hängde skapade en frekvens på 60 Hz som i sin tur resulterade i stora vibrationer inne i tåget.

En följd av detta är enligt Knittel (2010) att tyskarna har skrivit in i sin senaste utgåva av AKFF (*Technical Notification concerning the body of permanent way technology regulations, utgiven av DB systemtechnik*) att det ska bevisas att systemet och byggmetoden inte skapar några stora effekter på körkomforten.

Knittel (2010) berättar även att en för hög precision även kan vara problematisk, han berättar om erfarenheter från en linje i Köln där de hade byggt en linje med väldigt hög noggrannhet. En följd av den otroligt höga noggrannheten är att hjulen alltid har samma kontaktpunkt gentemot rälén. När det är samma punkt som har kontakt med rälén hela tiden blev det över 1000 °C i kontaktytan och metallen började smälta.

#### 4.8.3 Övergångszonen

I intervjun med Stolz (2010) framgår det att de i Tyskland har problem med att det efter cirka 10 år eller mer, uppstår problem med en del av övergångszonerna mellan ballastspår och fixerat spår. Problemet som uppstår är något de i Tyskland kallar för ”Längshöhenfehler” och betyder direktöversatt längsgående höjdfel. Det beror på att det uppstår små sättnings i ett eller flera av konstruktionens olika skikt. I övre delen av Figur 30 ser man hur det har uppstått ett längsgående höjdfel i en övergångszon mellan ballastspår och fixerat spår.



Figur 30 visar ett längsgående höjdfel i en övergångszon mellan ett fixerat och ett ballastspår, källa Stolz (2010)

I intervjun med Stolz (2010) framkom det att detta inte är ett problem som skiljer sig speciellt mycket mellan olika system utan uppstår till följd att övergångszonen inte byggts tillräckligt noga eller valet av konstruktionstyp för övergångszonen. En av anledningarna till att dessa problem uppstår kan enligt Stolz (2010) vara att det var dåligt väder som regn eller snöfall, när det bindande materialet applicerades mellan övergångszonens ballastkorn. En annan orsak till att det uppstår fel är att övergångszonen inte är konstruerad med den förstärkande räl som brukar användas i nya konstruktioner. Detta är ett problem som de enligt Stolz (2010) klarar av att åtgärda inom de vanliga disp. tiderna nattetid.

Knittel (2010) berättar att det finns många missuppfattningar kring övergången och varför man bygger en övergångszon. Den stora missuppfattningen är att det är skillnader på styvheten mellan ballastspåret och det fixerade spåret, men styvheten är den samma.

Knittel (2010) poängterar att den verkliga anledningen till att det behövs en övergångszon är därför att det blir så stora skillnader i sättningarna mellan ballastspåret och det fixerade spåret. Det är alltid en rörelse i ballasten och det leder till att det blir en annorlunda sättning i förhållande till det fixerade spåret.

Knittel (2010) förkastar metoden att limma ballasten i övergångszonen. Det är inte en metod som håller i längden utan kommer efterhand att spricka upp och tappa sina tänkta effekter. Knittel (2010) jämför den limmade makadamen med en stor sten vilket innebär att övergångsmomentet istället förflyttas från ett ställe till en annat lite längre bort.

Extrarälerna som används i Tyskland och Österrike har enligt Knittel (2010) ingen förebyggande effekt på sättningar. De hjälper bara till att ta delar av belastningen som uppstår i de vanliga rälerna när det blir en sättning för att minska risken för olyckor.

Knittel (2010) anser att den stora frågan när man pratar om övergångszonen inte är hur man kan undvika sättningar, för det anser han är omöjligt. Den stora frågan är istället hur man kan jobba med sättningarna i övergången och styra dem och därmed kunna förutsätta hur de kommer att bli.

Det finns mycket pengar att spara om man bygger övergångszonerna rätt. Knittel (2010) uppskattar att tyskarna och österrikarna betalar 700 000 upp till 1 000 000 kronor för deras klassiska övergångszoner med bland annat förstärkningsräl och där makadamen limmas. Knittel (2010) tror att om projektören är väldigt noga, finns det metoder som kan kosta hälften så mycket som den klassiska övergången. Knittel (2010) anser att den stora vinsten görs genom att underhållskostnaden för övergångszonen blir betydligt mycket lägre än för en klassisk övergångszon.

## 4.9 Erfarenhet från Danmark

Detta handlar inte om ett fixerat spår för höghastighetsjärnväg utan en metod om att använda fixerat spår för plankorsningar. Erfarenheterna från detta projekt belyser vikten av att genomföra en ordentlig undersökning av marken och sedan göra grundläggningen till den fixerade spåret ordentligt.

I Danmark påbörjade man ett projekt med att bygga plankorsningar med ett system från Edilon)(Sedra där spåren är inbäddade i en betongplatta. Liu (2010) berättar att de byggde 13 stycken plankorsningar med systemet från Edilon)(Sedra. Av de 13 övergångarna var det bara vid en plankorsning som de fick problem med sättningar. I protokollet från Banedanmark (2010) framgår det att de har problem med att betongplattorna sätter sig för mycket när det passerar tåg. Problemet syns både på betongplattorna och övergångszonens sliprar. På en av betongplattorna syns det tydliga tvärgående sprickor till följd av sättningarna.

I protokollet från Banedanmark (2010) framgår det att allt tyder på undergrundens stöd till en av betongplattorna är bristfälligt. Vid övergångszonerna på båda sidorna om plankorsningen är inte materialet tillräckligt packat för att klara av att ge tillräckligt med stöd.

Liu (2010) säger att tillverkarna skyller på att plankorsningen ligger i lägsta punkten i omgivningen och därför blir extra utsatt för vatten vid mycket regn vilket försämrar underbyggnadens bärlighet. För att lösa problemet behöver plankorsningens dränering förbättras.

Liu (2010) tror att anledningen till att det uppstod fel med denna plankorsning var att de som byggde eller projekterade lösningen inte la ner tillräckligt med jobb för att få tillräckligt god standard på undergrundens bärlighet.

## 4.10 Erfarenheter från Nederländerna

I Nederländerna är det ett privat bolag som heter Infrasppeed som har byggt och äger höghastighetsjärnvägen på uppdrag av staten. Bolagets ägs av de banker som lånat ut pengar tillsammans med bolag från byggindustrin. Höghastighetsjärnvägen i Nederländerna är relativt nybyggd, har bara varit i operativt bruk ett fåtal år. 95 % av höghastighetsspåren är byggda med Rheda 2000 och övriga 5 % är byggda med ballastspår (Hartman, 2010).

### 4.10.1 Sättningar

I Nederländerna har de väldigt stora problem med sättningar. Anledningen till att de har problem med sättningar är enligt Hartman (2010) att stora delar av spåren ligger under havsnivån och till följd av det är markens kvalité väldigt dålig. Nederländernas markförhållanden skiljer sig väldigt mycket från andra länder där det har byggts höghastighetsjärnväg med fixerat spår. Hartman (2010) berättar att de under de första fem åren har haft problem med att på enstaka ställen haft sättningar på upp emot en halv meter.

Hartman (2010) berättar att det inte är de på Infrasppeed som är ansvarig för att åtgärda de stora sättningarna som uppstår i undergrunden, utan det är den nederländska järnvägsmyndigheten som är ansvarig för den biten. Anledningen till det är att staten byggde underbyggnaden och Infrasppeed byggde överbyggnaden. Hartman (2010) kan av den anledningen inte berätta hur de har löst problemen med undergrunden.

De har tre typer av sättningsproblem i Nederländerna, Hartman (2010) berättar om att de har sättningar i sidled och vanliga sättningar i nedåtgående riktning. De har även problem med lyftningar i marken och han misstänker att det beror på dåliga förberedelser av marken under överbyggnaden. Han misstänker att marken suger åt sig vatten och därmed börjar svälla och får till följd att plattan lyfter.

Hartman (2010) berättar vidare att Infrspeed håller på att utveckla ett nytt befästningssystem som kommer att ha en större justeringsmån än befästningarna de använder idag. Anledningen är att de behöver ett befästningssystem där de kan göra större justeringar av rälen på de ställen där de fått problem med sättningar. Systemet beräknas vara klart att användas någon gång under perioden februari till mars 2011. Hartman (2010) beräknar att ett arbetslag kommer kunna byta ut ca 10 meter på ett nattskift. Att det inte går att byta ut mer beror på att det är ett tidskrävande arbete där de bland annat behöver borra nya hål för infästningen.

#### **4.10.2 Förebyggande underhåll**

Det förebyggande underhållet som Infrspeed jobbar med är att inspektionsprogram för järnvägen. Hartman (2010) berättar att de visuellt inspekterar järnvägen varje månad och gör videomätningar av spåret var sjätte månad. De har även ett program för att undersöka järnvägens bullerpåverkan var sjätte månad. Varannan månad genomför de även geometriska inspektioner av spåret och en gång om året mäter de även spårets absoluta läge.

Enligt Hartman (2010) slipar de spåren efter att det har passerat 35 000 megaton eller 45 000 megaton vilket är ungefär vartannat år. De har metoder för att koppla samman ojämnheter i rälen med buller och kan efter mätningar av spåret ojämnheter genomföra slipning av rälen för att minska buller.

#### **4.10.3 Andra problem**

Hartman (2010) säger att de inte har några andra problem än sättningar på höghastighetsjärnvägen i Nederländerna. Det händer ibland att de behöver skruva åt enstaka bultar i befästningssystemet, men att det inte är ett stort problem. De hittar kanske en eller två bultar per halvår som behövs skruvas åt och det tycker Hartman (2010) är väldigt lite.

## 5 Diskussion

### 5.1 Sättningar

Som Nawrat och Stolz berättar i avsnitt 4.3.3 respektive 4.8 har de i Tyskland begränsade problem med sättningar. Medans som Hartman berättar i 4.10.1 har de stora problem med sättningar i Nederländerna. Erfarenheter som är viktiga att ta med sig till Sverige och en framtida byggnation av en höghastighetsjärnväg är att man inte ska överskatta möjligheterna att undvika sättningar. Bara för att Tyskland har väldigt lite problem inom detta område betyder det inte att Sverige också kommer att ha lätt att handskas med detta. Det är bara att jämföra med Nederländerna, problemet med sättningar kan rimligtvis inte bero på att de var helt omedvetna om att de har problematiska jordar utan borde handla om att geoteknik är ett väldigt komplext område. Möjligtvis kan nederländarna ha förbiset och underskattat riskerna med sättningar som en följd av att Tyskarna har haft väldigt begränsade problem och därför trott på att systemen med fixerat spår är bättre än vad de egentligen är på att klara av sättningar.

Det skulle kunna vara en risk att vi i Sverige skulle förbise risken med sättningar om vi bara tittar på Tyskland och deras begränsade problem. Risken skulle kunna vara att vi kommer in i en falsk säkerhet om att det inte uppstår några problem kring sättningar när man väljer att bygga järnväg med ett fixerat spår eller att det är väldigt lätt att förebygga problemen.

Nawrat beskriver att det inte är farligt med jämna sättningar som uppstår över en längre sträcka, utan de är acceptabla. Jag anser att det inte går att projektera med förutsättningen att det kommer att bli en mindre sättning som är jämn över ett längre avsnitt. Räknar man med att få en sådan sättning är risken istället att man ger sig själv stora problem med stora ojämna sättningar som inte alls beter sig som tänkt. Det kan då istället vara bättre att bygga ordentligt från början och direkt minimera risken för sättning istället för att i efterhand behöva återkomma och återställa.

Det kommer att vara viktigt att de svenska myndigheterna är väldigt kritiska och ställer höga krav på leverantörerna för att undvika att det uppstår problem med sättningar. Nawrat berättade i 4.3.3 att de på Rail.One aldrig går vidare med byggnationen förrän de är helt säkra på att sättningarna kommer att bli mindre än befästningssystemets justeringsmån. Detta är en sak som Trafikverket bör ställa som krav i sina föreskrifter.

Om och när planerna på att bygga höghastighetsjärnväg i Sverige blir verklighet anser jag att Trafikverket ska kontakta Infrapower för att ta del av deras lärdomar om sättningar. Svenska geotekniker borde jämföra likheten mellan svenska och nederländska jordar för att få en större kunskap om hur en höghastighetsjärnväg skulle påverka sättningar. Nederländerna borde fram tills dess ha hunnit samla på sig stora kunskaper inom området och ha goda förslag på hur vi i Sverige borde jobba för att undvika denna problematik. Trafikverket borde även kontakta Infrapower för att ta del av deras nya befästningssystem de för tillfället håller på att utveckla för att se om det är något som eventuellt hade varit lämpligt att använda i Sverige.

Fixerat spår kanske inte alltid är det mest lämpliga byggmetoden för alla sträckor. Även fast det i teorin går att förebygga sättningar på alla platser genom att använda konstruktionsmetoder till höga kostnader. Det finns andra argument än kostnaden för att inte bygga fixerat spår på vissa sträckor, ett sådant argument skulle kunna vara att det inte alltid går att vara helt säker på att



konstruktörerna klara av att förebygga sättningarna, antingen av okunskap eller inte är tillräckligt noggrann. Det går att se detta i exemplet från Danmark, avsnitt 4.9, där de fick problem med sättningar till följd av att leverantören inte förutsåg de speciella förutsättningarna som var i området där en av plankorsningarna byggdes. Det finns inga garantier för att detta inte skulle kunna ske i Sverige om vi väljer att bygga höghastighetsjärnväg med ett fixerat spår.

## 5.2 Övergångszonerna

Mycket tyder på att det är viktigt att jobba med problematiken med sättningarna i övergångszonerna. Det viktiga är att inse att det inte går att konstruera övergångszonen på ett sätt som gör att det helt går att undvika sättningar. Flera personer berättar att övergångszonen är problematiskt, Knittels berättelser i 4.8.3 om att det inte helt går att konstruera bort sättningarna stärks av de Man i 4.5.2 och Nawrats berättelser i 4.3.4.

Viktigt att ta med sig när man väljer att bygga höghastighetsjärnväg med fixerat spår i Sverige är att tänka på att övergångszonen är ett väldigt problematiskt område. När det fixerade spåret ska projekteras är det viktigt att våga satsa pengar på att undersöka hur övergångszonen kommer att bete sig i varje enskild övergång. Jag anser att om vi vågar satsa pengar på att undersöka området väldigt noga, kommer det förhoppningsvis leda till en lägre byggkostnad och minskat behov av underhåll, därav en lägre livscykelkostnad.

Något jag tycker är oroväckande är att de i Tyskland bygger lösningar för övergångszon som Knittel i sin tur förkastar för att han inte anser att de är långsiktigt hållbara lösningar. Undersökningen visar att det kommer vara viktigt om vi i Sverige vågar följa den senaste forskningen och använda oss av den kunskapen.

Eventuellt är det inte de redan beprövade metoderna för att konstruera en övergångszon som kommer att vara den mest lämpade för svenska förhållanden. Undersökningen visar att det är viktigt att vi i Sverige går in förutsättningslöst när övergångszonen ska konstrueras och se till att konstruera den övergångszon som är mest lämplig på den aktuella platsen, annars är risken att kostnaderna för byggandet och underhållet kommer att kosta oss mer än vad det egentligen skulle behöva göra.

Svenska Trafikverket skulle kunna ställa krav på att leverantören ska presentera konkreta lösningar på hur de kan ha kontroll på sättningarna och även hur de ska åtgärda dem när de väl uppstår. Det borde finnas ekonomiska incitament som gör att leverantören verkligen presenterar hållbara lösningar som är ekonomiska och även är lätta att justera när det uppstår ett behov av underhåll. Det ska helt enkelt finnas strategier för ett helhetstänkande kring underhållsfrågorna.

## 5.3 Befästningen

Nawrats uppfattning, som behandlas i kapitel 4.3.3, om att det är ganska enkelt att bara lossa på befästningen och sedan lyfta upp rälen för att byta ut mellanläggsplattorna skiljer sig åt i förhållande till den uppfattningen som Stolz har. I intervjun med Stolz, som behandlas i kapitel 4.2, framgår det att han tycker att det är ett väldigt komplicerat arbete att lossa på befästningen för att sedan lyfta upp rälen och byta ut de mellanläggsplattor av elastomer som har blivit styva.

En möjlig anledning till det skiljer sig åt i uppfattningen om det är lätt eller inte att genomföra dessa åtgärder kan vara att Stolz jobbar på förvaltersidan och upplever saker mer problematiskt

än vad Nawrat gör som jobbar hos tillverkaren och gärna vill att hans produkt ska framstå i goda dagar.

En annan möjlig orsak till att de bedömer det som olika svårt är att den justering som Nawrat pratar om bara sker över en kortare sträcka och därför är lättare att planera och genomföra. Medan Stolz pratar om byte av mellanläggsplattor över en längre sträcka och medför att det blir ett mycket mer omfattande arbete och av den anledningen gör det mer komplicerat. Detta är ett område som det finns stora möjligheter till optimering, att se till att göra arbetet med underhållet så effektivt som möjligt för att minska störningarna och spara pengar.

Jag anser att verkligheten lutar mer åt vad Stolz beskriver, att det är ett arbete som är komplicerat och kräver ordentligt med planering för att kunna genomföra det på ett effektivt sätt. Anledningen till att jag anser detta är för att Stolz har mer erfarenhet av det praktiska underhållet av järnvägen under drift medans Nawrat mer har varit involverad i byggnationsfasen, därför lägger jag en större tilltro till Stolz påståenden.

Det är viktigare att tänka på kostnaderna i ett livscykelperspektiv istället för att bara tänka på produktionskostnaderna. Ett exempel är mellanläggsplattorna som Knittel pratar om i 4.2.1, att det i ett LCC perspektiv i vissa situationer skulle vara mer lönsamt att välja den lite dyrare mellanläggsplattan istället för den billigare som har en kortare livslängd.

#### **5.4 Sprickor och frysning**

När man bestämmer sig för att bygga järnväg med fixerat spår i Sverige visar undersökningen att det är viktigt att fundera på risken för att det uppstår skador på överbyggnaden till följd av det stränga vinterklimat vi har i Sverige. Som berättas i kapitel 4.1.2 har de i Japan haft problem med att cementasfaltsbruket har spruckit upp. Det går att befara att sådana problem även skulle kunna uppkomma i Sverige till följd av våra vintrar.

I kapitel 4.3.2 beskrivs det att de i Tyskland har små problem med att sprickorna blir bredare än gränsvärdet. Hur kommer sprickorna i en platta att bete sig i Sverige? Det är en fråga som är relevant att ställa sig. Det går att föreställa sig att det förekommer fler nätter med minusgrader i Sverige än vad det gör i Tyskland. Vad kommer att hända när det läcker in vatten i sprickorna på dagen och sen sjunker temperaturen ner under fryspunkten på natten? Det borde rimligtvis leda till frostsprängning av betongen. En följd av detta är det skulle kunna bli fler sprickor som kommer att ha ett behov av att åtgärdas med tätningsmedel för att förebygga att betongplattan bryts ner i förtid.

Undersökningen visar att det skulle kunna finnas en risk för att sprickorna skulle kunna bli ett större problem här i Sverige till följd av detta. Av den anledningen finns det ett behov av att undersöka närmare hur olika system, byggmetoder och material kommer att bete sig i ett svenskt vinterklimat. Alternativet är att låta tillverkarna bevisa att deras system klarar det svenska vinterklimatet och ska vara med och dela på kostnaderna som uppstår om det blir stopp i trafiken.

#### **5.5 Inspektionsintervall**

Vad ska vi ha för inspektioner av en höghastighetsjärnväg med ett fixerat spår? I Nederländerna verkar det som att de har ett väldigt gediget inspektionsprogram där de väldigt ofta inspekterar järnvägen. I Tyskland kör de samma inspektionsprogram som de har på ballastspår, men utreder

just nu möjligheterna att förlänga tiderna mellan inspektionerna. På Öresundsbron inspekterar de enligt trafikverkets föreskrifter plus att de har extra inspektioner av betongplattan. I Japan inspekterar de höghastighetsspåren var tionde dag.

Det hade varit bra att fundera på hur ofta järnvägen egentligen behöver inspekteras. Om nu fixerat spår är så otroligt bra, varför ska vi i så fall inspektera det lika ofta som vanligt ballastspår? Eller kan det vara så att vi i längden kan tjäna in en massa pengar genom att inspektera ofta som i Japan för att tidigt upptäcka brister? Av erfarenheterna ovan finns det inget samband mellan intervallerna mellan inspektionerna och hur driftsäker järnvägen är. Det viktiga är att lägga en stor vikt på strategin kring utformningen av inspektionskonceptet.

Det går att ha olika teorier om vad som är den bästa strategin, men Trafikverket borde titta närmare på vad som långsiktigt är mest ekonomiskt. Det kanske inte är ekonomi som är det viktigaste heller, det viktigaste är kanske att ha en bana som har en hög driftsäkerhet och kanske behöver ha väldigt täta intervall mellan inspektionerna. Det är en fråga som kommer att ha ett behov av att utredas vidare.

## 5.6 Vad händer efter 60 år?

Vad händer när det fixerade spåret når sin planerade livslängd efter 60 år? Kommer hela det fixerade spåret att ha ett behov av att bytas ut, eller räcker det med att betongplattan får livsuppehållande åtgärder? Det kan vara väldigt bra att innan det byggs reda ut vad som händer med det fixerade spåret efter 60 år.

Om man gör antagandet att trafikutvecklingen på järnvägen kommer att öka under dessa 60 åren på en framtida höghastighetsjärnväg, kommer det inte att finnas speciellt mycket tidsutrymme att göra stora ingrepp på järnvägen utan att störa trafiken. Jag menar även att samhället inte kommer att accepterat om det blir stora störningar eller stopp i tågtrafiken under längre tid, även om de är planerade. Stora störningar kommer förmodligen leda till ansenliga samhällsekonomiska kostnader.

Tänker man logiskt inser man att det är väldigt viktigt att i dagsläget inte bygga en järnväg där det kommer att bli mycket störningar i tågtrafiken när den behöver förnyas och förbättras efter cirka 60 år. Det är inte rättvist mot kommande generationer om vi lämnar efter oss en infrastruktur som inte klarar av en smidig förnyelseprocess. Speciellt inte om vi haft möjligheten att tänka på det redan nu i ett tidigt planeringsstadium där effekterna kan reduceras.

Det blir av denna anledning väldigt viktigt att Trafikverket ställer krav på att leverantörerna av det fixerade spåret kan visa på bra metoder ur både ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv för hur järnvägen kan förbättras, förnyas och ersättas när den tillslut uppnått sin livslängd. Jag anser att det är viktigt att detta tänk kommer med i ett väldigt tidigt skede i processen när man utformar kraven på det fixerade spåret.

## 5.7 Andra applikationer än bara för höghastighetsjärnväg

Vad finns det för andra användningsområden för fixerat spår i Sverige än bara på ett framtida höghastighetsnät? Jag anser att Trafikverket ska börja använda fixerat spår även på järnväg med lägre hastigheter. Det finns många fördelar med det fixerade spåret som kan bidra till att effektivisera även den vanliga järnvägen. Det finns många lösningar med fixerat spår som är väl lämpade att använda på broar och i tunnlår. Skulle Trafikverket ta med det i ett tidigt skede av

utredningen och förutsättningslöst utreda fixerat spår eller ett ballastspår, anser jag att samhället skulle kunna spara mycket pengar. Ett problem är att ämnet inte är tillräckligt debatterat som alternativ konstruktion till ballastspår.

Ett exempel som jag tycker tydligt visar att det finns situationer som lämpar sig för fixerat spår är Öresundsbroförbindelsen. Lundgren tror att anledningen till varför de bara byggde fixerat spår i tunneln men inte på bron till stor del var ekonomiska. Lundgren berättar i avsnitt 4.7.3 att han tror det kommer att bli stora problem i framtiden när brons ballastspår måste bytas ut. Det hade kunnat vara en bra anledning till att de skulle ha byggt fixerat spår från början. Vid den tidpunkten var kanske inte förtroendet för fixerat spår tillräckligt stort för att de skulle våga satsa de extra pengar som behövdes. Samhället kommer med stor sannolikhet att få stora kostnader till följd av att det blir stora störningar på tågtrafiken över Öresund, när ballasten behöver bytas.

Det hade varit bra om Trafikverket kunde få med utredningar om fixerat spår i de tidiga skedena. Det borde undersökas vilket alternativ mellan fixerat spår och ballastspår som är det mest lämpliga ur ett LCC perspektiv. Om det inte görs i alla projekt, bör det i alla fall genomföras för de stora projekten. Det behöver inte handla om att hela sträckan ska byggas med fixerat spår utan kan även handla om att delprojekt som till exempel en lång tunnel eller bro kan byggas med ett fixerat spår.

Förutsättningar som krävs för att genomföra en sådan reform är att Trafikverket arbetar fram föreskrifter om fixerat spår, inte bara för höghastighetsjärnväg utan även för hur det kan användas för järnväg med lägre hastigheter. Trafikverket behöver även utveckla utbildningsmaterial om fixerat spår och hur det kan används. Därefter behöver de utbilda all berörd personal inom Trafikverket och även ge landets järnvägs konsulter möjlighet att utbilda sig i ämnet.

## **5.8 Synen av underhållsfritt**

Det skulle kunna vara så att Sveriges syn på vad termen underhållsfritt inte är densamma som de har i andra länder. Det skulle kunna finnas underhåll som de i andra länder anser är helt naturligt att genomföra och inte anser som något problematiskt och därmed utelämnar detta när de pratar om underhåll med en svensk. Men att detta underhåll enligt en svensk är av väldigt stor betydelse. Det skulle även kunna handla om att det vi i Sverige anser är naturliga intervall mellan underhållsåtgärder skiljer sig från andra länder. När man sedan börjar bygga fixerade spår i Sverige upptäcker man då att behovet av underhåll inte är så lågt som man från början hade förväntat sig.

För att förtydliga vad jag menar kommer ett kort hypotetiskt exempel. I ett land utför de en viss åtgärd på ett ballastspår en gång om året medan man i Sverige istället utför samma åtgärd var tredje år. När sen underhållet av samma sak på ett fixerat spår utförs var tredje år i det andra landet kanske de nu tycker att det är underhållsfritt då underhållet har minskat i jämförelse med ett ballastspår. Men när det fixerade spåret byggs i Sverige kommer det specifika underhållet även här behövas utföras var tredje år och då kommer det inte att vara någon skillnad mellan ballast- och fixerat spår och vi i Sverige kommer inte anse att spåret är underhållsfritt. Där skulle det kunna uppkomma kulturella skillnader mellan Sverige och andra länder.

Det hade varit bra att försöka utreda vad som de egentligen anser med att ett fixerat spår är ”underhållsfritt” för att inte riskera att vi åker på en kalldusch och inser att spåret inte är lika bekymmersfritt som vi trodde från början.

## 6 Slutsatser

Till stor del verkar alla erfarenheter kring fixerat spår vara att det inte uppstår speciellt stora problem kring det fixerade spåret. Betongplattornas uppbyggnad är ofta väldigt bra med en hög precision och en lång livslängd. De gånger det uppstår problem, ligger dessa ofta antingen under betongplattan eller i övergången till ballastspåret.

Det finns två områden att vara väldigt noggranna inom när man i Sverige bygger höghastighetsjärnväg med fixerade spår. Den första punkten är att vara uppmärksam på är jordens bärighet. Vad det kommer att bli för sättningar, och jobba med lösningar på hur de kan förebyggas.

Den andra viktiga frågan är övergångszonen och vetskapen om att det i princip inte går att bygga 100 % felfria övergångszoner. Övergångszonerna är ett område som förvaltarna alltid kommer att behöva ha ett extra öga på för det kommer att uppstå problem om de inte sköts om och behandlas rätt. Det kommer även att finnas stora möjligheter att spara pengar om övergångszonerna byggs på rätt sätt.

En annan sak som har ett behov av att utredas mer noga är hur de olika systemen beter sig i vinterklimat. Det går i dagsläget inte att vara säker på att hur de kommer att klara av det svenska vinterklimatet.

Det är viktigt att göra alla val av komponenter och konstruktioner utifrån ett LCC perspektiv.

## 7 Förslag på vidare studier

Ett område att studera vidare är övergångszonerna. Saker att utreda är vad det finns för byggmetoder och när dessa är lämpliga att använda. Det hade även varit lämpligt att studera vidare vad den senaste forskningen om övergångszoner säger.

Studera problemet med sättningar i Nederländerna. Förslagsvis kan man undersöka vad anledningen var till att de fick så stora problem. Vad har de i Nederländerna skaffat sig för kunskap som man i Sverige kan ha med sig när man väl bygger höghastighetsjärnväg med fixerat spår.

Undersöka hur systemen och deras ingående komponenter kommer att bete sig i Sverige med vårt stränga vinterklimat? Går det att genomföra underhåll på järnvägen när det är vinter eller måste man vänta in våren? Det hade varit frågor som behöver belysas närmare

En sista fråga som föreslås att man undersöker närmare är hur ett inspektionsprogram bör se ut i Sverige. Hur ofta ska olika delar och komponenter på banan inspekteras? Vad finns det för möjligheter i dagsläget? Kan vi använda den maskinpark som redan finns i Sverige idag eller måste vi köpa in ny utrustning och maskiner?

## 8 Referenser

### 8.1 Skriftliga källor

Ando, K., Sunaga, M., Aoki, H. & Haga, O., (2001), *Development of Slab Tracks for Hokuriku Shinkansen Line*, QR of RTRI, Vol 42 No.1, Mars 2001, sida 35-41.

Banedanmark, (2010), *Inspektion af overkørsel 113 på Svendborgbanen*, daterad 2010-06-23, Banedanmark, Köpenhamn

Banverket, (1995), *BVF 586.10 Skarvfritt spår, Regler för byggande och underhåll*, Banverket, Borlänge

Banverket, (1998), *BVF 524.1 Råler – krav på nya och begagnade*, Banverket, Borlänge

Banverket, (2002), *BVS 522.30 Tekniska bestämmelser för sliprar av betong*, Banverket, Borlänge

Banverket, (2004), *BVS 585.52 Makadamballast för järnväg*, Banverket, Borlänge

Corshammar, P., (2006), *Perfect Track – din framgång i järnvägsunderhåll och driftsäkerhet*, Perfect Track, Lund

Darr E. & Fiebig W. (2006), *Feste Fahrbahn Konstruktion und Bauarten für Eisenbahn und Strassenbahn*, Eurailpress, Hamburg

DB Systemtechnik – Oberbautechnik, (2002), *Technical Notification concerning the body of permanent way technology regulations, Seq. no. RO-03/2002*, DB Systemtechnik/Die Bahn, Frankfurt

Edilon)(Sedra, (2008a), *System information sheet: Edilon Corkelast Embedded Rail System – Maintenance & Renewal*, utgåva: 080120 rev 01, Haarlem- Netherlands.

Edilon)(Sedra, (2008b), *System information sheet: EDILON Corkelast Embedded Rail system HR 60E1-MS, type Main Line and high Speed Line*, utgåva: 080630 rev 00, Haarlem Netherlands.

Edilon)(Sedra (2010), *System information sheet, Project Photo Report BROM bridge – ERS replacement in 2007*, utgåva: 100719 rev 00, Haarlem Netherlands.

Esveld, C., (2001), *Modern Railway Track second edition*, Delfts: MRT-Productions, Zaltbommel

Lantz, A., (2007), *Intervjumethodik*, Studentlitteratur, Lund

Max Bögl, (2010), *FFB Slab Track Bögl – Progress is built on ideas*, Max Bögl, Sengenthal

Möller, K., (1994), *Japanska Shinkansen – framtidens på spåret*, Sveriges Tekniska Attachéer, Stockholm

Nyström, P. & Prokopov, A., (2010), *Förstudie: Banöverbyggnad för höghastighetspår – LCC Kalkyl*, RCON och Banverket

- Profillidis, V.A., (2006), *Railway Management and Engineering Third Edition*, Ashgate Publishing Limited, Hampshire, England
- Rail.One, (2010), *RHEDA 2000® – The ballastless track with concrete supporting layer*, Rail.One
- Regeringen, (2010), *frågor och svar om den nationella planen 2010-2021* [online] <http://www.sweden.gov.se/sb/d/12132> , Nerladdad 2010-10-29
- Sonneville, (2009a), *Low Vibration Track, system description*, Sonneville, Müntschmier, Schweiz
- Sonneville, (2009b), *Low Vibration Track, track adjustment and component substitution*, Sonneville, Müntschmier, Schweiz
- Sonneville, (2010a), *The slab track solution for the requirements of tomorrow – Low vibration track (LVT)*, Sonneville, Müntschmier, Schweiz
- Sonneville (2010b), *History* [online], <http://www.sonneville.com/about-sonneville/history/> , Nerladdad 2010-11-15
- Statens järnvägar, (1984), *SJF 541.42 Banteknik – banöverbyggnad sliprar*
- Sundquist, H., (1999), *Drift och underhåll av järnvägsbanor*, KTH - institutionen för byggkonstruktion, Stockholm
- Trafikverket, (2010), *Götalandsbanan - projektet avslutas som storprojekt* [online] <http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Vastra-Gotaland/Gotalandsbanan/Nyhetsarkiv-Gotalandsbanan/Nyheter/2010-06/Gotalandsbanan--projektet-avslutas-som-storprojekt/> , nerladdad 2010-10-29
- Vossloh, (2010), *Rail fastening systems for slab tracks, system 300*, Vossloh Fastening Systems, Werdehl , Tyskland
- Westlander, G., (1993), *Socialpsykologi - Tankemodeller om människor i arbete*. Akademiförlaget, Göteborg
- Yokoyama, A., (2007), Power point bilder: Slab Track Maintenance – The Shinkansen Experience, föreläsning på Rail Tech Europe 2007,
- Yokoyama, A., (2008), Utskrift av föreläsningen: Slab Track Maintenance – The Shinkansen Experience, föreläsning på Rail Tech Europe 2007, daterad 2008-07-02.
- Öresundsbron, (2010), *Järnvägen* [online], <http://se.oresundsbron.com/page/352>, Nerladdad 2010-11-05

## 8.2 Muntliga källor

- Frantzich, M (2010), telefonsamtal 2010-11-10, säljare Edilon)(Sedra Skandinavien
- Hartman, R., (2010), telefonintervju 2010-11-15, operation manager på Infrasppeed



Knittel, S., (2010), telefonintervju 2010-11-19, CEO Rhomberg Rail Consult GmbH, Salzburg Austria

Laborenz, P.(2010), E-post intervju 2010-11-09, Vice-President Sonneville AG

Liu, G.(2010), Muntlig intervju 2010-10-13 och chatt 2010-10-29, Banedanmark och Vectura Danmark.

Lundgren, M., (2010), intervju 2010-11-04 och e-post 2010-11-18, underhållsledare för järnvägen på Öresundsbroförbindelsen

de Man, A., (2010), E-post intervju 2010-11-09 och 2010-11-11, System Development Manager på Edilon)(Sedra bv

Nawrat, W., (2010), telefonintervju 2010-10-11, 2010-10-18 och 2010-11-02, chef på avdelningen engineering and development på Rail.One.

Stolz, C., (2010), E-post intervju 2010-10-11, 2010-10-25 och 2010-11-01, specialist på fixerat spår, Deutsche Bahn – DB Systemtechnik

Yokoyama, A., (2010), E-post intervju 2010-10-08 och 2010-10-12, Director Japan Railways group, Japan Rail,