

# Järnväg på bro

**- Är det lönsamt att bygga järnväg på bro istället för på marken?**



**LUNDS  
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Institutionen för Teknik och samhälle**

Examensarbete:  
Erik Hansson  
André Rosengren

© Copyright Erik Hansson, André Rosengren

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

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

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2013

## **Förord**

Detta examensarbete har bedrivits under första halvåret av 2013 som en avslutande del av utbildningen Högskoleingenjör i byggt teknik – järnvägsteknik vid Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg. Utbildningen omfattar 180 högskolepoäng varav examensarbetet uppgår till 22,5 högskolepoäng.

Arbetet har mestadels skrivits på Vectura Consulting AB i Helsingborg men även på kontoret i Malmö. Uppslaget till arbetet kom via en föreläsning i skolan där metoder med prefabricering och montering av färdiga brokonstruktioner diskuterades. Metoden finns utomlands och vi kände att vi ville fördjupa oss i möjligheten att använda sig av metoden i Sverige.

Arbetsfördelningen har varit jämt fördelad mellan oss båda. Det som den ene har skrivit har den andre korekturläst för att båda ska känna sig nöjda med arbetet.

Vi vill tacka Vectura för möjligheten till att skriva examensarbetet på företaget. Samtidigt vill vi tacka alla inblandade, särskilt vår handledare Magnus Nilsson på Vectura och vår examinator från LTH, för den hjälp och vägledning vi fått under arbetets gång.

Helsingborg, juni 2013

Erik Hansson & André Rosengren



## Sammanfattning

Att förlägga hela järnvägslinjer på bro är, förmodligen, dyrare än att bygga linjen på traditionellt vis på marken. För att överväga möjligheten att bygga järnväg på bro krävs det att projektkostnaden är rimlig i förhållande till projektkostnaden för en järnväg på bank och i skärning. Projektkostnaderna beror inte enbart på själva byggkostnaden utan speglas också av förändrad barriäreffekt, annan typ av underhåll, förändrad trafiksäkerhet, markanspråk m.m. Att jämföra byggkostnad, bygghastighet och tidigare nämnda parametrar mellan en järnväg på bro och en traditionell järnväg ger en bild av hur stor möjligheten är för att framtida järnvägar byggs på bro.

Examensarbetet beskriver främst parametrar som talar för eller emot en järnvägslösning på bro. Skillnaden i byggkostnad mellan järnväg på bro och järnväg på mark lyfts också fram i arbetet. Vidare beskrivs ekonomiska samt samhällsekonomiska aspekter för att resultatet ska visa om det är försvarbart att bygga järnväg på bro istället för på bank och i skärning. Arbetet bygger på intervjuer med branschfolk samt litteratursökning från böcker, tidskrifter, rapporter och hemsidor.

De senaste 150 åren har järnvägens utformning sett ut på samma sätt. Banorna dras genom landskapet och ju högre hastighet, desto svårare är det att anpassa banan efter landskapets förändringar. Med höghastighetståg och de högre hastigheterna ökar belastningen på bankroppen på grund av större laterala och vertikala krafter. Högre hastigheter har bidragit till att användandet av ballastfria spår ökat vid nybyggnation av banor. Samtidigt spelar livscykelkostnaden nu en mer central roll vid val av byggmetod och det ballastfria spårets fördelar som dess lägre underhåll, låga vikt och längre livslängd gör att valet oftare faller på ballastfritt spår framför ballasterat spår.

I Sverige planeras det för höghastighetståg mellan Järna och Linköping. Ostlänken, som projektet kallas, planeras i järnvägsutredningen som en 15 mil dubbelspårig järnväg för hastigheter upp emot 320 km/h. Skillnaden mot många andra länder är att sträckan mellan Järna och Linköping anläggs på ballastbädd. Vanligtvis byggs nya höghastighetsbanorna på ballastfritt spår vilket kan ses i bland annat Tyskland, Japan, Taiwan och Kina.

För att bygga höghastighetsjärnväg på bro finns det två möjliga metoder. Dessa är med prefabricerade element eller med kontinuerlig gjutning vilka båda bör utrustas med ballastfritt spår. Examensarbetet fokuserar på metoden med prefabricerade broelement. För längre järnvägssträckor, över 2-3 kilometer, kan det vara lönsamt att investera i separata fabriker för produktionen av broelement. En separat fabrik för ändamålet ökar chanserna till en mer industrialiserad produktion under kontrollerade former med lika

god kvalitet som platsgjutet. Fördelen med en prefabriceringsmetod är att kontrollsystemet blir bättre och förspänd armering i brosegmenten kan användas på ett annat sätt. Svagheten med prefabricerade broelement är sammanfogningen ute i fält. Fogarna utsätts för stora krafter och är en kritisk punkt i konstruktionen.

Byggtiden för ett ballastfritt spår är 25-30 % längre än för ballasterat spår. För själva bron råder det delade meningar om bygghastigheten men det tyder på att bygghastigheten är omkring 20-40 meter per dag beroende på hur långa brospannen är. Byggtiden för ballasterat dubbelspår beräknas till omkring 40 meter per dag.

Projektkostnaden styrs till stor del av markförhållandena. Vid normala förhållanden bedöms den troliga kostnaden för ett ballasterat dubbelspår till 38 000 kr/m och vid sämre förhållanden upp emot 200 000 kr/m. Ett broförlagt dubbelspår bedöms kosta cirka 239 000 kr/m (medelkostnad) upp till 440 000 kr/m.

Samhällsekonomisk lönsamhet av ett projekt uppnås om den sammanvägda nyttan är större än den sammanvägda förlusten. Bedömningen görs utifrån bland annat barriäreffekter, buller, trafiksäkerhet, markanspråk och underhållskostnader som krävs för att upprätthålla banans standard. Chansen för samhällsekonomisk lönsamhet är större om projektet blir färdigt så fort som möjligt då detta genererar intäkter tidigare.

Antalet underhållsåtgärder minskar när järnväg förläggs på bro. Det mest kritiska underhållet blir räls slipning, samt underhållet i kontaktpunkterna mellan brospannen och pelarna. Till stor del undviks dräneringsproblem och problem som uppstår till följd av uppfrysningar i marken. Underhållskostnaden för ett ballastfritt spår är 20-30 % lägre och i vissa fall upp till 70 % lägre än för ballasterat spår.

Typiskt för en bro är att den visuellt stör omgivningen och att den fysiska barriären i landskapet minskas. Att förlägga järnvägen på bro leder till att passage under densamma är mer tillgänglig för både djur och människor. Beroende på vilken barriäreffekt som värderas högst kan järnvägsbron i förhållande till en traditionellt byggd järnväg ses som både positiv och negativ.

Val av byggmetod har en betydande inverkan på hur mycket mark som används. En broförlagd dubbelspårig järnväg kräver mycket mindre schaktning samtidigt som markanspråket för en bro är  $0,6 \text{ m}^2/\text{m}$  och markanspråket för traditionell dubbelspårig järnväg är  $21 \text{ m}^2/\text{m}$ .

Ur ett kortsiktigt och rent ekonomiskt perspektiv är det inte försvarbart att bygga järnväg på bro. För att välja en järnväglösning på bro krävs det ett långsiktigt perspektiv sett till underhållskostnad och antalet underhållsåtgärder, trafiksäkerhetsaspekter samt påverkan/utnyttjande av närliggande marker. Huruvida det är lönsamt att bygga höghastighetsjärnväg på bro beror på vad som värderas högst.

Nyckelord: Prefabricering, barriäreffekt, höghastighetsjärnväg, underhåll, broförlagd järnväg, byggtid, ballastfritt spår, samhällsekonomisk lönsamhet.





## Summary

To build an elevated railway is, presumed to be more expensive than the traditional way of construction of railway lines on the ground. Consideration of the possibility to construct an elevated railway line requires that the project costs are reasonable in relation to the project cost for a railway using cut and fill techniques. Project costs depend on not only the actual construction cost but are also reflected by altered barrier effects, changed maintenance needs, changed security, land usage etc. To compare the construction cost, construction speed and the aforementioned parameters between an elevated railway and a traditional railway provides a picture of how likely it is that future railways will be built elevated.

The thesis primarily describes parameters that speak for or against an elevated railway solution. The difference in construction cost between an elevated railway and a railway on land are also highlighted in the work. Further, the report also describes the economic and socio-economic aspects for the results to see if it is profitable to build an elevated railway instead of being placed on bank and in cutting. The thesis is based on interviews with industry professionals as well as a literature search in books, journals, reports and websites.

Railway design has looked the same way for the past 150 years. The lines are drawn through the countryside and the higher the speed, the more difficult it is to adjust the track to changes in the landscape. With high-speed trains and greater speeds, the load on the track bed increases due to greater lateral and vertical forces. Higher speeds have contributed to the increased use of slab track when building new railway tracks. In addition, LCC now has a more central role in the selection of the construction method. The slab track advantages that are lower maintenance, low weight and long life mean that the choice often falls on slab track in front of ballasted tracks.

In Sweden, there are plans for high-speed railway between Järna and Linköping. Ostlänken, as the project is named, is under investigation and planned as a 150 km double-track railway for speeds up to 320 km/h. The difference from many other countries is that the track between Järna and Linköping is designed with ballast bed. Slab track is more typical for high-speed lines, as seen in countries such as Germany, Japan, Taiwan and China.

In order to build elevated high-speed rail there are two possible methods. These are prefabricated elements or continuous casting, both of which should be equipped with slab track. The thesis focuses on the method of prefabricated bridge elements. For long stretches of elevated railway, over 2-3 km, it may be worthwhile to invest in separate factories for production of bridge elements. A

specially designed factory, for the purpose of more industrialized production, under controlled forms with as good quality as a cast in place. The advantage of prefabrication method is that the quality control system is better and pre-stressed concrete can be used in more ways. The downside of prefabricated elements is the joining of the elements out in the field. The joints between elements are subjected to high forces and are a critical point in the design.

The construction time for a slab track is 25-30 % longer than for ballasted tracks. There is disagreement on building speed for the bridge itself. It is suggested that construction speed is about 20-40 meters per day, depending on how long the span is. The estimated construction time for ballasted double track is about 40 meters/day.

The project cost is largely determined by the soil conditions. The cost of a ballasted double track under normal conditions is estimated to 38 000 SEK/m and at worst conditions up to 200 000 SEK/m. An elevated double track is calculated to cost about 239 000 SEK/m (average cost) up to 440 000 SEK/m.

Socio-economic profitability of the project is achieved if the benefits for one part are greater than the loss for other parts. The evaluation is based on amongst other factors, barrier effects, noise, safety, land usage and maintenance costs required to maintain the track standards. The chances for a positive socio-economic cost-benefit are greater if the project is completed in less time, through generated income at an earlier stage.

The amount of maintenance required decreases when a railway is elevated. The most critical maintenance is rail grinding, and maintenance of the points of contact between the span and the pillars. Elevated railway reduces drainage problems and problems that arise because of frost heaving in the soil. Maintenance costs of a slab track are usually 20-30 % lower, and in some cases up to 70 %, than for ballasted tracks.

Typical characteristics of a bridge are that it visually disturbs the surroundings and the physical barrier of the landscape is reduced. Building elevated railways creates a possible passage under it, which increases accessibility to both animals and humans. The barrier effect created by an elevated railway compared to a traditionally built railway can be seen as both positive and negative.

Selection of construction method has a significant impact on the amount of land used. An elevated double track railway requires much less excavation as well as land claim for a bridge is only 0.6 m<sup>2</sup>/m. Land claim for the traditional double track railway is 21 m<sup>2</sup>/m.

From a short-term and purely financial perspective, it is not profitable to build an elevated railway. To select an elevated rail solution requires a long-term perspective in terms of maintenance cost, the number of maintenance operations, safety and impact/use of adjacent lands. Whether it is profitable to build elevated high-speed rail depends on what is valued most highly.

Keywords: Prefabrication, barrier effect, high-speed railway, maintenance elevated railway, construction time, slab track, socio-economic profitability.



# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Syfte</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Metod</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Intervjuteknik</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 Utformning av intervjuer</b> .....	<b>3</b>
<b>2.3 Respondenter</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Teori</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1 Utformning av järnväg</b> .....	<b>5</b>
3.1.1 Byggteknik för traditionell järnväg.....	5
3.1.2 Ballastfritt spår .....	6
<b>3.2 Höghastighetsbanor</b> .....	<b>9</b>
3.2.1 Ostlänken.....	10
3.2.2 Cordoba - Malaga .....	11
3.2.3 Turin-Milano-Bologna.....	12
3.2.4 Taiwan High Speed Railway .....	13
<b>3.3 Byggteknik och utformning av prefabricerade broar</b> .....	<b>14</b>
<b>3.4 Byggtid</b> .....	<b>18</b>
3.4.1 Traditionell järnväg.....	18
3.4.2 Bro med ballastfritt spår .....	18
<b>3.5 Investeringskostnad</b> .....	<b>19</b>
<b>3.6 Samhällsekonomiska effekter</b> .....	<b>22</b>
3.6.1 Underhåll .....	24
3.6.2 Barriäreffekt .....	30
3.6.3 Markanspråk .....	34
<b>4 Resultat</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1 Investering</b> .....	<b>39</b>
<b>4.2 Barriäreffekter</b> .....	<b>40</b>
<b>4.3 Markanspråk</b> .....	<b>41</b>
<b>4.4 Underhåll</b> .....	<b>42</b>
<b>4.5 Jämförelse</b> .....	<b>43</b>
<b>5 Diskussion</b> .....	<b>45</b>
<b>6 Slutsats och vidare studier</b> .....	<b>49</b>
<b>7 Referenser</b> .....	<b>50</b>
<b>7.1 Skriftliga referenser</b> .....	<b>50</b>
<b>7.2 Muntliga referenser</b> .....	<b>53</b>
<b>7.3 Figurförteckning</b> .....	<b>54</b>
<b>7.4 Tabellförteckning</b> .....	<b>54</b>
<b>8 Bilaga</b> .....	<b>55</b>



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

I början av 1800-talet hade järnvägar börjat byggas ute i Europa med England som det stora föregångslandet. Även i Sverige började det diskuteras om järnvägen var ett alternativt sätt för transporter. Till en början gick det dock långsamt med införandet av järnvägen då bygget av bland annat Göta kanal hade kostat mycket pengar och transporter inom landet skulle därmed gå sjövägen och på de kanaler som anlagts (Bårström & Granbom, 2012).

Diskussioner om järnvägen fortsatte dock och beslut fattades om att ett stomnät skulle byggas i Sverige och bekostas av staten. År 1862 färdigställdes den sista biten av Västra Stambanan mellan Stockholm och Göteborg och den första stora järnvägslinjen öppnade i Sverige. Med den nya transportlinjen förkortades restiden drastiskt mellan Sveriges två största städer. I stort sett samma linje finns kvar än idag, mer än 150 år senare, och fungerar nu som ett av Sveriges viktigaste transportstråk (Bårström & Granbom, 2012).

Historiskt har järnvägens utformning generellt sett varit likadan de senaste 150 åren. Järnvägen dras fram genom landskapet och måste anpassas efter detsamma till följd av att möjligheterna till kurvtagning och branta lutningar är begränsade. Långa sträckor går dagens järnvägar på uppbyggda banker eller i djupa skärningar för att klara av landskapets förändringar. Vid allt högre hastigheter krävs större radier och det blir därmed svårare att anpassa sig till terrängen. Nyare banor innehåller därför en allt större del tunnlar och broar för att klara av terrängförhållandena och tillåta högre hastigheter.

Detta arbete handlar om att förlägga hela järnvägslinjer på bro och därigenom kunna tillåta en rakare linjeföring med högre hastigheter. Att förlägga järnväg konstant på bro är, förmodligen, dyrare än att bygga järnväg på traditionellt vis på marken. För att kunna motivera och överväga en järnvägslösning som förläggs kontinuerligt på bro krävs det att projektkostnaden är rimlig i jämförelse med projektkostnaden om järnvägen förläggs på bank. Projektkostnaden kan ses som rimlig om skillnaden i kostnad mellan de två olika byggsätten kan vägas upp genom att underhållet blir billigare, att den fysiska barriäreffekten försvinner, att nivåskillnaden leder till att intrång av banområde blir svårare etc.

Den högsta tillåtna hastigheten på järnvägar runt om i världen ökar ständigt. Vid högre hastigheter belastas bankroppen av större vertikala och laterala krafter. Vid nybyggnation av järnväg för höga hastigheter används därför allt mer olika varianter av ballastfria spår (Nyquist, 2010).

Historiskt sett har metoden med ballastfritt spår funnits sedan början av 1900-talet men det var först på 1970-talet som användandet och utvecklingen tog fart på allvar. Den stadiga ökningen av maxhastigheterna för nybyggda banor har även den medfört att användandet av ballastfritt spår ökat alltmer (Michas, 2012).

Världens första separata höghastighetsbana öppnades i Japan i samband med att sommar-OS gick där år 1964 och är ett exempel på en bana som hastigheten uppgraderats på. Där var hastigheten vid start 210 km/h medan det idag körs i 270 km/h på samma bana. Efter detta dröjde det ett tag till att resten av världen följde efter Japan i byggandet av höghastighetståg. I bland annat Frankrike och Spanien körs idag höghastighetståg med hastigheter av 300 km/h i reguljär trafik (Nelldal, 2008a).

Att bygga en ny höghastighetslinje i Sverige på bro istället för på marken ser vi flera fördelar med, vilka kommer att belysas i denna rapport. Oavsett vilken byggmetod som används skulle en ny höghastighetslinje bidra till en regionförstoring i Sverige som i sin tur gynnar arbetsutvecklingen.

## **1.2 Syfte**

Syftet med examensarbetet är att lyfta fram parametrar som talar för eller emot en broförlagd järnväg. Syftet är också att presentera byggkostnader för en järnväglösning på bro med en ballastfri spårlösning och jämföra dessa för samma, eller liknande, linjedragning på bank. Detta examensarbete syftar också till att undersöka om det, ur ekonomisk och samhällsekonomisk synpunkt, kan anses vara lönsamt att bygga järnväg på bro.



## **2 Metod**

För att uppnå examensarbetets syfte och för att resultatet ska vara tillförlitligt valdes att lägga fokus på intervjuer med branschfolk. Därutöver har litteratursökning i tidskrifter, böcker, rapporter och tidigare publicerade examensarbeten genomförts. Utöver intervjuer och litteratursökning har olika referensprojekt använts för att resultat ska kunna presenteras på ett jämförbart sätt, med förankring till verkligheten.

### **2.1 Intervjuteknik**

Intervjuerna genomfördes, i så stor utsträckning som det var möjligt, genom inbokning av personliga möten med respondenterna. Om respondenten i fråga, på något sätt, ej varit tillgänglig för ett personligt möte har intervju på distans varit en alternativ lösning. Förslag på intervjuplats och tid lämnades till de tillfrågade respondenterna. Den som intervjuas har fått bestämma tid och plats i den mån det varit genomförbart. Enligt Trost (2005) känner sig respondenten tryggare i en miljö som denne själv valt. Respondenter som inte har haft möjlighet att träffas för en intervju har istället svarat på intervjufrågorna via e-post.

Ljudupptagning av intervjuer har godkänts av respondenterna och har genomförts i den mån det varit möjligt. Respondenterna har även lämnat sitt medgivande för att användas som referenser i examensarbetet.

### **2.2 Utformning av intervjuer**

För att genomföra intervjuer med tilltänkta respondenter har kontakt tagits via e-post eller telefon. Med hjälp av bland annat handledaren i examensarbetet har relevanta intervjupersoner hittats.

Vid kvalitativa intervjuer är det viktigt att rätt person intervjuas och därför är inledande informella samtal att föredra innan intervjun genomförs, detta leder till att frågeställningen blir mer relevant (Repstad, 2007). Personer som sedan deltagit i en intervju har innan intervjun bokats in, fått svara på allmänna frågor kring det specifika ämnet för att intervjun i så stor utsträckning som möjligt skulle beröra respondenternas kunskapsområde.

För examensarbetet har fem intervjuer genomförts. Vid ett för stort antal intervjuer är det lätt hänt att analysen blir ytlig. Enligt Repstad (2007) är det svårt att säga vid vilket antal som intervjuerna blir överflödiga, men så länge intervjuerna leder till större kunskap och ny kunskap och inte blir upprepande kan de fortgå. Frågorna som ställts under intervjuerna har varit öppna för att respondenten skulle kunna svara så fritt som möjligt utan styrning åt endera

riktning (Keats, 2001). Några frågor har varit riktade för att få bekräftat eller dementerat examensarbetarnas tankar.

Användbarheten av information som förvärvats genom intervjuer beror på hur trovärdig källan är. Kan samma information inhämtas från en oberoende part stärks trovärdigheten till källan (Magne Holme & Krohn Solvang, 1997). Därför har framförallt de intervjusvar som upplevts tveksamma, undersökts efteråt.

## **2.3 Respondenter**

Magnus Brommesson arbetar med broprojektering på Vectura. Till stor del berör Magnus Brommessons arbete vägbroar av betong. Han har tidigare gjort dynamiska analyser av järnvägsbroar för höghastighetståg. Med intervjun (Bilaga 1) söktes svar på utformning av broelement, byggtider och kostnader för uppförandet av broar samt vilka fördelar- och nackdelar en brokonstruktion kan medföra.

Per Corshammar är järnvägsingenjör och utredningsexpert på Ramböll. Per Corshammar har, i egenskap av sitt stora intresse för höghastighetsjärnväg på bro, intervjuats för att få inblick i tekniken. Med intervjun (Bilaga 1) söks svar på frågor som berör de olika metoderna som finns för att bygga järnvägsbroar och allmänna frågor kring barriär, säkerhet och kostnader.

Ragnar Hedström arbetar på VTI i Linköping och på Järnvägsskolan i Ängelholm. Ragnar Hedström har arbetat med underhållsfrågor inom järnväg sedan år 1990. Intervjuns (Bilaga 1) syfte var att undersöka vilka underhållsåtgärder av järnväg, som är de vanligaste och viktigaste. Sökt i intervjun är även effekterna av och kostnaderna för underhållsåtgärderna, som nämnts av respondenten.

Lars-Erik Jelcander arbetar sedan fyra år tillbaka som seniorkonsult inom Vectura Consulting AB, Malmö, teknik bana. Han har tidigare arbetat med ballastfria spår vid Copenhagen Metro. Lars-Erik Jelcander har intervjuats gällande ballastfria spår (Bilaga 1) och syftet med intervjun var att undersöka det ballastfria spårets för- och nackdelar i jämförelse med ballasterat spår. Utöver för- och nackdelar har svar om kostnader för underhållet sökts.

Karl Lundstedt arbetar som gruppchef för brogruppen på Skanska Teknik. Lundstedt har arbetat på Skanska sedan år 1982. Intervjun med Karl Lundstedt berör frågor om prefabricering och olika typer av konstruktion (Bilaga 1). Syftet med intervjun är att få en inblick i hur broar konstrueras och hur en prefabricerad bro kan jämföras med en platsgjuten bro.

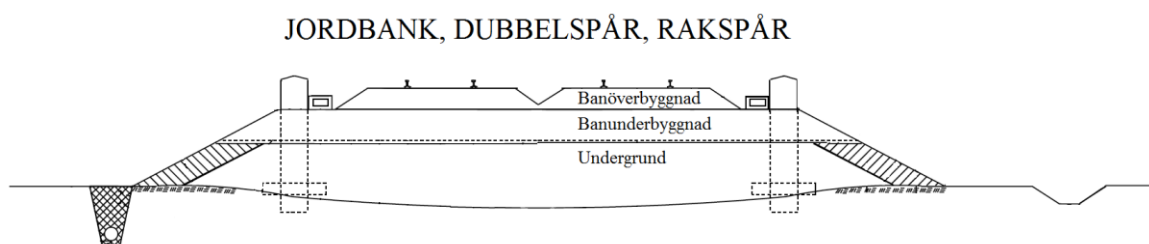
## 3 Teori

### 3.1 Utformning av järnväg

#### 3.1.1 Byggteknik för traditionell järnväg

Järnvägsnätet är ett komplext system som består av flera olika beståndsdelar, från undergrund till telekommunikationsanläggningar. De är ofta beroende av varandra och samverkar för att det ska vara möjligt att hantera tågtrafiken. De sju delsystemen i järnvägsnätet är undergrund, banunderbyggnad, banöverbyggnad, elkraftförsörjningsanläggningar, kontaktledningar, signalsystem och telekommunikationsanläggningar (Bårström & Granbom, 2012).

Prestandan avgörs främst av banans geometri. För att tillåta högre hastigheter måste radierna vara stora. Om det körs tunga tåg i lägre hastighet får banans lutning inte överstiga 10 ‰. Vid byggnation av en bana kan det ibland vara svårt att anpassa sig till landskapets naturliga utformning (Bårström & Granbom, 2012).



**Figur 1: Typsektion för ett ballasterat dubbelspår, efter (Trafikverket, 2012b).**

Undergrunden är den del av järnvägs kroppen som ska ta upp alla krafter till följd av påfrestningar från trafikering och banans egentyngd. Det är lämpligt att järnväg förläggs till en sträckning med friktionsjordar, då dessa på ett bra sätt dämpar de svängningar och vibrationer som trafikeringen ger upphov till. Generellt sett är det ej önskvärt att bygga järnväg i områden med naturligt blöta markförhållande (ler- och siltjordar) då risken för sättningar, uppfrysning och vibrations spridning ökar (Bårström & Granbom, 2012).

Banunderbyggnad är nästa lager i en järnvägs kropp och den skapas ofta med material från undergrunden. Denna del är mer eller mindre elastisk och för att minska de dynamiska krafttillskotten från tågtrafikeringen eftersträvas viss eftergivlighet. Översta lagret i underbyggnaden är underballast. Med underballasten uppnås den elastiska funktion som nämnts ovan. Lagertjockleken varierar med bärighetskraven för banan och köldförhållandena i området (Bårström & Granbom, 2012).

Järnvägar förläggs i antingen bank eller skärning. Banunderbyggnadens utformning har ändrats med tiden och nu, när det ofta eftersträvas banor som

tillåter högre hastigheter, byggs underbyggnaden med släntlutningen 1:2 för att krafterna ökar när hastigheten stiger. Slänterna täcks med grövre material för att höja stabiliteten. Utöver detta ska underbyggnaden utrustas med kanalisation för signal-, el- och telekablar samt eventuellt ett spärrlager geotextil som hindrar finkornigt material från att tränga upp i underballasten (Bårström & Granbom, 2012).

Nästa lager, som primärt tar upp de laterala och vertikala krafterna, heter banöverbyggnad. I detta lager ingår ballast, som består av makadam, samt spårkomponenter (Bårström & Granbom, 2012). Det används två olika klasser av makadam, klass 1 och klass 2. De två olika klasserna beskriver vilken storlek materialet har och hur pass beständigt det är (Banverket, 2004). De laterala och vertikala krafterna fördelas sedan jämt i underbyggnaden. Bredd och djup på banöverbyggnaden kan variera till följd av olika bärighetskrav. Generellt sett är banöverbyggnadens krön bredare i kurvor på grund av det krävs större sidostabilitet i cirkulärdelar än vid rakspår (Bårström & Granbom, 2012).

Förutom rälsen som tågen rullar på, ingår också sliprar och befästningar i vad som kallas spårkomponenter. Sliprarna, vanligen av betong, förläggs tvärgående och något nedgrävda i makadamen, på standardavståndet 60 centimeter (för axellast 25 ton). Dagens betongslipers är 2,5 meter långa. Ovanpå slipers monteras två längsgående räler som då fungerar som farbana. För att rälen inte ska flyttas i förhållande till slipers så monteras dessa två ihop med hjälp av befästningar av olika slag. Den vanligaste befästningen för betongsliprar i Sverige är tillverkade av Pandrol (Bårström & Granbom, 2012).

### 3.1.2 Ballastfritt spår

Från att det traditionellt inom nybyggnation av järnväg ofta fokuserats på produktionskostnad vid val av byggmetod går det i dagsläget allt mer mot att livscykelkostnaden för ett projekt är det som styr vilken byggmetod som skall användas. Tack vare denna förändring i synen på vilken kostnad det är som styr, har metoden med ballastfritt spår blivit alltmer använd (Esveld, 2001).

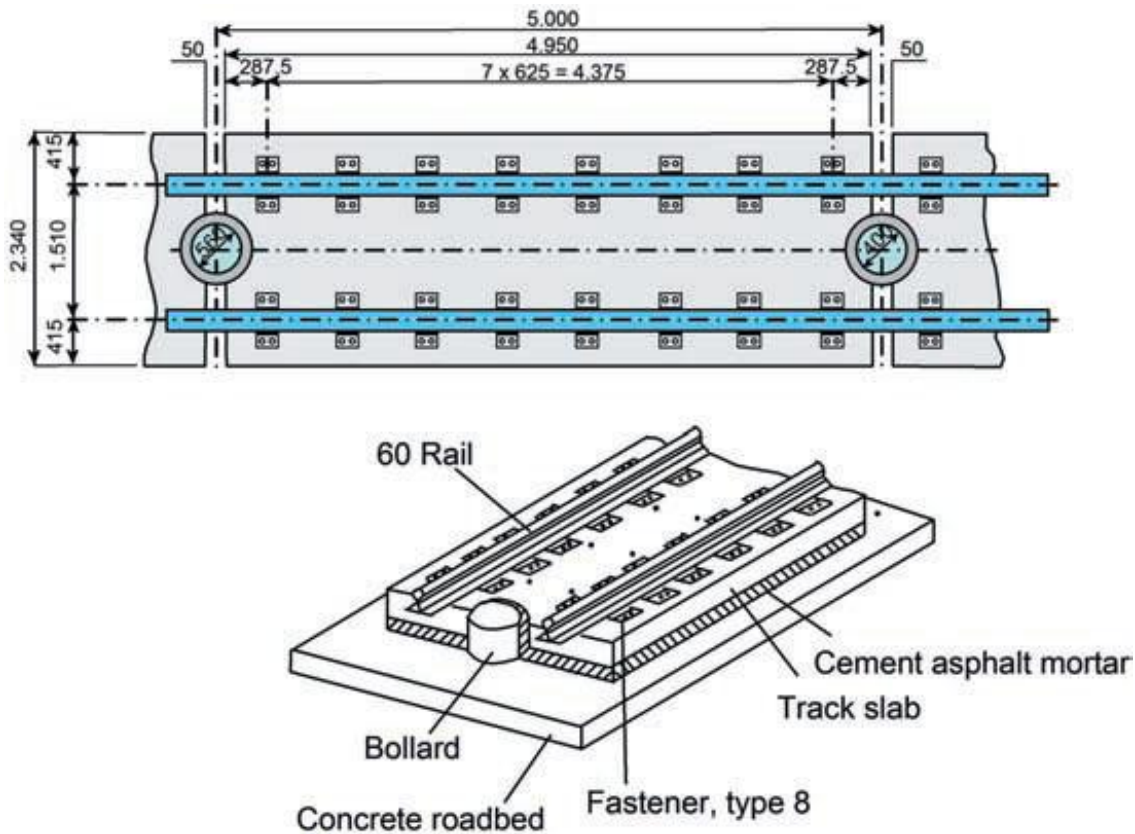
Ballastfritt spår består av ett betongblock som räler fästs i istället för slipers med mellanliggande ballast. Metoden med ballastfritt spår har främst använts för järnvägar i tätbebyggda områden och för höghastighetslinjer (Michas, 2012). Ballastfritt spår har en lägre konstruktionshöjd än ett traditionellt ballasterat spår, och ger en slankare och lättare konstruktion som medför att mindre laster verkar på brokonstruktionen (Jelcander, 2013).

Ballastfritt spår är dyrare att bygga än ett traditionellt ballasterat spår. Det ballastfria spårets fördelar är dess lägre underhållsbehov, lägre bygghöjd, högre stabila hållfasthet, lägre vikt och dess längre livslängd. Detta innebär att det i många fall inte medför en större kostnad med ett ballastfritt spår än med traditionellt ballasterat spår (Esveld, 2001). Ballastfritt spår har en teknisk livslängd som är 50-60 % längre än det traditionella ballasterade spåret (Jelcander, 2013).

Det finns två huvudtyper av ballastfritt spår. Ballastfritt spår med kontinuerligt stöd och ballastfritt spår med åtskilda stöd. Ballastfritt spår med kontinuerligt stöd innebär att rälerna gjuts ned i betongen och därigenom får sitt stöd och sin stabilitet. Mellan betongen och rälerna används ett elastiskt material för att medge rörelser mellan räl och betong. En nackdel med metoden är den låga flexibiliteten i systemet. När rälen väl är fastgjuten i betongplattan är variationsmöjligheterna små. Ballastfritt spår med åtskilda stöd har i sin tur ett befästningssystem som bygger på punktvis fastsättning av rälen i bankroppen med hjälp av befästningar. Denna typ av ballastfritt spår är mer flexibelt, än ett ballastfritt spår med kontinuerligt stöd. Möjlighet att kompensera för mindre sättningar i spåret uppnås genom att speciella befästningar används som kan varieras i höjd och sidled utan att klämkraften försämras (Michas, 2012).

De två ballastfria systemen som använts mest i världen idag är det tyska Bögl och japanska Shinkansen. Båda systemen bygger på tekniker med prefabricerade betongelement (Michas, 2012).

Shinkansen bygger på en betongplatta som gjuts på plats för att bilda det undre bärlagret. I den undre betongplattan gjuts pollare (se Figur 2, ”Bollard”) in som tar upp krafter från spåret. Ovanpå detta placeras sedan prefabricerade betongelement (Figur 2 nedan) som befästningar är monterade i. Mellan bärlagret och betongplattan fungerar ett oljebaserat medel som bindlager. Ibland används även en gummimatta som mellanliggande lager för att minska överföring av vibrationer från bana till omgivningen ska uppnås. Betongelementets vikt kan minskas med hjälp av ett hål mitt mellan rälerna på plattan. Under konstruktion av ett nytt ballastfritt spår av modellen Shinkansen kan 200-280 meter färdigt spår läggas ut per dag (Michas, 2012).



**Figur 2: Shinkansen slab track (Esveld, 2003).**

I Tyskland används systemet Bögl. Bögl är prefabricerat och liknar det japanska Shinkansen. Systemet bygger på en legoliknande modell där färdiggjutna plattor placeras ut på en underliggande betongplatta (Michas, 2012). Vid rätt justering i höjddled gjuts de båda plattorna ihop. I Bögl tas alla längs- och sidogående krafter upp av friktionen mellan betongplattan, bindbruket och underbyggnadens betongplatta (Nyquist, 2010). I de prefabricerade betongplattorna i systemet finns det förgjutna tvärgående fördjupningar (Figur 3 nästa sida) på ovansidan som vid uppkomst av sprickor styr dessa i viss riktning (Michas, 2012).



**Figur 3: Bögl slab track (Esveld, 2003).**

I flera av de länder som idag bygger höghastighetsjärnvägar, så som Tyskland, Holland, Japan och Kina används i stort sett endast ballastfria spårlösningar. Detta för den större tillgängligheten som kommer med en ballastfri spårlösning samt den bättre spårlägeskvaliteten (SOU 2009:74).

### **3.2 Höghastighetsbanor**

Användandet av begreppet höghastighetståg och höghastighetsbanor används allt mer men det finns ingen riktig enighet om vad som menas med begreppet. När X2000 lanserades i början av 1990-talet benämndes det av många som ett höghastighetståg medan det idag antagligen inte skulle anses som detta. I de gemensamma reglerna för interoperabilitet inom EU, kallade TSD (Tekniska Specifikationer för Driftskompatibilitet), finns det tre klasser av banor som klassas som höghastighetsbanor (Europeiska Gemenskapens Kommission, 2007):

*Klass I* – Linjer som är särskilt anlagda för höghastighetståg och med högre hastigheter än 250 km/h.

*Klass II* – Befintliga linjer som är uppgraderade och anpassade för höghastighetståg och för hastigheter kring 200 km/h.

*Klass III* – Befintliga linjer som är uppgraderade och anpassade för höghastighetståg rent fysiskt men som på grund av speciella omständigheter till följd av topografi, höjdskillnader eller stadsbebyggelse har begränsad hastighet från fall till fall.

Nelldal (2008) menar att definitionen av höghastighetsbanor är banor som är anpassade för 250-300 km/h men att det i praktiken alltid menas hastigheter över 300 km/h. Anledningen till att begreppet är så olika är att det finns flera olika varianter på banor som klassas som höghastighetsbanor men även att nyare teknik gjort det möjligt att höja hastigheten på gamla banor fortsätter Nelldal (2008).

Världens första höghastighetsbana uppfördes i Japan (Nelldal, 2008). Europas första höghastighetsbana öppnades i Frankrike år 1981, mellan Paris och Lyon, och trafikeras av TGV (Train à Grande Vitesse). Ett par år efter öppnandet uppmättes det att den nya höghastighetslinjen i Frankrike hade halverat antalet flygresor för den sträckan. Denna effekt har visats på flera ställen och i vissa fall har höghastighetståg helt ersatt flygresorna. Utbyggnaden har fortsatt i Frankrike och omfattar idag höghastighetsspår på upp emot 200 mil. TGV står för 57 % av det totala resandet med tåg i Frankrike (Barin, 2012).

Ett land som är på stark frammarsch gällande höghastighetståg i Europa är Spanien. Där har regeringen i sin infrastrukturpolitik som mål att Spanien skall ha 1000 mil höghastighetsjärnväg innan år 2020 och att 90 % av befolkningen skall bo inom ett avstånd av 5 mil från en järnvägsstation i direkt anslutning till höghastighetsnätet. Vidare planerar Spanien att knyta samman sitt höghastighetsnät med det franska så att landet kommer ”närmare” Europa (Barin, 2012).

I Europa idag finns det cirka 550 mil höghastighetsjärnväg i främst Frankrike, Tyskland och Spanien. 350 mil är under uppbyggnad och ytterligare 850 mil är planerat till år 2025. De nya höghastighetsspåren knyter samman Europa och skapar förutsättningar för handel och resor mellan större regioner, på ett miljövänligt och hållbart sätt (Barin, 2012).

### 3.2.1 Ostlänken

Höghastighetsbanor är en del i utvecklingen mot kortare restider och regionförstoring. Efterfrågan på bättre person- och godstrafik har ökat mycket de senaste åren och separata banor för de båda trafikslagen är av intresse (Nelldal, 2010). Ostlänken är en del av Götalandsbanan, som är en tänkt framtida höghastighetsbana, mellan Stockholm och Göteborg via Jönköping. Den består av en 15 mil lång dubbelspårig järnväg, mellan Järna och Linköping, som planeras för höghastighetståg (Trafikverket, 2013b). Ostlänken är inte bara en del av Götalandsbanan utan även en del av ett större projekt, Trans European Network (TEN), där ändamålet är att etablera ett multinätverk i Europa för att tillgodose snabba gods- och personresor mellan de europeiska medlemsländerna. Trans European Network ska på ett hållbart



sätt effektivisera transportnätverket med hänsyn till energieffektivitet och de rådande klimatförändringarna (European Commission, 2013).

Kortare restid med tåg mellan Stockholm och Göteborg eftersträvas. För att uppnå restidsmålet på 2 timmar och 15 minuter mellan städerna planeras Ostlänken, i järnvägsutredningen, för trafik med hastigheter på upp till 320 km/h. Med höga hastigheter krävs större kurvradier, upp mot 6600 meter, men ger samtidigt bättre toleranser för lutningar. Eftersom banan planeras för nationella, interregionala och regionala tåg och inte planeras för trafik av godståg kan det i vissa fall luta så mycket som 35 ‰ (Banverket, 2008).

Utmed sträckan byggs 27 tunnlar och totalt 155 broar, fördelat på 126 järnvägsbroar och 29 vägbroar (Trafikverket, 2013b). Med de höga hastigheterna medföljer att det inte kommer finnas några korsningar i plan. På alla ställen där järnvägen ska korsas kommer detta ske med planskildheter (Banverket, 2008).

Med Ostlänken följer en del påverkan på hälsa och trivsel. Utsikt kan försämrats, buller kan störa omgivningen och det kan skapas fysiska och/eller visuella barriärer. Ostlänken kommer att påverka närliggande områden och i järnvägsutredningen bedöms hur säkerheten förändras i dessa områden med den nya järnvägen. De risker som höghastighetsbanan medför och den säkerhet som förändras till det bättre, jämfört med den gamla banan, är bedömningsexempel. Bullernivåns påverkan nämns och inte minst görs en bedömning av vad Ostlänken kommer att kosta (Banverket, 2008).

Enligt svensk lag är grundsynen att fastighetsägaren ska vara skadeslös vare sig det handlar om att järnvägen påverkar ett privat boende eller en verksamhet. Den slutgiltiga sträckningen för Ostlänken kommer, som i många andra järnvägsprojekt, att innebära att en del fastighetsägare blir skadelidande. Den skadelidande ersätts oftast ekonomiskt för den del av fastigheten som berörs fysiskt av järnvägen (Trafikverket, 2012d).

### 3.2.2 Cordoba - Malaga

En del järnvägsprojekt har förlagts längre sträckor på bro. Bland annat finns exempel på detta byggsätt i länder som Kina, Japan, Spanien och Italien.

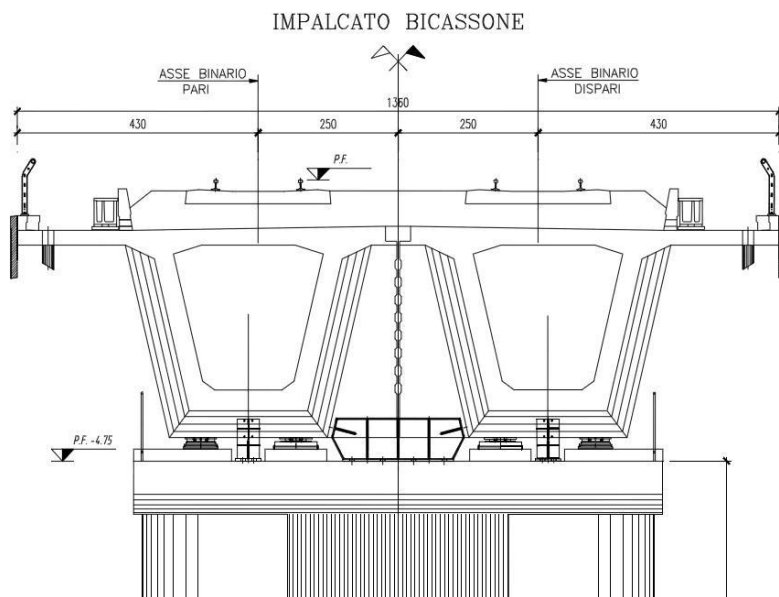
En del av Spaniens höghastighetsnät går mellan Cordoba och Malaga och linjen är totalt 155 km lång. Sträckan är ett dubbelspår avsett endast för persontrafik och öppnades under år 2006. Banan är designad för hastigheter upp till 350 km/h (Adif, 2013). Sträckan mellan Cordoba och Malaga är bland annat utrustad med en kontinuerlig bro som är 924 meter lång. Viaducto Arroyo del Salado (Figur 4), som bron heter, är en lådbalksbro bestående av 37 stycken spann á 25 m (Navas Montes, 2005).



**Figur 4: Viaducto Arroyo del Salado (Acciona, 2012).**

### 3.2.3 Turin-Milano-Bologna

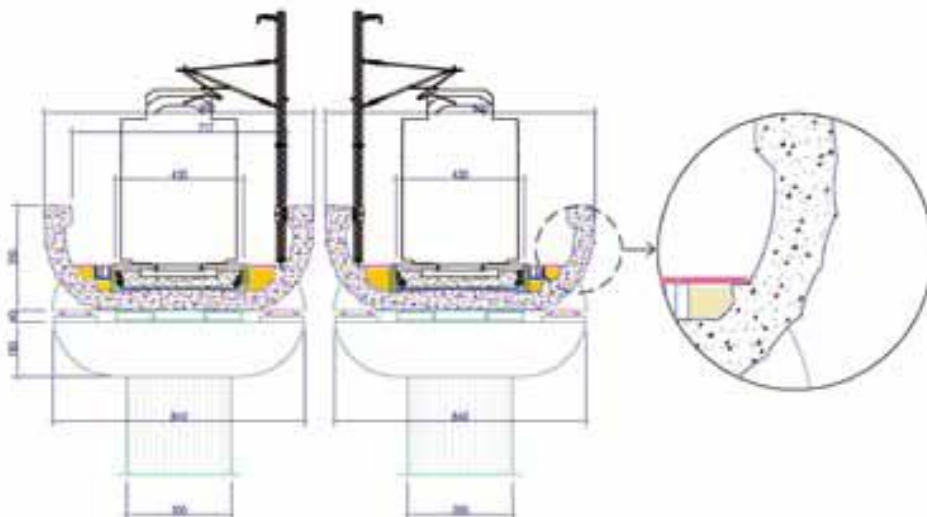
Italien är ett av de länder som byggt ut sitt höghastighetsnät på senare år. Delar av de nya linjerna är förlagda på bro. Mellan Turin och Milano är cirka 20 km förlagd på bro. Broarna har byggts genom prefabricering av broelement som sedan placerats ut på platsgjutna betongfundament. Modellen på broarna är inte samma överallt utan olika typer av prefabricerade element har använts. Bicassone är en av de vanligare metoderna för konstruktion av bro mellan Turin och Milano. Den bygger på två stycken prefabricerade lådbroar som placeras bredvid varandra för att bilda brospann för höghastighetsspåret. Spannen för Bicassone-modellen är 34,5 meter medan själva nettospännen mellan fundamenten är 32,1 m. Nedan (Figur 5) visas ett tvärsnitt av brotypen (Geremia et al. 2006).



**Figur 5: Tvärsnitt av Bicassone-modellen (Geremia et al. 2006).**

På sträckan mellan Milano och Bologna är delar av höghastighetsjärnvägen förlagd på bro. Här har en annan lösning använts för utformning av brosegmenten (Figur 6). Broметoden heter Omega och är döpt efter utformningen av tvärsnittet, som liknar den grekiska bokstaven med samma namn. Området som järnvägen går genom är ett platt jordbrukslandskap med

många lokala vägar. Detta tillsammans med de dåliga mekaniska egenskaperna i jorden gjorde att järnvägen förlades på bro. Vid utformningen av bron lades stor vikt vid att det visuella intrycket av konstruktionen skulle bli så litet som möjligt samt att bullereffekterna skulle minimeras. Tack vare omegautformningen av brokonstruktionen lyckades bullereffekterna hållas nere samtidigt som man uppnådde en låg konstruktionshöjd. Majoriteten av de 755 brospannen som producerades i fabriken är 31,5 meter långa. Vid byggandet av bron monterades ett spann om dagen i snitt. Den totala längden av viadukter med Omegasektioner är cirka 24 km. Segmenten är även försedda med en räfflad utsida, för att solen ska reflekteras åt olika håll och skapa ett mindre visuellt intryck (Rosignoli, 2012). Kostnaden för sträckan Milano – Bologna uppgick till 293 000 kr/m (Structurae, 2013b).



**Figur 6: Omegasektioner för höghastighetståg i Italien (Saipem, 2012).**

### 3.2.4 Taiwan High Speed Railway

Mellan år 2000 och år 2007 byggde Taiwan ut sitt järnvägsnät och en helt ny linje för höghastighetståg byggdes utmed öns västkust. Den nya höghastighetslinjen går mellan Taipei på öns norra del till Kaohsiung i den södra delen av landet. Järnvägen knyter därmed samman de två största städerna i landet. Stora delar av den 345 km långa järnvägslinjen är förlagd på bro. 251 km är konstruerad av prefabricerade betongsegment som sedan transporterats ut till platsen och monterats på platsgjutna betongpelare. Detta innebär att 72 % av banan är förlagd på bro (Guo, Lu & Pan, 2011). Tågen trafikerar banan i hastigheter upp till 300 km/h och resan mellan Taipei och Kaohsiung tar 90 minuter. De prefabricerade brospannen har en längd på 30 till 35 m. Under byggtiden klarade två arbetsfronter att prefabricera och montera cirka 15 brosegment i veckan (Continental Engineering Corp, u.å.).

### 3.3 Byggteknik och utformning av prefabricerade broar

Det finns två huvudsakliga metoder som är aktuella för att bygga järnväg längre sträckor på bro. Antingen genom kontinuerlig gjutning eller med prefabricerade broelement, båda med ballastfritt spår (Corshammar, 2013a). Detta arbete behandlar främst metoden med prefabricering av broelement som användning för uppförande av en järnväg kontinuerligt på bro.

Vid brobyggen på 2-3 kilometer eller längre sträckor börjar det bli lönsamt med uppförande av en separat fabrik som prefabricerar broelement till brokonstruktionen. Lönsamheten ligger främst i att en bro av sådan längd behandlar stora mängder material och därmed får en standardiserad produktionsmetod större möjlighet till lönsamhet (Lundstedt, 2013).

Styrkan med prefabricering av betongelement är att gjutförhållandena kan kontrolleras bättre än vid gjutning ute i fält. På så sätt blir det också lättare att använda sig av ett mer noggrant system för att kontrollera tillåtna gränser på de prefabricerade elementen. Med en prefabriceringsmetod inomhus blir processen mer standardiserad och därigenom skapas möjlighet till att optimera spannens utformning så att minsta möjliga mängd material används utan att kvaliteten blir sämre (Brommesson, 2013).

Kvaliteten på broelementen och betongen i sig är densamma för en produktionsmetod med prefabricering som vid traditionell gjutning. Dock kan problem med toleranser och storlekar uppstå på ett helt annat sätt när element prefabriceras på en plats och sedan skall transporteras och fogas samman på annan plats än produktionsplatsen (Alzen, 2013).

Metoden med prefabricerade betongelement klarar av att hålla en hög jämn produktionshastighet, tack vare fabriksstillverkningen, utan att kvaliteten på elementen riskeras. Produktionshastigheten för prefabricerade betongelement är inte väderberoende, utan elementen kan produceras oavsett vilket väderförhållande som råder på byggplatsen, vilket är en fördel gentemot platsgjutning. Möjligheten till att efterlikna en industrialiserad process ökar med prefabricerade element (Lundstedt, 2013).

Livslängden för en prefabricerad bro klarar alla de allmänna krav som ställs vid uppförandet av brokonstruktioner i Sverige (Alzen, 2013). För en järnvägsbro, konstruerad i Sverige, är kravet och den beräknade livslängden 120 år (Lundstedt, 2013).

Möjlighet till förspänning av armering i betongelementen finns på ett helt annat sätt vid produktion i en fabrik än vid gjutning på plats ute i terrängen (Brommesson, 2013). Med förspänning av armering i betongkonstruktioner

minskar risken för uppkomst av sprickor i betongen. Detta leder till att armeringen är bättre skyddad och livslängden på armeringen ökar. Spännarmering ger även möjlighet till att konstruera långa slanka konstruktioner vilket är önskvärt vid konstruerande av broar (Bekaert, 2013).

En svaghet med prefabricering av broelement är den sammanfogning av elementen som sker vid monteringen. Där uppstår en kritisk punkt som belastas mycket. På grund av just prefabriceringen uppnås ingen kontinuerlig armering genomgående i hela bron vilket leder till större risk för utmattning av den armering som faktiskt finns. I järnvägsbroar är det ofta utmattningsfenomenet som är den begränsande faktorn. Järnvägsbroar kräver ofta mycket armering i sig för att beräkningarna skall gå ihop och att kraven från Trafikverket skall uppfyllas (Brommesson, 2013).

Vid valet mellan att uppföra en eller flera fabriker för prefabriceringen av broelementen styrs detta av vilken tillgång på byggnader som finns längs med den tilltänkta järnvägssträckningen. Vid möjlighet att återanvända gamla industribyggnader inom rimligt avstånd från järnvägen finns det möjlighet att ha mer än en fabrik för tillverkning av betongelement men skall en ny fabrik uppföras bör det istället satsas på en större fabrik som kan producera alla element till projektet (Lundstedt, 2013).

Transporten av de färdiga elementen till byggfronten är en viktig del att tänka på vid placering av prefabriceringsfabriken. Storleken på elementen som ska transporteras begränsas av vilka transportförutsättningar som finns (Lundstedt, 2013). Längd, bredd och vikt är ofta dimensionerade efter transportförhållandena och blir därmed dimensionerande för hur broelementen kan se ut. Likaså är de lyftkranar som skall ta vid i monteringsfasen av broelementen av stor vikt för hur tunga elementen kan vara (Alzen, 2013). Möjligheten till lyft och förflyttningar inne i fabriken är också av stor vikt vid utformning av broelementen. Broelement större än 30 x 4 meter är svåra att transportera på allmän väg och kräver specialtransporter (Lundstedt, 2013).

Att kunna få ner vikten på brokonstruktionen genom att undvika ballast är en fördel vid konstruktion av längre broar. Då kan tjockleken på brokonstruktionen minskas och därigenom volymerna på broelementen (Lundstedt, 2013). En utformning med ett ballastfritt spår minskar tjockleken på banöverbyggnaden och även vikten vilket ger en slankare brokonstruktion (Esveld, 2001).

Avståndet mellan pelarna och utformningen av dessa är beroende av vad det är för markförhållanden på platsen där järnvägen ska byggas. Vid bra markförhållanden där lite markåtgärder krävs är det billigare att placera

stolparna på ett tätare avstånd och på så sätt få kortare brospann medan det vid svåra markförhållanden kan vara mer lönsamt att anlägga långa brospann då detta medför färre stolpar som måste anläggas och förstärkas upp (Lundstedt, 2013).

Metoden att förlägga järnvägen på bro har fördelar gentemot en traditionell järnväg vid passager av områden med svåra markförhållanden där mycket grundläggningsarbeten behövs. Vid placering på bro krävs bara förstärkning av pelarna medan det för en järnvägsbank krävs förstärkningsåtgärder längs med hela järnvägsbanken (Brommesson, 2013). Samma fördelar med en broförlagd järnväg kan uppstå vid passage av kuperade områden. En ny järnväg på bro istället för på bank eller i skärning halverar materialtransporterna till följd av att mängden schaktning och fyllning blir mycket mindre och marken som berörs är koncentrerad till punkter längs med sträckan (Corshammar, 2013a). En grundregel att sträva efter vid produktion av broar är en så slank och tunn brokonstruktion som möjligt samt att gjuta så stora stycken som möjligt åt gången (Brommesson, 2013).

Vid ett stort behov av förstärkningsåtgärder för grundläggning för varje pelare används platsgjutningsmetod av pelarna. Vid mycket bra markförhållanden kan det vara möjligt att även prefabricera pelarna då markförhållandena medför att betongelementen kan placeras direkt på en iordningsställd makadambädd (Lundstedt, 2013)

Någon typ av transportväg måste anläggas för att arbetsmaskiner skall kunna ta sig fram till platser för uppbyggnad av brons fundament. Hur pass avancerat ett sådant vägsystem bör vara beror på hur stor del av brokonstruktionen som är prefabricerad. Teoretiskt går i stort sett allt att prefabricera ända ner till bottenplattan. Dock krävs alltid en viss mängd schaktning som underlag för fundamenten. Prefabricering av hela brofundamentet och pelare är svårt att genomföra (Lundstedt, 2013). Möjligheten till prefabricering av hela broar är större vid byggnationer över vatten då elementen kan transporteras sjövägen. Vid byggnation på land är samma grad av prefabricering inte rimligt att genomföra på grund av transportmöjligheterna utan här bör metoden med platsgjutning tillämpas (Alzen, 2013). Brokonstruktioner påverkas av stora laster och för att klara av de stora moment och krafter som uppstår bör bropelare och fundament gjas på plats säger Brommesson (2013).

Skall järnvägen byggas på bro en längre sträcka med prefabricering bör ett koncept tas fram med lika långa broelement i så stor grad som möjligt för att få ner totala kostnaden. Brospann på 20-40 meter är rimligt för att kunna prefabriceras i en fabrik (Lundstedt, 2013). Ett broelement som är 20 meter långt väger 900 ton eller 45 ton per meter. Detta innebär att brokonstruktionen

väger ungefär hälften så mycket per spårmeter (spm) gentemot en traditionell banvall (Ramböll, 2012). Enligt Brommesson (2013) är det konstruktionsmässigt enklare att konstruera ett större segment som två spår byggs på än att gjuta två delar som sedan skall sammanfogas på plats.

Broelementen bör utformas som lådor för att spara in på behovet av betong. Hela balkar av betong är inte fördelaktiga vid långa spännvidder sett till betongbehovet för varje spann. Med en lådkonstruktion minskar mängden betong som behövs, samtidigt som utrymmet inuti lådkonstruktionen kan användas för extern förspänd armering. Denna armering kan även förstärkas och/eller utökas senare om behov för detta skulle finnas (Lundstedt, 2013).

Utrymmet i mitten av lådbalkbroar kan även användas för kabeldragning av elanläggningar, signalsystem mm. Även signalkurer bör kunna placeras inuti lådkonstruktionen. Kanalisationen och elektroniken ligger väl skyddad inne i brokonstruktionen samtidigt som den är lättillgänglig för underhåll och tillsyn (Brommesson, 2013).

En lådkonstruktion är svårare att konstruera och gjuta, än en homogen fyrkantsbalk, då väggarna i konstruktionen är tunnare och kräver en mer noggrann armering i olika lager. Den geometriska utformningen i sig är också mer komplicerad än för en homogen fyrkantsbalk, men materialåtgången blir mindre med en lådkonstruktion (Lundstedt, 2013).

Spannen på bron bör vara fritt upplagda fack med rörelsefogar vid varje pelare. Detta gör att det inte förs vidare några längsgående krafter mellan de olika brospannen, utan de rörelser som uppstår tas om hand i varje rörelsefog. Vid fritt upplagda brospann tar varje brospann upp de vertikala krafterna själv, vilket innebär att varje spann i sig fungerar som en egen bro. All bärlast i brospannen uppstår i stort sett i nedre delen av lådbalken (Lundstedt, 2013).

Fritt upplagda brospann ger en snabbare produktionsmetod då det inte i samma utsträckning krävs någon sammangjutning vid pelarna som vid en kontinuerlig brokonstruktion. Fritt upplagda brospann ger en större rörelsemöjlighet i vertikalled gentemot en kontinuerlig bro. Om rörelsefogarna konstrueras så att de kan kompensera för eventuella sättningar som uppstår på konstruktionen, så kan detta justeras enklare om bron är uppbyggd med fritt upplagda spann. Projekteringen bör dock vara så pass god att sättningar inte uppstår eller bara uppstår i mycket liten grad (Lundstedt, 2013).

## 3.4 Byggtid

### 3.4.1 Traditionell järnväg

Botniabanan är den första järnvägen i Sverige, som utrustats med signalsystemet ERTMS. Banan är avsedd för både person- och godstrafik och medger hastigheter upp till 250 km/h (Trafikverket, 2010). BanaVäg i Väst är ett av Sveriges största infrastrukturprojekt. Utbyggnaden som stod klar år 2012 består av totalt 7,5 mil fyrfältsväg respektive dubbelspårig järnväg (Trafikverket, 2013c). Nedan (Tabell 1) visas beräknad bygghastighet för tre olika järnvägsprojekt i Sverige.

**Tabell 1: Exempel på bygghastigheter för traditionell järnväg**

Projekt	Längd (mil)	Spår	Byggtid (år)	Bygghastighet (m/dag)	Hämtat från
Botniabanan	19	Enkel	11	47	Trafikverket (2010)
BanaVäg i Väst <sup>1</sup>	7,5	Dubbel	8	26	Trafikverket (2012e)
Ostlänken <sup>2</sup>	15	Dubbel	10	41	Trafikverket (2013b)

<sup>1</sup>Beräknat för hela projektet, inklusive väg

<sup>2</sup>Uppskattade siffror från källan

### 3.4.2 Bro med ballastfritt spår

Ett ballastfritt spår har en längre byggtid än ett ballasterat spår. Kraven på precisionen vid konstruerande är högre och därmed blir byggtiden längre. Ett ballastfritt spår har cirka 30-35 % längre byggtid än ett traditionellt ballasterat spår (Jelcander, 2013).

För att uppnå en hög bygghastighet krävs det många arbetsfronter och därigenom många montageutrustningar vilket kostar pengar. En viktig aspekt att ta hänsyn till vid byggtiden är att flera av de olika momenten är beroende av varandra. I ett projekt bör det därför finnas tidsbuffertar inplanerade. Dessa tidsbuffertar förlänger byggtiden men minimerar risken för förseningar i projektet. Underbyggnaden bör ligga före brospannen i tidplanen och färdigställas ett år före det att brospannen skall monteras. Om tekniken med platsgjutning av pelarna används är det ett högt satt mål att gjuta en pelare om dagen. Därför krävs det att underbyggnadsarbetena ligger långt före i konstruktionsfasen (Lundstedt, 2013).

Med en prefabriceringsmetod i fabrik av broelementen kan byggtiden ute i fält förkortas avsevärt. Hur stor kostnaden blir är till stor del beroende av hur lång produktionstid projektet kräver och inte bara av materialkostnaden (Brommesson, 2013). Byggtiden för en prefabricerad bro är kortare än för en traditionell brokonstruktion. Detta är en klar fördel då etableringskostnaden för resurser i stora projekt ofta är stor och kan då minimeras med kortare byggtid (Alzen, 2013).



Att bygga järnväg på bro går mycket snabbare än att bygga järnväg på bank. Bygghastigheten är upp till 4-8 gånger snabbare än för traditionell järnväg. Jämförelsevis beräknas sträckan Oslo - Köpenhamn byggas på bro på 4 år, vilket skulle tagit 12-15 år om samma sträckning byggts på bank och i skärning. Det är mer sannolikt att ett projekt som färdigställs tidigt är mer lönsamt än ett projekt som färdigställs senare. Den korta byggtiden leder till insparning av räntekostnader (Corshammar, 2013a).

Att montera ett broelement beräknas ta cirka en timme och en byggfront klarar av att montera fem broelement om dagen. Detta ger att metoden med att bygga järnväg på bro klarar att producera cirka 100 meter färdig järnväg per dag om brospannen är 20 meter långa (Ramböll, 2012). Lundstedt (2013) menar att detta är en väldigt lång sträcka för en dags arbete, istället beräknas varje byggfront hinna montera ett spann om dagen. Ett grundutförande är att byggfronten skulle kunna montera spannet på förmiddagen för att sedan förflytta utrustningen till nästa montageställe under eftermiddagen. Kortare byggtid kan åstadkommas med fritt upplagda spann istället för en kontinuerlig brokonstruktion. De fritt upplagda spannen kräver inte någon sammangjutning vid pelarna, vilket behövs om valet faller på en kontinuerlig brokonstruktion (Lundstedt, 2013).

Beräkningar visar att Modena Viaduct som hade en byggtid på 30 månader höll en bygghastighet på drygt ett spann om dagen (Rosignoli, 2012). Med Bicassone-metoden i Italien var bygghastigheten ungefär 100 meter per vecka för den prefabricerade betongbron. Detta ger att cirka ett spann om dagen kunde monteras på brokonstruktionen (Geremia et al. 2006).

### **3.5 Investeringskostnad**

Att bygga ny infrastruktur är dyrt och inte minst järnväg. Byggnation av ett traditionellt dubbelspår kostar mellan 40 000 – 200 000 kr/spm. Vid byggnation av järnväg är det ofta en felberäkning av hur mycket massor som behöver flyttas under projektets gång som leder till de största kostnadsökningarna. Material flyttas från nya skärningar till platser där järnvägen går på bank. Det är ofta svårt att beräkna dessa mängder. Osäkerheten i beräkningen leder, tillsammans med att masstransporter är en stor post inom infrastrukturprojekt, till att projekt ofta blir dyrare än beräknat (Ramböll, 2012).

Kostnaden för byggandet av en ny järnvägslinje beror i stor grad på hur förhållandena längs den tänkta sträckningen ser ut. Kostnaden för att anlägga ett nytt dubbelspår varierar mellan 29 000 kr/m till 83 000 kr/m enligt Löfgren (2013). Vid normala förhållanden bedöms den troliga kostnaden till

38 000 kr/m. Vid dessa kostnadsantaganden ingår inte spårväxlar. En spårväxel kostar mellan 2,5-4 mkr. Trolig prisnivå för en spårväxel är 3,5 mkr.

Beräkningsmässigt kan broar på längder upp mot 100 meter kosta 80 000 kr/m och vid längre broar kan priserna möjligtvis sjunka något. Kostnaden styrs ofta av markförhållandena och vid sämre sådana kan ett fundament kosta lika mycket som tio andra vid mer gynnsamma förhållande. Brokostnaden på 80 000 kr/m inkluderar inte banöverbyggnaden (Kannerby, 2013).

Kostnaden för ett dubbelspår förlagt på bro inklusive bland annat bullerstyrning och servicevägar är 45 000 kr/m. Att endast bygga en bro är dyrare jämfört med att bygga en bank men sett till hela järnvägssystemet blir det billigare med bro. Anledningen är att brokonstruktionen för med sig funktioner som banken saknar. För järnväg på bank eller i skärning behövs separata kontaktledningsfundament medan stolparna fästs direkt i betongen på bron menar Corshammar (2013a).

Om en järnvägsanläggning utrustas med ett ballastfritt spår innebär detta en högre investeringskostnad i byggskedet. Kostnaden för ballastfritt spår är cirka 25-30 % högre än ett traditionellt ballasterat spår, men ett ballastfritt spår har samtidigt en underhållskostnad som är 60-70 % lägre (Jelcander, 2013).

Uppgifter från WSP (2004) visar att investeringskostnaden för ett ballastfritt spår är 1,2 till 3,5 gånger dyrare än för ett ballasterat spår. Kostnaden för Citybanan med ballastfritt spår bedöms till 18 500 kr/spm för dubbelspår och till kostnader på 16 500 kr/spm för dubbelspår med ballasterat spår. Då ingår både banöverbyggnad och banunderbyggnad.

För att valet att anlägga ett ballastfritt spårssystem skall bli relevant bör banavsnittet vara långt. Vid en för kort sträcka blir kostnaden för att konstruera och underhålla övergångszonerna mellan det ballastfria och det ballasterade spåret för stora. Korta sträckor kan inte motivera den ökande byggkostnaden för det ballastfria spåret (Jelcander, 2013).

En metod som bygger på prefabricerade element kräver stora volymer för att bli lönsam. Med längre sträckor järnväg som byggs på bro, kan prefabricering vara konkurrenskraftig även ekonomiskt. En annan förutsättning för att prefabriceringsmetoder ska vara lönsamma är att det är ett begränsat antal olika sorters element. Ju färre sorters broelement som används desto mer lönsamt blir konceptet med prefabricering. Tillsammans med den kortare konstruktionstiden som prefabriceringen leder till finns det möjlighet att spara pengar gentemot en traditionell byggmetod enligt Lundstedt (2013).

Kostnaden kan minimeras genom att optimera konstruktionen med slankare brokonstruktion och så få bropelare som möjligt. Det är dyrare att göra förstärkningsåtgärder längs en hel järnvägsbank än vid pelarna för en bro. Ännu tydligare blir det när markförhållandena är sämre. Då träder skillnaden på förstärkningsåtgärder mellan bank/skärning och bro fram mer. Kostnaden minimeras också om styckena som gjuts i processen är så stora som möjligt (Brommesson, 2013).

Antalet skarvar är en fråga om kostnad och transport. Antalet skarvar längs bron minimeras för att totalkostnaden ska hållas låg, men minimeras antalet skarvar leder detta till att större broelement måste transporteras vilket också vill undvikas enligt Lundstedt (2013).

Prefabricering av en lådkonstruktion innebär en mer komplex lösning som är dyrare per volymsenhet än kostnaden för en homogen platta. Kostnaden som den mer avancerade lösningen för med sig vägs upp till följd av att mycket mindre material behövs i konstruktionen (Lundstedt, 2013).

Traditionellt beräknas brokostnader i kronor per kvadratmeter. I framtagandet av antalet kvadratmeter som ingår i brokonstruktionen beräknas farbanans längd inklusive ett av landfästena multiplicerat med bredden på bron. Kostnaden för bron är mycket beroende på vilka markåtgärder som behövs för grundläggningen av själva bron. 30 000 - 35 000 kr är ett normalpris för brokonstruktioner per kvadratmeter. Detta är utan banöverbyggnadsarbeten inräknade (Alzen, 2013).

Utifrån broförslagda järnvägsanläggningar runt om i världen och kostnadsförslag från respondenter i intervjuer, kan ett medelvärde beräknas för att få en beskrivande kostnadsbild av prefabricerade dubbelspåriga järnvägsbroar. De antagna siffrorna beskrivs som kostnad per meter och innehåller varierande mycket information om vad som verkligen ingår i priset. Sammantaget ger dessa uppgifter en medelkostnad på 239 000 kr/m för att bygga järnväg på bro.

Enligt Lundstedt (2013) kostar en bro cirka 300 000 kr/m vilket är något lägre än Alzens (2013) kostnadsuppgifter på 360 000 kr/m. Ett annat pris som presenterats är 350 000 kr/m, men då handlar det främst om en helgjuten broplatta (Gustavsson, 2013). Av projekten som är byggda i både Kina och Japan tyder uppgifterna på något lägre priser. I Kina och Japan byggs järnvägsbroar inklusive banöverbyggnad, avsedda för höghastighetståg till en kostnad av 150 000 – 165 000 kr/m. Även tunnlar och stationslägen inkluderas i denna kostnad (Ramböll, 2012). Ventabren Viaduct i Frankrike stod klar

år 1998. Det är en förspänd lådbalksbro av betong och totalkostnaden för denna var cirka 282 mkr. Kostnaden för Ventabren Viaduct uppgick till 163 000 kr/m (Structurae, 2013a).

På höghastighetslinjen mellan Bryssel och Köln finns broar som är uppförda med en typ av prefabriceringsmetod. Viadukten i Battice är 1230 meter lång och kostade 195 mkr att bygga. Meterpriset på bron blir 159 000 kr (Seconed, 2013). Broarna på sträckan Santaella - Puente Genil i Spanien kostade totalt 440 000 kr/m (Navas Montes, 2005). Taiwan har ett landstäckande höghastighetsnät som sträcker sig längs hela öns västkust. 251 av de 345 kilometerna på sträckan är förlagd på bro vilket innebär att 72 % av järnvägen är förlagd på bro. Kostnaden för projektet var 108 mdkr vilket ger ett meterpris på 313 000 kr (Guo et al. 2011).

För att bygga en höghastighetsbana genom Sverige från Köpenhamn till Oslo uppskattas kostnaden till cirka 200 000 kr/m. Denna kostnad täcker bron men även järnvägsanläggningens övriga komponenter (Ramböll, 2012). Norska beräkningar talar för att en bro kostar 98 000 kr/m. Då är kostnaden för räls, elkraft, tele och signalering inte inräknad (Reisvang, 2012).

### **3.6 Samhällsekonomiska effekter**

Samhällsekonomi för ett projekt beräknas under en kalkylperiod som är under den tid då nyttorna och kostnaderna uppstår. Den ekonomiska livslängden i projektet är ofta den som styr hur kalkylperioden ser ut. Nyinvesteringar är de projekt som vanligtvis har längst kalkylperiod, till följd av att de samtidigt har längre ekonomisk livslängd än andra projekt som exempelvis reinvesteringar (Trafikverket, 2012c).

Underhålls- och reinvesteringarkostnader som krävs för att vidhålla banans standard och funktion är kostnader som tas med i den samhällsekonomiska kalkylen. Andra underhållskostnader som inte är förutsedda får inte hanteras i en samhällsekonomisk kalkyl (Trafikverket, 2012a).

Effekterna som kommer med en infrastrukturinvestering bör analyseras och bedömas och alla effekter ska tas upp i den samhällsekonomiska analysen. Förutom externa effekter påverkas infrastrukturhållaren, trafikutövare, resenärer och transportkunder. Olika effekter är olika svåra att analysera och sätta ett värde på. De effekter som inte är lämpade eller är svåra att sätta ett pris på beskrivs istället i skrift. Nedan följer en lista med effekter av en infrastrukturinvestering (Trafikverket, 2012c):

- Nyinvesteringskostnader
- Underhållskostnader

- Intäktsförändringar
- Förändrade restider
- Komfortförändringar
- Luftföroreningar
- Olycksrisker
- Buller
- Intrång
- Barriäreffekter

Samhällsekonomi värderar individens betalningsvilja för förändrad tidsåtgång vid resa. Restidsförändringen påverkar resenärens möjlighet att utföra aktiviteter som resan är avsedd för. Förutom själva resan värderas och påverkas betalningsviljan av bytestiden, anslutningar och väntetid vid plattformar. Mätningar görs också på samma sätt när det handlar om olycksrisken. Förändrad olycksrisk ger en annan betalningsvilja för att slippa utsättas för olyckan. Trafikolyckor klassificeras i fyra olika klasser (Trafikverket, 2012c):

- Dödad – avlider på grund av trafikskada inom 30 dagar efter olycka
- Svårt skadad – vårdas i sluten vård på grund av trafikolycka
- Lindrigt skadad – skador som endast kräver öppen vård
- Egendomsskadeolyckor – olyckor utan personskadeföljd

Riskvärderingar och individers betalningsvilja för att slippa olyckor och skador är vanligtvis relevanta att använda vid olyckor och skador som sker på vägar. Järnvägsolyckor och skador som kan uppstå på eller på grund av järnvägen beskrivs inte på samma sätt. Det nämns att motsvarande riskvärderingar som gäller för väg inte finns för järnväg. En säkerhetshöjande åtgärd av järnvägsnätet kan inte beskrivas med individers betalningsvilja på samma sätt som vid en säkerhetshöjande åtgärd för väg. När det kommer till järnvägsprojekt approximeras värdena för att ge en fingervisning om riskvärderingen och betalningsviljan (Trafikverket, 2012c).

Buller är ofta beskrivet som oönskat ljud och många människor utsätts för buller vid vägar eller järnvägar. Det oönskade ljudet från järnvägen bedöms efter maximalnivån på bullret eftersom ett tågs framfart innebär en tillfällig störning. För att beräkna hur pass mycket bullret från en järnväg påverkar omgivningen mäts det både före och efter den nya järnvägsinvesteringen hur många som påverkas av densamma. Även här mäts individens betalningsvilja för att slippa bullret och vägs in i den samhällsekonomiska bedömningen (Trafikverket, 2012c). Vid höga bullernivåer kan långsiktiga hälsoeffekter

påvisas, exempelvis stress. Människors betalningsvilja för att undvika sjukdom som kan leda till förtida död är 7,5 mdkr/år (Trafikverket, 2012a).

När en ny bana byggs uppstår ett fysiskt intrång samt störningar som banan för med sig. Vissa effekter värderas men intrånget av själva vägen värderas inte. Intrånget tas inte upp i samhällsekonomiska kalkyler men beskrivs i stället i kvalitativa termer. Intrånget kan vara mycket stort och bör vägas in i den samlade bedömningen för de effekter som infrastrukturinvesteringen ger upphov till (Trafikverket, 2012a).

Till viss del fångas inte markexploateringen upp i de samhällsekonomiska kalkylerna. Ett exempel där effekten inte fångas upp, är om en väg grävs ned i tunnel och mark frigörs till följd av valet. Raka motsatsen är att marken istället tas i anspråk för att vägen ska gå i marknivå. Om mark tas i anspråk för exploatering värdesätts den, i en samhällsekonomisk kalkyl, utifrån förlusten av alternativa intäkter som marken annars inbringat (Trafikverket, 2012a).

För att få samhällsekonomisk lönsamhet krävs att nyttan för en part är större och hypotetiskt kan väga upp för förlusterna för andra parter. Om ett projekt är samhällsekonomiskt lönsamt bidrar det till ökad välfärd i samhället (Trafikverket, 2012a).

### 3.6.1 Underhåll

Underhållet som behövs för en järnväg på bank beror på hur mycket banan bryts ned. Alla delar i järnvägssystemet bryts ned men inte i samma takt. Ju mer komponenterna tillåts brytas ner, desto högre blir underhållskostnaden när det väl utförs (Corshammar, 2005). På kort sikt påverkas inte järnvägsanläggningen av nedbrytningen av komponenter bortsett från att vissa komfortfel kan uppstå. Vid ett eftersatt underhåll uppstår på sikt en problematik vilken innebär att komponenterna bryts ned fortare än om järnvägsanläggningen underhålls kontinuerligt. Det eftersatta underhållet kan leda till säkerhetsproblem och det kan bli nödvändigt att införa hastighetsnedsättningar för järnvägen (Hedström, 2013).

De underhållsåtgärder som anses vanligast för järnväg med ett ballasterat spår är spårjustering (spårriktning, plogning, sopning, ballastkomplettering), komponentbyten i spårväxlar, slipersbyten, justering av mått och toleranser i spårväxlar samt justering och kontroll av ställverk och utdelar (Hedström, 2013).

Vid gynnsamma förhållande kan underhållskostnaderna för järnväg med ballastfritt spår vara 60-70 % lägre än för ett ballasterat spår (Gustavsson, 2013). Den stora besparingen i underhållskostnad kommer från att i jämförelse med underhåll på ett ballasterat spår är underhållsåtgärderna för ballastfritt

spår färre (Nyquist, 2010). Tiden för underhållsarbeten ute i spårområdena kortas ner med ett ballastfritt spår. Erfarenheter från europeiska höghastighetsbanor visar att tiden för spårunderhållet för ballastfritt spår är så lite som en tredjedel i jämförelse med ballasterat spår (WSP, 2004). Med färre underhållsåtgärder ökar tillgängligheten på banan. Den kortare tiden som krävs i spåret för underhåll medför färre trafikstörningar och en jämnare och punktligare tågtrafik (Gustavsson, 2013). Ett verkligt exempel som styrker det ballastfria spårets fördelar är Rhedasystemet i Tyskland som varit i drift i över 35 år, där den enda underhållsåtgärd som utförts är räls slipning. Rheda är grundprototypen för dagens ballastfria spår (Lechner, Leykauf & Stahl, 2006). Den stora skillnaden mellan att bygga järnväg på bro istället för på bank blir att de underhållsåtgärder som i stor utsträckning beror på problem med markförhållanden kan undvikas (Lundstedt, 2013).

Underhållskostnaden för ett ballastfritt spår på bro blir i stort sett densamma som för ett ballastfritt spår på bank. Vid en ballastfri lösning på bank kan uppfrysning bli ett problem om inte grunden är i bra skick (Corshammar, 2013a). Vid uppkomst av mindre sättningar i bankroppen efter uppfrysning, kan dessa justeras med hjälp av befästningen i både vertikalt och lateralt läge (Nyquist, 2010).

För att kunna motivera valet med ett ballastfritt spår, får investeringen inte vara mer än 30-40 % dyrare än en traditionell konstruktion. Dessa 30-40 % anses vara gränsen för hur mycket de minskade underhållskostnaderna kan ge i vinst för att kunna betala tillbaka den högre investeringen inom rimlig tid (WSP, 2004).

Betong som material har lång livslängd och kräver ett relativt lågt underhåll. Detta innebär att en brokonstruktion av betong generellt sett blir underhållsfri. Med rätt dimensioner på betonglager och armering kan en bro vara underhållsfri under hela sin livslängd (Lundstedt, 2013).

Ett av de vanligaste problemen med brokonstruktioner i betong är kloridinträngningar på grund av att vägar saltas. När kloriden tränger in i betongen försvinner betongens naturliga basiska skydd och en sur miljö uppstår. Så länge som betongen är basisk uppstår ingen korrosion av armeringen. Vid sura miljöer inuti betongen rostar armeringen och expanderar vilket leder till att betongen sprängs sönder inifrån. Detta problem finns inte på samma sätt vid järnvägsbroar då en järnvägsbro aldrig saltas som underhållsåtgärd (Lundstedt, 2013).

Behovet att hantera eventuella sprickor vid betongkonstruktioner är en viktig del vid anläggande av en ballastfri lösning. Böglös ballastfria spårssystem är

utrustat med förgjutna tvärgående fördjupningar som kan ge fördelar vid eventuell uppkomst av sprickor. De förgjutna fördjupningarna medför att om en spricka uppstår utvecklas den i raka linjer längs den förgjutna skåran. Detta gör underhållet lättare vid ett eventuellt byte efter att en otillåten spricka uppstått (Michas, 2012). Sprickor i betongen repareras med antingen flytande bruk eller annat bruk som uppfyller funktionen på ett bördigt sätt. Anledningen till att sprickor i betong ska åtgärdas är risken för att vatten annars kan tränga in i betongen och bryta ner materialet inifrån (Nyquist, 2010).

Den största posten för underhåll av själva brokonstruktionen är kontaktpunkterna mellan pelarna och brospannen. I kontaktpunkterna installeras lager som skall ta upp de krafter som uppstår i längdled och samtidigt tillåta att brokonstruktionen rör sig inom tillåtna gränser. Projekteringen bör utgå från att dessa lager behöver bytas ut någon gång under bronns livslängd. Bron ska konstrueras så att det är möjligt att utföra byten av lagerna (Lundstedt, 2013).

Vid traditionell järnväg på bank är det viktigt att underhålla dräneringen, vilken ska samla upp och leda bort yt- och grundvatten. Till följd av eftersatt dräneringsunderhåll uppstår stabilitetsproblem i marken och vattenansamlingar i järnvägs Kroppen. Till slut kan detta leda till sättningar och uppfrysningar i spåret och därigenom dåligt spårläge (Corshammar, 2005). Ballastrening och dräneringsåtgärder är de viktigaste underhållsåtgärderna att utföra för att minska risken för behov av oplanerade underhållsåtgärder enligt Hedström (2013). Dräneringsunderhåll är även viktigt för en brokonstruktion. För att minimera underhållet på bron är det viktigt att konstruktionen avleder vatten väl så att inga ansamlingar av vatten bildas. Med ansamlingar av vatten på ett ballastfritt spår eller i brokonstruktionen finns risken att frostsprängningar uppstår och därmed behov av dyra restaureringsåtgärder (Lundstedt, 2013).

Vid dåligt spårläge i spåret måste åtgärder som spårriktning, stoppning av ballast och ballastkomprimering tillsättas som åtgärd i ballasterat spår. Detta underhåll undviks nästintill helt med ett ballastfritt spår (Corshammar, 2005). Ett ballastfritt spår med kontinuerligt stöd medför ett lägre underhållsbehov då antalet ingående delar minimeras. En hög stabilitet uppnås också då rälen får stöd kontinuerligt utmed hela rälen (Michas, 2012).

Vid anläggande av ett ballastfritt spår krävs övergångszoner mellan det ballasterade och det ballastfria spåret. Dessa zoner kräver ett större underhåll än ett normalt ballasterat spår och blir en ökad underhållskostnad för ett ballastfritt spår (Gustavsson, 2013).



Rälsslipning har stor betydelse för hur stora underhållskostnaderna blir för ett järnvägssystem. Rälsslipning ökar rälsens livslängd samtidigt som den reducerar de dynamiska påkänningarna i spåret och tar bort begynnelse till sprickbildningar (Hedström, 2013). De underhållskostnader förutom rälsslipning som är samma för ett ballastfritt spår och ett traditionellt ballasterat spår är besiktning, rälsbyte och komponentbyte (Corshammar, 2005). Det underhåll som utförs i ett ballastfritt spår är oftast förebyggande underhåll. Med vilket intervall rälsen slipas beror på vilket system som används och hur mycket trafik det går på banan (Nyquist, 2010). Mängden rälsslipning som behövs är också beroende av banans geometri. En bana med många snäva kurvor eller stor variation i höjdled kräver en större mängd rälsslipning. Mängden rälsslipning som behövs är dock inte större än vad som skulle ha krävts för ett ballasterat spår med samma spårgeometri. Byte av enstaka befästningar förekommer också på ballastfria spår men ej i samma omfattning som rälsslipning. Komponentbyte tillsammans med rälsslipning i förebyggande syfte är de två vanligaste underhållsåtgärderna på ballastfria spår (Gustavsson, 2013).

Kostnaden för underhållet på ballastfritt spår är 20-30 % lägre än för ballasterat spår (Nyquist, 2010). Förutom mindre underhåll har även det ballastfria spåret längre livslängd i jämförelse med ballasterat spår (Corshammar, 2005). En annan underhållsåtgärd som förenklas med ballastfritt spår är städning vid stationer. Vid spolning kan mängden vatten som krävs vid ballastfritt spår reduceras och det ges även möjlighet att istället ”dammsuga” spåret till samma kostnad men med bättre kvalitet till följd (WSP, 2004).

Skillnaden mellan underhållskostnaderna för spårväxlar i ballastfritt spår och i ballasterat spår är bedömda till cirka 25 %. Då baseras underhållet på att växelkomponenterna slits lika fort i de två olika typerna av spår. Kostnaden för växelunderhåll i ballasterat spår uppgår till 40 000 kr/växel och år och för ballastfritt spår 30 000 kr/växel och år. Då ska det tilläggas att komponenter i ballastfritt spår oftast har en längre livslängd till följd av det stabila spårsläget än komponenter i en växel i ballasterat spår. För Citybanan bedöms underhållskostnaden per år till 16 kr/spm för ballastfritt spår och 55 kr/spm för ballasterat spår, exklusive underhållskostnader för växlar (WSP, 2004).

Kostnaden för att sköta underhållet på en högtrafikerad stambana uppskattas till 150 kr/spm och år. I denna kostnad exkluderas underhållsåtgärder som i förväg är svåra att förutspå som skador, åtgärder efter OFP-fel (oförstörande provning av räls med ultraljud) och felavhjälpning (Hedström, 2013). Underhållskostnaderna styrs av de specifika förutsättningarna för platsen.

Kostnaden beror på vad som ska göras, entreprenörens tillgängliga resurser och tillgång till tider i spår men kostnaden styrs även av antalet lämnade anbud vid upphandlingstillfället (Hedström, 2013).

Driftstörningar på järnvägen kan uppstå på grund av eftersatt underhåll. Om det eftersatta underhållet på järnvägen leder till driftstörningar kostar detta för samhället 79 000 kr per driftstörningstimma. För ett fungerande underhåll på järnvägen krävs ett långsiktigt tänk och inte korta snabba besparingar vars negativa effekter träder fram först långt efter det att besparingen är gjord. (Corshammar, 2005). Ballasterat spår kräver mer underhåll än ett ballastfritt spår och Corshammar (2005) säger att trafikeringen på ett höghastighetsspår håller tillbaka vegetationen vilket minskar underhållsbehovet.

Nedan (Tabell 2) jämförs de beräknade underhållskostnaderna för Citybanan utrustad med ballasterat respektive ballastfritt spår. Den totala underhållskostnaden för Citybanan utrustad med ballasterat spår beräknas till 1 840 700 kr/år. Om istället ballastfritt spår används blir den beräknade underhållskostnaden för samma sträcka 1 064 100 kr/år. De stora skillnaderna i underhållskostnaderna kan ses på nästa sida (Tabell 2) och kommer främst från att justeringar av spår och växlar helt försvinner samt även att posten för ballastningen försvinner med ett ballastfritt spår (WSP, 2004).

**Tabell 2: Beräknade underhållskostnader Citybanan efter (WSP, 2004)**

Spår	Kostnad	Frekvens	Ballasterat	Ballastfritt
			kr/år	kr/år
Besiktning, säk	8 h á 750 kr (nattarbete)	2 gånger/år	12 000	12 000
Besiktning, uh	16 h á 750 kr (nattarbete)	1 gång/år	12 000	12 000
Mätadressin	0,25 kr/spm (10km/h pga. växlar, 2 000 kr/h)	6 gånger/år, 1 gång/år <sup>1</sup>	21 000	3 500
Kontroll, vågor/räfflor	0,10 kr/spm	1 gång/år	1 400	1 400
Ultraljudskontroll	0,5 kr/spm	1 gång/år	7 000	7 000
Kontroll av ballastkvalitet	0,10 kr/spm	Vart 5:te år	300	-
Justering, genomgående	20 kr/spm	Vart 4:e år	62 000	-
Justering längs plattform	20 kr/spm	Vart annat år	16 000	-
Justering efter mätning	20 kr/spm	10 %/år	28 000	-
Slipning	25 kr/spm	Vart 4:e år	87 500	87 500
Mindre underhåll efter besiktning	á 2 500 kr (i priset ingår personal, fordon och förbrukningsmaterial)	40 timmar/år	100 000	100 000
Ballastrening, spår	400 kr/spm	Vart 20:e år	248 000	-
Ballastrening längs plattform	1 000 kr/spm	Vart 10:e år	160 000	-
<b>Totalt för spår/år</b>			<b>755 200</b>	<b>223 400</b>
<b>Växel</b>				
Besiktning, säk	1,5 h á 750 kr	6 gånger/år	189 000	189 000
Besiktning, uh	2,5 h á 750 kr	1 gång/år	52 500	52 500
Justering, genomgående	7 500 kr/växel	Vart annat år	105 000	-
Justering efter mätning	5 000 kr/växel	1 gång/år (mindre omfattning)	140 000	-
Tunganordning (TA), mindre uh efter besiktning	1 500 kr/h (personal, fordon, materiel)	1 timme/år	42 000	42 000
Korsning, mindre underhåll efter besiktning	1 500 kr/h (personal, fordon, materiel)	3 timmar/år	126 000	126 000
Byte TA-halva	25 000 + materiel (110 tkr)	Vart 15:e år	252 000	252 000
Byte korsning	20 000 + materiel (140 tkr)	Vart 25:te år	179 200	179 200
<b>Totalt för växlar/år</b>			<b>1 085 500</b>	<b>840 700</b>

<sup>1</sup>Frekvens för ballastfritt spår

### 3.6.2 Barriäreffekt

Att anlägga en ny järnväg i jungfrulig mark medför att ett intrång i naturen uppstår. Intrången ger att mark som tidigare använts till jord- eller skogsbruk, rekreationsområde eller bara varit vanlig natur tas i anspråk (Alvarsson Hjort, 2012). På grund av att utvecklingen av transportinfrastrukturen sker allt fortare ökar även fragmenteringen av landskapet i allt snabbare takt (Banverket, Vägverket, 2005). Med anspråket kommer ofta komplikationer för de tidigare användarna av området. Hur detta nya anspråk ter sig i naturen beror mycket på hur placeringen och utformningen av den nya banan sker (Alvarsson Hjort, 2012).

Vid placering av en höghastighetsbana i naturen uppstår en tydlig barriäreffekt i landskapet. Järnvägen med sin järnvägsbank kommer att skära genom landskapet och dela upp områden som tidigare suttit samman. En fragmentering av landskapet kommer att ske (Alvarsson Hjort, 2012). Nybyggnation och användande av ny infrastruktur bidrar i stor grad till denna fragmentering och är en av de största orsakerna till uppkomsten av uppdelningen i världen. Idag står vägar och järnvägar för 1,5 % av Sveriges yta på land. Det är ett större område än alla Sveriges nationalparker tillsammans (Banverket, Vägverket, 2005).

Hur stor barriäreffekten blir, beror på vilken typ av infrastruktur som byggs samt hur stor trafikeringen är. Olika arter hindras av olika typer av infrastruktur. För flertalet av Sveriges stora landlevande djur blir barriäreffekten bara påtaglig för infrastruktur vid stora breda vägar med mitträcke eller viltstängsel, järnvägar med bullerplank eller om trafikmängden är stor. Vid viltstängsel eller bullerplank kring vägar och järnvägar blir dock graden av barriäreffekt ofta total (Banverket, Vägverket, 2005).

En höghastighetsbana får stor inverkan på landskapet, oavsett om den är konstruerad på bro eller på bank och i skärning. Den stora påverkan kommer från att järnväg i sin natur är stel i sin konstruktion och inte kan anpassa sig efter landskapet. Placeras järnvägen på bro blir det visuella hindret större och det fysiska hindret mindre. Utformningen och utseendet av brokonstruktionen är därmed mycket viktigt för att få den nya banan att passa in så bra som möjligt i landskapet (Alvarsson Hjort, 2012). En bro med mycket betong och stort tvärsnitt påverkar den visuella bilden negativt. En så tunn variant som möjligt av bron är att föredra (Brommesson, 2013).

Fragmentering av jordbruket, där tidigare stora odlings- och betesmarker delas upp i mindre, medför ofta en sämre nyttjandegrad av de uppdelade områdena. Denna sämre grad av utnyttjande grundar sig i flera parametrar som kommer från uppförandet av järnvägen. På grund av barriäreffekten blir bondens väg

till den brukbara marken ofta längre vilket kan medföra olägenheter och sämre utnyttjandegradsmöjlighet av marken för bonden. Fragmenteringen av åkrarna leder också till att de minsta markområdena blir betydligt svårare att bruka och i värsta fall inte heller lönsamma. Den biologiska påverkan och förändringen är kanske störst för naturbetesmarker där restytorna kan bli för små och vissa arter därför riskerar att dö ut på platsen. Barriäreffekten på skogsbruk och skogen är lika dem som uppstår för jordbruksmark. En fragmentering av skogen medför att små skogsområden, som inte är lika lönsamma att bruka som större bitar, bildas här och var vilket kan medföra att skogsbruket minskar. Hindret som uppstår i form av järnvägen, kan även för skogsbrukaren ge en möjlig längre väg till sin mark och därigenom risk för en ökad olägenhet (Alvarsson Hjort, 2012).

Biologisk mångfald behandlar variationsrikedomen bland alla organismer och arter av alla ursprung. En stor biologisk mångfald bidrar till bättre naturtjänster för oss människor. Matproduktion för både människor och natur är i stor grad beroende av en stor biologisk mångfald. Tåligheten i systemet för förändringar i miljön ökar även den med en stor biologisk mångfald. Det är därför önskvärt och värdefullt att värna om mångfalden då den gynnar både oss som individer men även oss som samhälle (Johansson, 2010). Uppdelning av naturområden i för små områden anses vara ett av de stora hoten mot den biologiska mångfalden i världen. På sikt kan en sådan uppdelning leda till att djur inte längre kan överleva på platsen och den biologiska mångfalden minskar. Detta jämföras med klimatförändringar, föroreningar och överutnyttjande av enskilda arter. Infrastruktur är i sin natur bestående under en lång tid, har lång livslängd och förändringarna blir därmed långvariga (Banverket, Vägverket, 2005).

Olika arter har olika grundläggande behov i naturen. De flesta arterna rör sig säsongsberoende mellan olika områden för att söka föda. Liknande rörelsemönster finns för parnings säsonger och mellan områden för skydd och övervintring. Infrastruktur bildar ett hinder som för naturen är onaturligt. Infrastrukturen medför att djur som tidigare vandrat till betesmarker, övervintrat eller parat sig på speciella platser inte längre kan göra det i samma grad (Banverket, Vägverket, 2005).

En studie som gjordes i Ångermanland, under tre år i samband med att den nya sträckningen av E4 öppnades 1997, visar på problematiken. Området som vägen är förlagd i korsar områden som älgar vandrar genom. Under vintern förflyttar sig älgar ner mot kusten för att komma till sina vinterbetesområden och med den nya vägen skars dessa vandringsvägar av. Undergångar byggdes utmed vägen för att möjliggöra passage av E4:an men studien visar på att åtgärderna inte var tillräckliga. Mätningar gjorda, visar att knappt 1,5 älg i

snitt passerade passagera per månad och ingen säsongsvandring kunde överhuvudtaget observeras. Istället visade spår i snön att älgarna hellre passerade viltstängslan och vägen, än genom undergångarna. Andelen betesskador på skogen väster om den nya vägen ökade drastiskt (från 5 % till 40 %) vilket tyder på att vägen fungerade som en uppfångare för älgarna och en tydlig barriär i landskapet (Banverket, Vägverket, 2005).

Ett mindre utbyte mellan individer till följd av en barriäreffekt bidrar till mindre genetiskt utbyte och i längden risker för populationers överlevnad. Populationer av olika arter är ofta beroende av varandra och med en minskning av en art på ett område påverkas även andra arter i samma biotop av förändringen (Ricklefs, 2007)

Målet måste vara att en järnväg ska vara en del av landskapet i framtiden och inte bara ett ytligt tillägg. Vilken typ av landskap som banan är placerad i är också av stor betydelse. Med en ny bana på bro i ett platt landskap kommer konstruktionen ta stor plats medan en ny broförlagd järnväg kan passa in ganska bra i mer kuperade terrängförhållanden. (Alvarsson Hjort, 2012).

Att på olika sätt minska effekten av ny infrastruktur i landskapet är ett område som är under snabb utveckling. Dessa åtgärder bör vara anpassade så att de fungerar under lång tid och är ekonomiskt optimala. Det är dock svårt att värdera naturens funktion och värden i pengar. Därför sätts istället miljömålen ofta med andra parametrar. Detta ger att det i egentlig mening inte är en merkostnad att använda sig av en dyrare metod, så länge det är den billigaste metoden, för att uppnå miljömålen (Banverket, Vägverket, 2005).

För järnvägen är det viltolyckor med stora djur som är mest skadliga och då främst olyckor där älg är inblandad. Studier visar att nästan hälften av de älgar som dödas i trafiken varje år, dör i samband med en järnvägsolycka. Statistik visar att cirka 1000 rådjur och 900 älgar blir påkörda vid järnvägen varje år. Det innebär att det sker fyra till fem gånger fler älgolyckor på järnvägar än på landsvägar (Banverket, Vägverket, 2005). Andra studier från Banverket visar att det på 100 km järnväg dödas cirka fem älgar per år medan det för 100 km landsväg ”bara” dödas tre älgar per år. Detta visar på att det är farligare för vilt med en järnväg med gles och snabb trafik, än med en landsväg med långsammare och tätare trafik. En negativ följd av att stora djur dödas vid järnvägen är att stora rovdjur dras till banvallen och kadavren från tidigare påkörda djur, vilket gör att även olyckssiffrorna med rovdjur längs järnvägen är relativt höga (Banverket, Vägverket, 2005).

Effekten av att landskapet delas upp uteblir i stort sett helt vid ett utförande med järnvägen på bro. Tack vare att järnvägen är upphöjd kan djur och natur

passera fritt under järnvägen och intrånget för människor, vägar och annan infrastruktur minskar även den drastiskt (Alvarsson Hjort, 2012). Andra positiva effekter som visat sig uppstå vid broar är att fladdermöss och fåglar tyr sig till områden under broarna där de hittar lugna miljöer att leva och bosätta sig kring (Banverket, Vägverket, 2005). Brommesson (2013) menar dock att detta är negativt sett till underhållet för bron.

Effekter som uppstår till följd av underhåll på en järnväg kan också ge uppkomst till barriäreffekter. Vid rikliga snömängder och välskött underhåll på järnvägen bildas stora snövallar vid sidan av bankroppen. Dessa blir som stora väggar för vilt, vilket gör att de istället för att bara passera järnvägen väljer att följa banvallen och risken för viltolyckor ökar. Varje år läggs det flera miljoner på avhjälpan av fel på järnvägen till följd av viltolyckor. En beräkning uppskattar de totala kostnaderna för viltolyckor på järnvägen till 10 – 15 mkr varje år. Viltolyckor är en av de tio vanligaste orsakerna till funktionsstörningar på järnvägen (Banverket, Vägverket, 2005). Vid vegetationsbekämpning av järnvägen bildas också en barriäreffekt för växter då dessa inte kan sprida sig utan istället hindras av banvallen (Banverket, Vägverket, 2005).

Att placera en järnväg på bro istället för som på traditionellt vis på marken medför att de visuella barriäreffekterna ökar medan de fysiska uteblir. Ett borttagande av de fysiska barriäreffekterna skapar möjlighet att röra sig fritt i landskapet och korsa järnvägen var som helst. En broförlagd järnväg skapar även en panoramavy för resenären då banan tack vare sin höga placering ofta medger att utsikten är ovanför trädtopparna. För att göra järnvägen mer attraktiv för resenärer kan detta vara ett viktigt incitament för att göra själva resandeupplevelsen mer tilltalande (Alvarsson Hjort, 2012). Även Corshammar (2013a) pekar på den visuella barriäreffekten som ett hinder för byggande av järnväg på bro, ”en nackdel med en järnväglösning kontinuerligt på bro istället för på bank är att barriäreffekten som uppstår blir visuellt negativ”.

Med en visuell barriäreffekt på grund av en bro istället för en fysisk barriäreffekt på grund av en markförlagd järnväg uppstår färre viltolyckor och i stor utsträckning undviks självmord eftersom bron inte är lättillgänglig på samma sätt som en traditionell banvall. Bullernivån sänks på marknivå då oljud, med hjälp av broutformningen, riktas uppåt och inte rakt ut (Corshammar, 2013a).

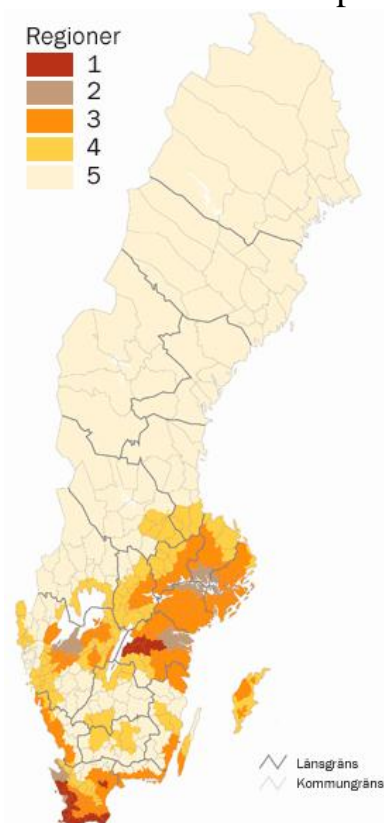
Med en slankare konstruktion ökar även tillgängligheten för korsande trafik under järnvägen (Jelcander, 2013). Den totala konstruktionshöjden blir lägre, vilket innebär att den visuella barriäreffekten minskar.

Vegetationsbekämpning och spridning av gifter, till följd av vegetationsröjning, i naturen upphör helt vid en placering av järnväg konstant på bro då utformningen med ballastfritt spår inte kräver underhåll av detta slag i själva bankroppen. Även vegetationsröjning och skogsröjning i diken och längsmed järnvägen minskar då banan är förlagd på bro.

### 3.6.3 Markanspråk

Priset på mark skiljer sig ganska kraftigt runt om i Sverige. Prognoser lutar åt att den prisökning som skett de senaste åren inte kommer att fortsätta de kommande åren, utan snarare mattas av och sjunka istället. Skillnaden i pris mellan olika områden beror på vilken typ av mark det är. Den dyraste marken är högvärdig jordbruksmark, borträknat mark i tätbebyggda områden och inne i städer. Högvärdig jordbruksmark återfinns främst i södra Skåne och Östergötland. Figur 7 visar en schematisk bild över prisläget i Sverige år 2012. Sverige är indelat i fem regioner där region 1 är de områden där markpriserna är högst medan region 5 innehåller de lägsta priserna (LRF konsult, 2013).

Medelpriset för ett hektar mark i Sverige under år 2012 låg på drygt 101 000 kr. Det ger omräknat att medelpriset per kvadratmeter i Sverige blir 10 kr. Undantas Region 5, Norrland ur tabellen fås ett medelpris per kvadratmeter på 12,5 kr (LRF konsult, 2013). Stora delar av en möjlig ny höghastighetsjärnväg i Sverige skulle passera flertalet av de olika markregionerna med undantag av Region 5, Norrland (Nelldal, 2008).



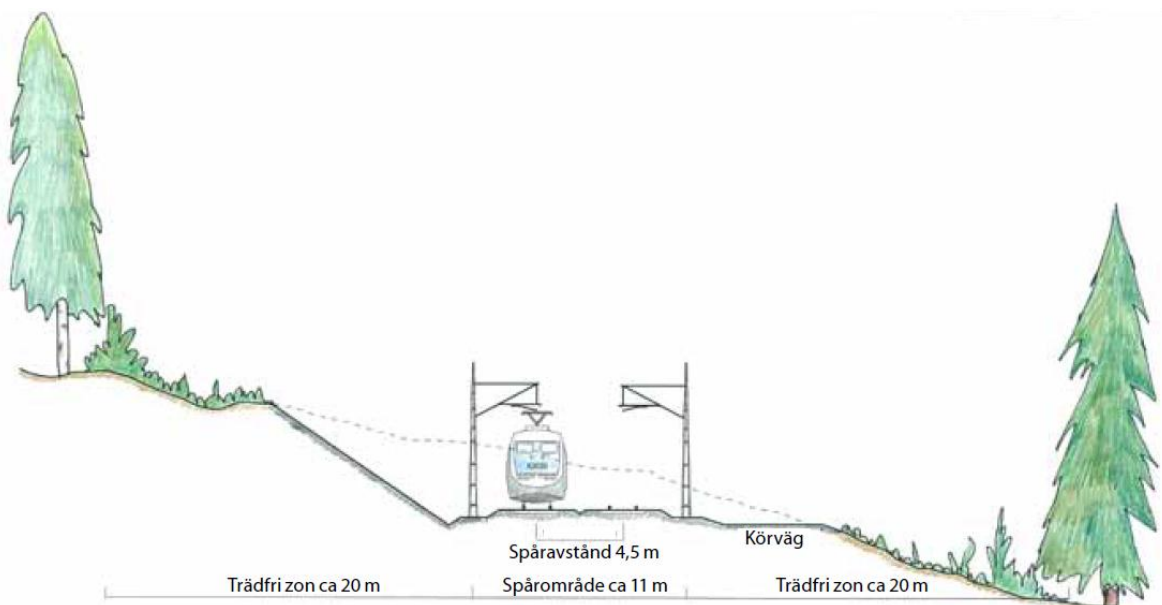
**Figur 7: Markprisområden i Sverige år 2012 (LRF konsult, 2013).**



**Tabell 3: Pris per hektar mark i Sverige under tre år (LRF konsult, 2013)**

Åkermark, Kr/ha	2007	2011	2012	% 1 år	% 5 år
Region 1 & 2	128 197	209 754	206 760	-1	61
Region 3	72 115	109 282	104 585	-4	45
Region 4	47 090	67 172	63 373	-6	35
Region 5, utom Norrland	35 247	45 788	42 501	-7	21
Region 5, Norrland	12 224	17 665	16 615	-6	36
Riket, genomsnitt	68 389	105 148	101 382	-4	48

Vid nybyggnation av en järnvägsanläggning i jungfrulig mark tas områden i besittning som inte tidigare varit ämnade för järnvägstrafik. Hur stort intrånget i naturen blir är mycket beroende på vilken typ av fauna som finns men även hur terrängförhållandena är. En ytterligare faktor som påverkar markanvändandet är utformningen av järnvägsanläggningen. Vid enkelspår krävs naturligtvis mindre mark än vid en dubbelspårsutbyggnad som exempel. Figur 8 visar en principskiss på markåtgången vid en nybyggnation av ett dubbelspår som gjordes av Trafikverket i samband med utredningen om en framtida utbyggnad av Ostlänken. Behovet av mark uppgår till cirka 50 meter i bredd (se Figur 8 nedan) vid passager genom skogsområden och bidrar till en kraftig påverkan av landskapet (Banverket, 2009).



**Figur 8: Principsektion för dubbelspår på marken (Banverket, 2009).**

Vid en placering av järnvägen på marken krävs stora mängder schaktmassor för att kompensera för nivåskillnader i landskapet (Corshammar, 2013a).

De föreskrifter som idag finns vid byggande av järnväg i Sverige beskriver de mått och toleranser som skall användas. Lutningen på jordbank skall normalt utformas med en lutning på 1:2. Detta innebär att en höjning av järnvägsbanken med en meter kräver ett markbehov vinkelrätt mot spåret på fyra meter (Trafikverket, 2012b). Markutvidgning åt sidorna påverkar behovet av mark för att anlägga banan på traditionellt vis medan järnvägsbrons höjd inte påverkar markbehovet för bropelarna. Bron kompenseras istället med högre betongpelare. Behovet av betong för att höja en bro med en meter är betydligt mindre än den mängd bankfyllnad som behövs för att höja en järnvägsbank lika mycket (Corshammar, 2013a).

Enligt Ramböll (2012) är medelhöjden på en banvall tre meter vid nybyggnation av ett dubbelspårigt järnvägssystem. Detta medför vid bankroppens fot en bredd på 21 m. Markanspråken blir stora vid byggnation med traditionell byggnationsteknik. Ett tvärsnitt av bankroppen ger en yta på  $50 \text{ m}^2$  vilket blir  $50 \text{ m}^3$  schakt per meter järnväg.

Ett utförande av en prefabricerad järnvägsbro med brospann på 20 meter och däremellan bropelare är möjligt. Varje bropelare har en tvärsnittsytta av  $12 \text{ m}^2$  vilket ger ett markbehov av  $0,6 \text{ m}^2/\text{spm}$ . Den punktvisa markanvändningen under brokroppen medför även att ingreppen i naturen inte är långa och kontinuerliga utan centrerade till bropelarna (Ramböll, 2012).



Figur 9: Markbehov för olika typer av höghastighetsbanor (Corshammar, 2013b).

Figur 9 visar hur stora markarealer som behövs längs med en järnvägslinje, beroende på vilken metod som används för uppförandet av själva järnvägsanläggningen. Överst på bilden visas hur området som behövs för en järnvägslinje varierar i bredd beroende på banans placering i skärning eller på bank. Vid djupare skärningar eller högre järnvägsbanker blir bredden på markområdet, som behövs för att klara av de lutningar som erfordras på sidorna, olika stort. Vid höga banker blir banvallens fot bred. Den nedre delen av bilden beskriver de markområden som behövs vid en placering av järnvägen på bro längs med samma sträckning som överst på bilden. Vid placeringen på bro är behovet av mark det samma längs med hela sträckningen och inga variationer i bredd sker till följd av de variationer som finns i landskapet. Variationerna tas om hand med hjälp av olika höga bropelare och detta påverkar inte markbehovet i landskapet (Corshammar, 2013b).



## 4 Resultat

### 4.1 Investering

Kostnader för ett anlägga en ny järnväg varierar kraftigt beroende på de förutsättningar som finns på platsen för anläggandet. Nedan (Tabell 4) visas sju stycken poster med kostnader gällande att anlägga en ny dubbelspårig järnväg för hastigheter över 200 km/h. En del av siffrorna är tagna från verkliga projekt medan vissa är beräknade kostnader för framtida projekt. Medelvärdet för att anlägga en ny dubbelspårig järnväg blir 159 000 kr/m järnväg.

**Tabell 4: Kostnadstabell för nybyggnation av traditionell dubbelspårig järnväg**

Objekt	Kostnad (kr/m)	Hämtat från
Ostlänken	200 000	Trafikverket (2013b)
Botniabanan <sup>1</sup>	142 000	Trafikverket (2010)
Traditionell järnväg	150 000	Corshammar (2012)
Intervju Löfgren	38 000	Löfgren (2013)
BanaVäg i Väst <sup>2</sup>	89 000	Trafikverket (2013a)
Milano-Bologna	293 000	Structurae (2013b)
Beijing-Guangzhou	201 000	Haihong (2013)

<sup>1</sup>Omräknad kostnad till dubbelspår enligt (Corshammar, 2012)

<sup>2</sup>Beräknat på delen Trollhättan-Älvängen

Tabell 5 nedan innehåller beräknade och verkliga kostnader för att konstruera en höghastighetslinje på bro. Alla objekten i tabellen är tänkta som dubbelspår för höghastighetstrafik. Precis som den traditionella järnvägen, Tabell 4 ovan, är en del av kostnadsposterna tagna från verkliga projekt medan andra är beräknade kostnader. En medelkostnad för att anlägga ett dubbelspår på bro har tagits fram och det blir 239 000 kr/m.

**Tabell 5: Kostnadstabell för järnväg på bro**

Objekt	Typ	Kostnad (kr/m)	Hämtat från
Arroyo del Salado	Prefabricerad lådbalk	440 000	Navas Montes (2005)
Beräknat pris Norge <sup>1</sup>	Prefabricerad lådbalk	116 000	Reisvang (2012)
Beräknat pris Sverige	Prefabricerad lådbalk	200 000	Ramböll (2012)
Byggkostnad Japan	Kontinuerligt gjuten	165 000	Ramböll (2012)
Byggkostnad Kina	Prefabricerad lådbalk	150 000	Ramböll (2012)
Intervju Skanska <sup>1</sup>	Prefabricerad lådbalk	318 000	Lundstedt (2013)
Intervju Trafikverket <sup>1</sup>	Helgjuten broplatta	379 000	Alzen (2013)
Intervju Vectura <sup>1</sup>	Helgjuten broplatta	369 000	Gustafsson (2013)
Intervju Vectura <sup>1</sup>	Prefabricerad broplatta	98 000	Kannerby (2013)
Taiwan High-Speed Railway	Prefabricerad lådbalk	313 000	Guo et al. (2011)
Ventabren Viaduct	Prefabricerad lådbalk	163 000	Structurae (2013a)
Viaduct Battice	Prefabricerad broplatta	159 000	Seconed (2013a)

<sup>1</sup>Inklusive 18 500 kr/m för ballastfri banöverbyggnad (WSP, 2004)

En direkt jämförelse av medelkostnaden mellan järnväg på bank och på bro ger en differens på 80 000 kr/m. Att anlägga ett dubbelspår på bro istället för på traditionellt vis på marken är cirka 50 % dyrare sett till investeringskostnad. Priserna per meter i Tabell 4 och Tabell 5 varierar kraftigt. Priset för att bygga järnväg varierar från plats till plats på grund av specifika förhållanden utmed linjedragningarna.

Vid en strikt ekonomisk värdering av investeringskostnaden för val av byggmetod finns det således ingen vinst i att placera en ny höghastighetslinje på bro. Därtill är den extra kostnadsökningen på 50 % för stor. En jämförelse med genomförda projekt ger att det för de cirka 80 000 kr extra per meter som behövs för en placering på bro istället går att anlägga ett tredje spår parallellt längs samma sträcka (se Tabell 3 & 4).

## 4.2 Barriäreffekter

En annorlunda barriäreffekt eller att barriäreffekten ändras ger ingen förändrad projektkostnad i byggskedet men valet av järnvägslösning bestämmer kostnaden och ger en viss barriäreffekt. Det är anläggningens utformning som styr hur barriären upplevs av djur och natur.

Värdesätts andra saker som en mindre fysisk barriär i landskapet eller att färre djur tar skada på grund av järnvägen kan de ekonomiska skillnaderna mellan de olika alternativen komma att minska något. Att välja mellan en höghastighetsjärnväg på bro eller en motsvarande järnvägssträcka på marken motiveras genom antingen priset för att uppföra banan eller de små eller stora

olägenheterna som människor, djur och natur tvingas ta del av (Trafikverket, 2012f).

Att medverka till upprätthållandet av förhållanden för djur- och naturliv och ej försämra dessa är en starkt bidragande anledning till att utforma höghastighetsjärnvägen på bästa sätt. Barriäreffekten av en höghastighetsjärnväg på bro leder till betydligt mindre inverkan på djur- och naturliv än vad en höghastighetsjärnväg på marken leder till. Resultatet av en järnväg på bro istället för på mark innebär att färre djur skadas eller dör på grund av järnvägen och människor kommer att kunna röra sig mer fritt mellan de båda sidorna om spåren. Om istället järnvägen förläggs på marken blir den visuella inverkan mindre vilket bidrar till en mer positiv landskapsbild.

Om det ekonomiska läget tillåter en generellt sett dyrare järnvägsinvestering är det försvarbart att förlägga järnvägen på bro i stället för på marken om det är avsaknaden av fysisk barriär som förespråkas. Däremot bör järnvägen förläggas på marken om det är den visuella barriären som värdesätts högst. Den lösning som är billigast men ändå uppfyller miljömålen på bästa sätt är den lösning som ska väljas.

### **4.3 Markanspråk**

Markbehovet för att konstruera en ny järnväg på bank eller på bro skiljer sig åt kraftigt. Ett traditionellt dubbelspår förlagt på marken behöver i genomsnitt en markbredd på 21 meter (Ramböll, 2012). Detta innebär att i genomsnitt ett 21 meter brett område behövs ta i anspråk längs med hela den nya sträckningen för att förlägga banvallen. Vid passager genom skogsområden krävs även ett trädfritt område vid sidan av banvallen för att förhindra nedfallande träd att inkräkta på spårområdet. Detta område kan vara upp till 20 meter extra på vardera sida av banvallen (Banverket, 2009). Tas den trädfria zonen med i markanspråket krävs en cirka 50 meter bred gata genom skogsområden för en ny järnvägslinje.

En placering av järnvägen på bro förflyttar spåret cirka tio meter upp i luften vilket medför andra krav på markbehovet. Brokonstruktionen innebär att en pelare placeras var 20 m. Detta vid brospann på 20 m. Bropelaren har en tvärsnittsytta på 12 m<sup>2</sup> vilket ger att en broförlag järnväg behöver 0,6 m<sup>2</sup> mark per meter järnväg (Ramböll, 2012).

Skillnaden i markanspråk mellan en broförlagd järnväg blir 20,4 m<sup>2</sup> per meter för järnvägslinjer i icke skogsbeklädda områden upp till 49,4 m<sup>2</sup> per meter för dragningar genom skogsområden. Med ett kvadratmeterpris, för mark, på

10 kr/m<sup>2</sup> (LRF konsult, 2013) fås en vinst för den broförlagda järnvägen på cirka 200 kr/m upp till cirka 500 kr/m beroende på vilken typ av markområden som passeras.

Vinsten med att förlägga järnväg på bro sett till kostnaden för mark är av ringa karaktär vid nybyggnation. Den stora fördelen med en broförlagd järnväg är frigörandet av mark under spåren och möjlighet till användandet av densamma i framtiden. Marken låses inte upp utan det finns möjlighet för samhället att i framtiden använda sig av marken utan att större ingrepp måste ske i järnvägsanläggningen. Passage av järnvägen är även möjlig på alla punkter längs sträckan vid en broförlagd järnväg.

#### 4.4 Underhåll

Underhållskostnaden styrs av hur mycket banan trafikeras. Underhållet är dyrare för ballasterat spår och skillnaden i underhållsåtgärder mellan spår med ballast och ballastfritt spår är markant (se Tabell 1). Underhållsåtgärderna som behövs för en bro med ballastfritt spår är i stora drag att lagren mellan betongpelare och broplatta ska smörjas alternativ bytas ut med jämna mellanrum, sprickor i betongen som är utanför gränsvärden ska lagas (Lundstedt, 2013) och rälsen ska slipas (Hedström, 2013).

De beräknade underhållskostnaderna för Citybanan (Tabell 2) visar att skillnaden mellan ballasterat spår och ballastfritt spår är ungefär 70 % till fördel för det ballastfria spåret. Samma tabell beskriver underhållskostnaden per spårmeter till 131 kr för ballasterat spår och 76 kr för ballastfritt spår. Som mest kan 55 kr/spm sparas in i underhållskostnad om banan utrustas med ballastfritt spår (WSP, 2004). Beroende på vilka förhållande som råder, så kan underhållskostnaden för ballastfritt spår reduceras med mellan 20-70 % jämfört med underhållskostnaden för ballasterat spår (Gustavsson, 2013). Marken och klimatet som järnvägen placeras i spelar en viktig roll för hur mycket underhållet kommer att kosta. Ju färre växlar som anläggs på en järnvägssträcka, desto större blir den procentuella skillnaden i kostnad för underhåll mellan ballasterat och ballastfritt spår (WSP, 2004).

Oberoende om järnvägen förläggs på bro eller på mark så ska valet mellan ballastfritt eller ballasterat spår göras. Den stora vinsten med underhållet kommer inte av att järnvägen placeras på bro, utan istället från att bron utrustas med ballastfritt spår. Skillnaderna i underhåll mellan bro och mark är inte stora nog för att motivera investeringen, men de färre underhållsåtgärderna bidrar till att banan kan trafikeras av fler tåg än om underhållsåtgärderna varit fler (Gustavsson, 2013). Med en allt mer ansträngd och tät trafikering av banorna är detta ett viktigt argument för användandet av banor med ballastfritt spår (Esveld, 2001). Fler tåg på banan innebär tätare



trafik och bättre resandemöjligheter för passagerare. Om det är lönsamt att investera i en höghastighetsjärnväg på bro blir den mer lönsam, sett till underhåll, om den kombineras med ett ballastfritt spår.

## 4.5 Jämförelse

**Tabell 6: Jämförelsetabell för val av järnvägsinvestering**

	Järnvägsinvestering förlagd på:		Anmärkning
	Bro	Mark	
<b>Kostnad vid investeringstillfället</b>		+	50 % dyrare med investering i järnväg på bro Kostnad broförlagd 239 000 kr/m Kostnad markförlagd 159 000 kr/m
<b>Visuell barriäreffekt</b>		+	Skymmer tidigare utsikt med en upphöjd järnväg
<b>Fysisk barriäreffekt</b>	+		Tillåter djur, natur och människor att röra sig fritt mellan och i kringliggande område
<b>Underhållskostnad</b>	+		20-70 % billigare att underhålla <sup>1</sup> Underhållskostnad för ballasterad stambana cirka 150 kr/spm per år
<b>Underhållsåtgärder</b>	+		Färre underhållsåtgärder som frigör tid på banan <sup>1</sup>
<b>Markanspråk</b>	+		Mycket mark som ej berörs av en upphöjd järnväg
<b>Ballastfritt spår</b>	=	=	Påverkas knappt av ändring i vertikalled

<sup>1</sup>Förutsätter en jämförelse mellan en ballastfri bro och ett ballasterat spår på marken

Nyckeln till val av utformning av järnvägen beror på vilka miljömål som ska uppfyllas. En broförlagd järnväg har större chans att upprätthålla en bra miljö intill och runt spåren än en markförlagd. I långa loppet kan bron samhällsekonomiskt vara positiv. Kostnaden för att uppföra järnvägsbron är cirka 50 % större än en järnväg på mark. Denna 50 % ökning i investeringskostnad måste, för att projektet skall vara lönsamt, hämtas in genom andra vinster eller miljömål för att en placering på bro ska bli aktuell.

För att bestämma hur en höghastighetsjärnväg ska utformas förs en dialog mellan Trafikverket och intressenter. Valet av placering och utformning styrs av järnvägens påverkan på miljö, markanvändning, trafiksäkerhet och tillgänglighet. Prioriteras markanspråket, djur och natur, människans möjlighet till att röra sig fritt och att järnvägen är mer tillgänglig för trafik kan alternativet vara en placering på bro. Än en gång hänvisas till att uppfyllelse av miljömålen avgör om höghastighetsjärnvägen ska placeras på bro eller på marken (Trafikverket, 2012f).



## 5 Diskussion

Att förlägga järnvägen på bro är någonting nytt som kan mötas med motstånd av samhället. Sett till rena byggkostnader så är det inte motiverat att förlägga järnvägen upphöjd då själva brokonstruktionen medför en alltför stor kostnad sett till vad det kostar att bygga järnväg på traditionellt vis.

Under litteraturstudien och intervjuandet har varierande kostnader framkommit i vårt resultat. Vår första intervjuperson, Corshammar (2013a), anger det klart lägsta priset per meter för en broförlagd järnväg och det är även Corshammar som anger den klart kortaste produktionstiden. Andra källor med ett högre pris har även en längre byggtid och ett möjligt samband kan finnas mellan förväntad produktionstid och byggkostnad. Vid en kortare byggtid bör kostnaderna kunna minskas. Produktionstiden varierar från att kunna lägga ut ett brospann om dagen per front, till fem spann per dag och front. En förkortad byggtid sparar in på kostnader samtidigt som banan kan öppnas tidigare och börja betala av sig själv. Dock har vi i vår undersökning av projekt som faktiskt har konstruerats med någon typ av prefabriceringsmetod ute i världen hittat ganska lika bygghastigheter. De allra flesta projekten ligger kring ett spann om dagen och bara i mycket gynnsamma förhållanden har de lyckats lägga flera på en dag. Att kunna konstruera flera spann om dagen, under en längre period, ser vi som ett optimistiskt tankesätt.

Det kan vara så att de högre kostnader som framkommit genom intervjuer naturligt baseras på befintliga och genomförda projekt i Sverige, vilket i sig borde skapa en god kostnadsbild. Dock har ingen av de berörda personerna varit inblandad i eller haft insyn i ett så här omfattande broprojekt, vilket kan ha lett till en något för hög kostnadsbild. En tanke är att i de länder där byggtiden är kortare och byggkostnaden är lägre är tillgången till arbetskraft både billigare och större. Något som styrker detta är siffror från Rambölls rapport där kostnader från Kina och Japan är lägre än projekt i Europa. Den korta byggtiden för projekt i Asien kan bero på att fler arbetare kan mobiliseras.

För att kunna motivera en eventuell järnväg på bro är det värderingen av de mjuka effekterna som måste komma i fokus. Till exempel att marken under en broförlagd järnväg är tillgänglig för allmänheten. Det finns naturligtvis begränsningar för dess utnyttjandegrad. Marken är exempelvis mindre attraktiv då den ligger under en järnväg. Jordbruk bör kunna bedrivas under en bro med undantag för ytan där bropelarna är placerade. Lika väl som att det går att bruka mark under större kraftledning går det att bruka marken under bron. Det ska dock nämnas att flera stora pelare i jordbruksmarken naturligtvis

stör användandet och att solen och regn inte kommer åt i samma grad, jämfört med om bron inte fanns där, vilket försämrar nyttjandegraden.

En stor nackdel för en järnväg förlagd på pelare uppe i luften är den visuella påverkan som banan får på landskapet. En stor visuell barriäreffekt uppstår till följd av det förhöjda läget. Här kan det tänkas finnas ett kraftigt motstånd till en placering på bro då inverkan på kulturmiljö och landskapsbilden anses vara för stor. Diskussion bör dock föras kring vilken slags barriäreffekt som är den ”bästa” respektive ”sämsta”. En visuell barriäreffekt stör på långt avstånd medan en fysisk barriäreffekt som skapas genom en järnväg på marken hindrar rörelse från en plats till en annan. Den fysiska barriäreffekten är total för människan då vilda djur passerar järnvägen relativt fritt oavsett om banan är förlagd på marken eller på bro medan passage är förbjudet för människor.

Säkerheten för hela tågsystemet och även arbetsförhållandena för tågpersonal förbättras med en broförlagd järnväg. Mycket av detta kommer från att en upphöjd bana medför en kraftigt försvårad tillgänglighet för människor men även för djur. En upphöjd svårtillgänglig bana förhindrar påkörningsolyckor av människor och det samma gäller för viltolyckor. Ett minskat antal kollisioner varje år ökar tillgängligheten och pålitligheten till systemet med reducerat antal förseningstimmar som följd.

Underhållet på en broförlagd järnväg med ett ballastfritt spår kan minimeras kraftigt sett till ett ballasterat spår på marken. Dock skall det påpekas att alla de klara underhållsfördelarna som fås med ett ballastfritt system på bro även fås med ett ballastfritt system direkt på marken. Därigenom förloras vissa delar av styrkan med en broförlagd järnväg.

Den stora variationen i underhållskostnad mellan ballastfritt och ballasterat spår kan skilja upp till 70 % vilket kan bero på klimatet där järnvägen förläggs och hur markförhållandena är. Även om variationen är stor anser vi att dessa siffror är rimliga.

De avgränsningar som är gjorda i rapporten, att vi fokuserat på uppgifter om barriäreffekt, underhåll och markanspråk, har gjort avtryck i resultatet. Hade fler samhällsekonomiska effekter och annan information inhämtats så hade resultatet kunnat bli något annat. Det är enligt oss inte möjligt att besvara frågan ”Är det lönsamt att bygga järnväg på bro istället för på marken?” med ett rakt svar. Byggsättet med prefabricerade element är ett alternativ som bör undersökas men bedömningen måste göras enskilt för varje projekt och frågan är svår att generalisera.

Metoden att söka information via webben och i intervjuer kunde ge ett resultat som varit lättare att utvärdera om alla respondenterna i intervjuerna varit verksamma inom samma område i branschen. Alla intervjuer berör varandra, men det finns också skillnader mellan dem som gör att vissa frågor inte besvaras av alla respondenter.

Informationsinsamlingen till arbetet är gjord via intervjuer samt eftersökningar på internet, i böcker och i rapporter. Vid informationssökning om projekt byggda med någon typ av prefabriceringsmetod runt om i världen har information i vissa fall varit svåra att hitta. Framförallt kostnader för projekten har varit svårt att få fram via trovärdiga källor. Spridningen i kostnad mellan de olika broprojekten är relativt stor och även vilka poster som ingår i kostnaden varierar mellan projekten. Detta gör att resultatet i en ny rapport av samma slag mycket möjligt kan få ett annat resultat än det som framkommer i denna.

Med en närmare kontakt med något eller några av de större konstruktionsföretagen i världen finns möjligheten till ett mer detaljerat resultat och även en större specificering av vilka kostnadsposter som är de stora inom brokonstruktion och vilka det skall läggas mest energi på för att minimera.



## 6 Slutsats och vidare studier

Att investera i en infrastrukturlösning som innebär att höghastighetsjärnväg förläggs på bropelare med prefabricerade brospann innebär en högre byggkostnad än om järnvägen byggs traditionellt på marken. För att kunna motivera en järnvägslösning på bro krävs det att andra aspekter värderas högre än byggkostnaden. Motiveringen kan ligga i att underhållet blir mindre kostsamt, att den fysiska barriären försvinner samtidigt som marken kan användas för annat ändamål. En kombination av både broförlagd och markförlagd järnväg är en möjlig lösning i Sverige.

För att kunna avgöra vilka delar av landet som kan gynnas av en höghastighetsjärnväg på bro rekommenderas vidare studier som kan utvärdera lönsamheten kring och i tätorter samt större städer. På grund av att markpriserna skiljer sig beroende på vilken del i landet som projektet planeras i, kan det vara lönsamt i befolkningstäta områden och i områden där tillgången till mark är svårare.

Förslag till vidare studier och fördjupning inom området:

- Noggrannare beräkningar av byggkostnader för broförlagd järnväg
- Broförlagd järnväg i stadsmiljöer
- Fördjupad analys av hur olika barriäreffekter från olika typer järnväg påverkar landskapet
- Bullerpåverkan från en broförlagd järnväg

## 7 Referenser

### 7.1 Skriftliga referenser

- Acciona. (2012). *Viaducto Arroyo del Salado* [fotografi].  
<http://www.acciona.com/pressroom/indepth/2012/a-track-record-in-high-speed-rail> [2013-04-10]
- Adif. (2013). *Cordoba-Malaga line*.  
[http://www.adif.es/en\\_US/infraestructuras/lineas\\_de\\_alta\\_velocidad/cordoba-malaga/cordoba-malaga.shtml](http://www.adif.es/en_US/infraestructuras/lineas_de_alta_velocidad/cordoba-malaga/cordoba-malaga.shtml) [2013-04-10]
- Alvarsson Hjort, A. (2012). *Utsikt från höghastighetståg*. Masteruppsats, Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Banverket. (2004). *Makadamballast för järnväg (BVS 585.52)*. Borlänge: Trafikverket.
- Banverket, Vägverket. (2005). *Vilda djur och infrastruktur - en handbok för åtgärder*. Borlänge: Trafikverket.
- Banverket. (2008). *Järnvägsutredning Ostlänken Sammanfattande information*. Borlänge: Trafikverket.
- Banverket. (2009). *Järnvägsutredning Ostlänken avsnitt Järna - Norrköping Miljökonsekvensbeskrivning*. Borlänge: Trafikverket.
- Barin, T. (2012). *Sverige banar väg mot kontinenten: Höghastighetsbanor – ett hållbart transportsystem för framtiden*. Kandidatuppsats, Kulturgeografiska institutionen, Uppsala Universitet. Uppsala: Uppsala Universitet.
- Bekaert. (2013). *Spännarmering*.  
<http://www.byggbasen.com/prod/spannarmering/3949.html> [2013-04-26]
- Bårström, S. & Granbom, P. (2012). *Den svenska järnvägen*. Borlänge: Trafikverket.
- Continental Engineering Corp. (u.å.). *Joint Venture BB and CEC Taiwan High Speed Rail Project C260-C270*.  
[http://www.cec.com.tw/Files/Engineering/1c260\\_c270.pdf](http://www.cec.com.tw/Files/Engineering/1c260_c270.pdf) [2013-05-03]
- Corshammar, P. (2005). *Perfect track - Din framgång i järnvägsunderhåll och driftsäkerhet*. Lund: Perfect track.
- Corshammar, P. (2012). *Perfekt spårgeometri, framtidens spår*. Lund: Perfect track.



- Corshammar, P. (2013b). *Why hsr is a profitable business case for scandinavia*. <http://www.8millioncity.com/nyheter/how-to-achieve-high-speed-rail-in-scandinavia> [2013-04-12]
- Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track*. 2. uppl., AH Zaltbommel: Delft University of Technology.
- Esveld, C. (2003). *Recent developments in slab track*. [http://www.esveld.com/Download/TUD/ERR\\_Slabtrack.pdf](http://www.esveld.com/Download/TUD/ERR_Slabtrack.pdf) [2013-03-13]
- European Commission. (2013). *Transport infrastructures – TEN-T*. [http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/index_en.htm) [2013-02-18]
- Europeiska Gemenskapens Kommission. (2007). Teknisk specifikation för driftskompatibilitet (TSD) avseende delsystemet Infrastruktur *Europeiska unionens officiella tidning*. Bryssel: EU
- Geremia, G., Magnorfi, F., Orlandini, M., Petrangeli, M. & Usai, G. (2006). *Large Concrete Precast Box Girders along the New Italian High Speed Railway Lines*. Budapest: International Association for Bridge and Structural Engineering.
- Guo, S.-J., Lu, I.-F. & Pan, Y.-J. (2011). Construction Project Management and Insurance Program for Taiwan High Speed Rail Project. *Leadership and Management in Engineering*, ss. 45-56.
- Haihong, L. (2013) *Beijing-Guangzhou high-speed rail line a source of national pride*. <http://www.globaltimes.cn/content/754539.shtml> [2013-05-14]
- Johansson, B. (2010). *Jordbruk som håller i längden*. Stockholm: Forskningsrådet Formas.
- Keats, D. M. (2001). *Interviewing*. Buckingham: Open University Press.
- Lechner, B., Leykauf, G. & Stahl, W. (2006). Trends in the use of slab track/ballastless tracks. *RTR - Specials State-of-the-art*.
- LRF konsult. (2013). *Uppgången bruten för åkerpriserna*. <http://www.lrfkonsult.se/press/Nyheter/Akermarkspriserna-2012/> [2013-05-06]
- Magne Holme, I., & Krohn Solvang, B. (1997). *Forskningsmetodik*. 2. uppl., Lund: Studentlitteratur.
- Michas, G. (2012). *Slab Track System for High-Speed Railways*. Masteruppsats, Division of Highway and Railway Engineering, Royal Institute of Technology. Stockholm: KTH.

- Navas Montes, A. (2005). *Linea de alta velocidad Córdoba-Málaga*.  
[http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra355\\_05.pdf](http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra355_05.pdf)  
 [2013-04-10]
- Nelldal, B.-L. (2008). *Höghastighetsbanor i Sverige*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.
- Nelldal, B.-L. (2010). *Så bör trafikeringen vara på höghastighetsnätet*.  
<http://www.europakorridoren.se/seminariemtrl/KTH.pdf> [2013-02-18]
- Nyquist, D. (2010). *Underhåll av fixerat spår*. Masteruppsats, Institutionen för Teknik och samhälle, Lunds Tekniska Högskola. Lund: LTH.
- Ramböll. (2012). *The scandinavian 8 million city*. Malmö: Ramböll.
- Reisvang, H. H. (2012). *Hevet jernbane i kaldt klima*. Masteruppsats. Narvik: Högskolan i Narvik.
- Repstad, P. (2007). *Närhet och distans*. 4:1, uppl., Oslo: Universitetsforlaget.
- Ricklefs, R. E. (2007). *The economy of nature*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Rosignoli, M. (2012). *Modena viaducts for Milan-Naples high-speed railway in Italy*. *PCI Journal*, ss. 50-61.
- Saipem. (2012). *High speed railway systems engineering and construction project references*.  
<http://www.saipem.com/site/download.jsp?idDocument=2328&instance=2> [2013-05-02]
- Seconed. (2013). *Viaducto of Battice*. <http://seconed.nl/en/mission/viaduct-0>  
 [2013-05-13]
- SOU 2009:74. *Höghastighetsbanor - ett samhällsbygge för stärkt utveckling och konkurrenskraft*. Stockholm: Sveriges Riksdag.
- Structurae. (2013a). *Ventabren Viaduct*.  
<http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0000405> [2013-04-17]
- Structurae. (2013b). *Milan-Bologna High-Speed Rail Line*.  
<http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=p0000151> [2013-04-17]
- Trafikverket. (2010). *Botniabanan invigd och billigare än väntat*.  
<http://www.trafikverket.se/Pressrum/Pressmeddelanden1/Pressmeddelanden1/Vasternorrland/2010/2010-08/Botniabanan-invigd-och-billigare-an-vantat/> [2013-05-21]
- Trafikverket. (2012a). *Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5*. Borlänge: Trafikverket.

- Trafikverket. (2012b). *Typsektioner för bana* (BVS 1585.005). Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2012c). *Samhällsekonomiska analyser i transportsektorn*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2012d). *Mark och fastighet*.  
<http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Stockholm/Ostlanken/Mark-och-fastighet/> [2013-02-18]
- Trafikverket. (2012e). *BanaVäg i Väst- Projektaktuellt november 2012*.  
[http://www.trafikverket.se/PageFiles/48269/manadsannons\\_alekuriren\\_1211.pdf](http://www.trafikverket.se/PageFiles/48269/manadsannons_alekuriren_1211.pdf) [2013-05-21]
- Trafikverket. (2012f). *Nya vägar och järnvägar-så här planerar vi*.  
[http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6945/100585\\_Nya\\_vagar\\_och\\_jarnvagar\\_sa\\_har\\_planerar\\_vi.pdf](http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6945/100585_Nya_vagar_och_jarnvagar_sa_har_planerar_vi.pdf) [2013-05-17]
- Trafikverket. (2013a). *Deletapper BanaVäg i Väst*.  
<http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Vastra-Gotaland/BanaVag-i-Vast/Deletapper/> [2013-05-21]
- Trafikverket. (2013b). *Frågor och svar om Ostlänken*.  
<http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Stockholm/Ostlanken/Fragor-och-svar-om-Ostlanken/> [2013-02-18]
- Trafikverket. (2013c). *BanaVäg i Väst*. <http://www.trafikverket.se/banavag> [2013-05-23]
- Trost, J. (2005). *Kvalitativa intervjuer*. 3. uppl., Lund: Studentlitteratur.
- WSP. (2004). *Citybana i Stockholm, Utredning för val av banöverbyggnad*. Stockholm: WSP.

## 7.2 Muntliga referenser

- Alzen, H. (2013). E-post den 25 mars 2013.
- Brommesson, M. (2013). Intervju den 5 april 2013.
- Corshammar, P. (2013a). Intervju den 20 februari 2013.
- Gustavsson, L. (2013). E-post den 16 april 2013.
- Hedström, R. (2013). Intervju den 9 april 2013.
- Jelcander, L.-E. (2013). Intervju den 5 april 2013.
- Kannerby, G. (2013). E-post den 18 mars 2013.
- Lundstedt, K. (2013). Intervju den 20 mars 2013.
- Löfgren, K. (2013). E-post den 17 april 2013.

### 7.3 Figurförteckning

Figur 1: Typsektion för ett ballasterat dubbelspår, efter (Trafikverket, 2012b). .....	5
Figur 2: Shinkansen slab track (Esveld, 2003). .....	8
Figur 3: Bögl slab track (Esveld, 2003). .....	9
Figur 4: Viaducto Arroyo del Salado (Acciona, 2012).....	12
Figur 5: Tvärsnitt av Bicassone-modellen (Geremia et al. 2006).....	12
Figur 6: Omegasektioner för höghastighetståg i Italien (Saipem, 2012).....	13
Figur 7: Markprisområden i Sverige år 2012 (LRF konsult, 2013).....	34
Figur 8: Prinsipsektion för dubbelspår på marken (Banverket, 2009). .....	35
Figur 9: Markbehov för olika typer av höghastighetsbanor (Corshammar, 2013b). .....	36

### 7.4 Tabellförteckning

Tabell 1: Exempel på bygghastigheter för traditionell järnväg .....	18
Tabell 2: Beräknade underhållskostnader Citybanan efter (WSP, 2004).....	29
Tabell 3: Pris per hektar mark i Sverige under tre år (LRF konsult, 2013).....	35
Tabell 4: Kostnadstabell för nybyggnation av traditionell dubbelspårig järnväg .....	39
Tabell 5: Kostnadstabell för järnväg på bro.....	40
Tabell 6: Jämförelsetabell för val av järnvägsinvestering .....	43

## 8 Bilaga

### Bilaga 1

#### Frågor till Håkan Alzen om att konstruera järnväg kontinuerligt på bro med prefabricerade betongelement

Grunden för frågorna nedan bygger på att ett dubbelspår för höghastighetståg konstrueras kontinuerligt på bro. Bron byggs med hjälp av prefabricerade betongelement som placeras ut på pelare längs med bansträckningen. Tanken är att spårkonstruktionen skall vara av någon ballastfri modell för att minimera underhållet. Vi tänker också att den del av banan som är färdigbyggd skall kunna fungera som transportväg för nästa segment vilket innebär att brospannen måste klara sin egenvikt x2. Är detta rimligt eller måste spannen delas upp?

1. Vad har du för erfarenhet/kännedom om metoden med prefabricering av broar?
2. Vilka olika metoder av prefabricering av broar känner du till?
3. Använder sig Årstabron av någon typ av prefabricering? Vilken metod annars?
4. Vad kostar normalt en brokonstruktion i Sverige för järnväg per meter? Någon typ av grundpris per meter borde ju finnas för att kunna räkna på vad projekt kommer att kosta.
5. Vad är generell bygghastighet för en järnvägsbro idag? Bara själva konstruktionstiden?
6. Tror du det skulle gå fortare eller långsammare att bygga en bro med en prefab-metod?
7. Är metoder med prefabricering vanlig när Trafikverket bygger broar?
8. Varför/varför inte använder Trafikverket sig av prefab-metoder för broar?
9. Vad ser du för fördelar/nackdelar med prefabricering av broelement?
  - a. Produktionstid
  - b. Kostnad
  - c. Kvalitet
  - d. Anläggningstid (entreprenad)
10. Vad finns det för kvalitetskrav/livslängdskrav på broar i Sverige?

Personer vi pratat med säger att Trafikverkets krav bland annat är att en ny konstbyggnad skall hålla i minst 100 år och att de därför inte vågar använda sig av metoden med prefabricering då det inte visats att den är tillförlitlig under så lång tid.
11. Ser du att det finns möjlighet till att gjuta hela brospannen i ett stycke eller är det bättre att dela upp dem i mindre bitar som sammanfogas?

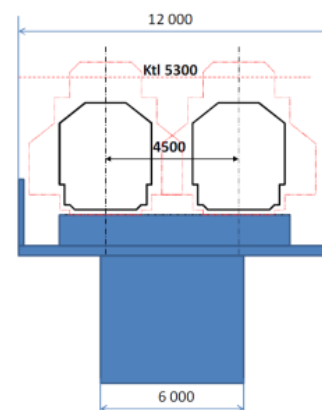
Transporthänsyn, vikt?

12. Möjlighet till att även prefabricera bropelarna? Fördelar/Nackdelar med detta? Kan man göra det?
13. Hur hanterar man de krafter som uppstår mellan bro och spårkonstruktionen vanligen? Borde bli ganska stora då bron är så pass lång. Detta speciellt med hänsyn på ballastfria spår på bron då kraftöverföringen inte kan ske med hjälp av ballast i tråg.
14. Ser du något problem med att bygga järnväg kontinuerligt på bro? Vilka?

### Frågor till Magnus Brommesson om att konstruera järnväg kontinuerligt på bro med prefabricerade betongelement

Grunden för frågorna nedan bygger på att ett dubbelspår för höghastighetståg konstrueras kontinuerligt på bro. Bron byggs med hjälp av prefabricerade betongelement som placeras ut på pelare längs med bansträckningen.

1. Vad har du för erfarenhet/kännedom om metoden med prefabricering av betongelement? Speciellt med hänsyn tagen till längre sträckor.
2. Vilka olika metoder av prefabricering av broar känner du till?
3. Vad ser du för fördelar med prefabricering av broelement i allmänhet?
  - a. Produktionstid
  - b. Kostnad
  - c. Kvalitet
  - d. Anläggningstid (entreprenad)
4. Vad finns för kvalitetskrav/livslängdskrav på broar i Sverige? Personer vi pratat med säger att Trafikverkets krav bland annat är att en ny konstbyggnad skall hålla i minst 100 år och att de därför inte vågar använda sig av metoden med prefabricering då det inte visats att den är tillförlitlig under så lång tid.
5. Hur långa spann är rimligt? Borde finnas en gräns när spannlängden blir för dyr gentemot vinsten man gör i att minska antalet pelare. D.v.s. någon kvot mellan pelare och spannlängd. Hur långa spann är möjliga att bygga konstruktionsmässigt?
6. Ser du att det finns möjlighet till att gjuta hela spannet i ett stycke eller är det bättre att dela upp dem i mindre bitar som sammanfogas?
7. Vilket ser du som enklast. Att bygga två separata banor som placeras bredvid varandra eller att man konstruerar en stor modul som tar hand om båda spåren. Är den enklaste lösningen den billigaste?



8. Tankar och hjälp för att ta fram en grundmodell som kan användas schablonmässigt för vidare studier i arbete. Se schablonmodell till höger.
9. Möjlighet till att även prefabricera brodelarna? Fördelar/Nackdelar med detta? Pelarens utformning.
10. Hur hanterar man de krafter som uppstår mellan bro och spårkonstruktionen? Borde bli ganska stora då bron är så pass lång.
11. Hur ser du på möjligheten/behovet/kravet att uppföra en separat fabrik för produktion av elementen? Kan det finnas någon vinst i detta?
12. Ser du något problem med att bygga järnväg kontinuerligt på bro? Vilka?
13. Vilka underhållsåtgärder behövs för bron (järnvägens underbyggnad)?
  - a. Vad ska göras
  - b. Intervall
  - c. Kostnad

### **Intervjufrågor till Per Corshammar**

1. Vad/vilka är de stora fördelarna med att bygga järnväg kontinuerligt på bro?
2. Vad ser du för nackdelar med metoden?
3. Vad finns det för olika metoder för att bygga järnväg på bro med prefabricerade element?
4. Vet du om det finns några projekt som genomförts med tekniken prefabricerade broar? (Europa/världen)
5. Vad blir det för påverkan på omgivningen med en järnväg på bro?
6. (Fysisk/visuell barriäreffekt, buller, markanspråk, säkerhet)
7. Vilka underhållsåtgärder behövs med en järnväg på bro? (S speciellt för bro)
8. Hur fungerar räddningsarbetet på en bro? (Evakuering)
9. Hur stor blir kostnaden med järnväg kontinuerligt på bro? (Avskrivningstid)
10. Hur kan man tänkas finansiera ett höghastighetsnät i Sverige som du förstår?
11. (Statligt, privat)
12. Är det relevant/rimligt att bygga järnväg på bro i Sverige?
13. Vad anser du kunna motivera för den höga byggkostnaden i jämförelse med traditionellt järnvägsbyggande?
14. Hur stort resande underlag behövs för att "räkna hem" en investering?
15. Rimligt i Sverige?

Kontakter till intressanta personer

### **Frågor till Ragnar Hedström om underhåll för järnväg konstruerad kontinuerligt på bro med prefabricerade betongelement**

Grunden för frågorna nedan bygger på att ett dubbelspår för höghastighetståg (över 250 km/h) konstrueras kontinuerligt på bro. Bron byggs med hjälp av någon typ av prefabricerade betongelement som placeras ut på pelare längs med bansträckningen. Tanken är att spårkonstruktionen skall vara ballastfri av något slag.

1. Vad är din bakgrund inom järnvägsunderhåll?
2. Vilka är de 5 vanligaste underhållsåtgärderna på järnväg?
3. Vilka konsekvenser uppstår om underhållet ovan eftersätts?
4. Vilka är de 5 viktigaste underhållsåtgärderna på järnväg?
5. Vilka konsekvenser uppstår om underhållet ovan eftersätts?
6. Hur mycket kostar underhåll på en traditionell järnväg per meter?
7. Vad är kostnaden för de, enligt dig, 5 vanligaste underhållsåtgärderna?
8. Vad har du för erfarenhet om ballastfria spår?
9. Vad ser du för behov av underhåll på ballastfria spår ?
10. Hur mycket rälsslipning tror du behövs på en ballastfritt spår?
11. Ser du några uppenbara nackdelar med ballastfria spår sett till underhåll?
12. Hur stor del av behovet för rälsslipning uppstår på grund av dåligt spårläge? Vad finns det en koppling mellan dåligt spårläge och rälsslipningsbehov?
13. Varför byggs det inte mer spår idag i Sverige med ballastfria metoder än det faktiskt görs? Anledningar enligt dig.
14. Ser du något problem med att bygga järnväg kontinuerligt på bro? Allmänt och inte bara med avseende på underhåll.
15. Eftersom en bro generellt sett är underhållsfri ser du då någon fördel/nackdel med att använda en ballastfri metod för att uppnå ett nästintill underhållsfritt system? Varför är ditt svar en fördel eller nackdel.

### **Frågor till Lars-Erik Jelcander om ballastfria spår för järnväg konstruerad kontinuerligt på bro med prefabricerade betongelement**

Grunden för frågorna nedan bygger på att ett dubbelspår för höghastighetståg (över 250 km/h) konstrueras kontinuerligt på bro. Bron byggs med hjälp av någon typ av prefabricerade betongelement som placeras ut på pelare längs med bansträckningen. Tanken är att spårkonstruktionen skall vara ballastfri av något slag.

1. Vad är din bakgrund inom järnväg?
2. Vad har du för erfarenhet om ballastfria spår?
3. Ser du några uppenbara nackdelar med ballastfria spår?
4. När anser du att det är passande att använda ballastfria spår?



5. Hur ser kostnaden ut för ett ballastfritt spår jämfört med ett traditionellt?  
Byggkostnad, Livskostnad.
6. Är det annorlunda att projektera ballastfria spår jämfört med traditionella ballastspår?
7. Vilka är de vanligaste underhållsåtgärderna på ballastfria spår?
8. Vilka konsekvenser uppstår om underhållet ovan eftersätts?
9. Hur mycket kostar underhåll på en traditionell järnväg per meter?
10. Hur mycket rälsslipning behövs på en ballastfritt spår?
11. Varför byggs det inte mer spår idag i Sverige med ballastfria metoder än det faktiskt görs? Anledningar enligt dig.
12. Ser du något problem med att bygga järnväg kontinuerligt på bro?  
Allmänt och inte bara med avseende på underhåll.
13. Eftersom en bro generellt sett är underhållsfri ser du då någon fördel/nackdel med att använda en ballastfri metod för att uppnå ett nästintill underhållsfritt system? Varför är ditt svar en fördel eller nackdel.

### **Frågor till Karl Lundstedt om att konstruera järnväg kontinuerligt på bro med prefabricerade betongelement**

Grunden för frågorna nedan bygger på att ett dubbelspår för höghastighetståg konstrueras kontinuerligt på bro. Bron byggs med hjälp av prefabricerade betongelement som placeras ut på pelare längs med bansträckningen.

1. Vad har Skanska för erfarenhet/kännedom om metoden med prefabricering av betongelement? Speciellt med hänsyn tagen till längre sträckor.
2. Vilka olika metoder av prefabricering av broar känner du till?
3. Vad ser du för fördelar med prefabricering av broelement i allmänhet?
  - a. Produktionstid
  - b. Kostnad
  - c. Kvalitet
  - d. Anläggningstid (entreprenad)
4. Vad finns för kvalitetskrav/livslängdskrav på broar i Sverige?  
Personer vi pratat med säger att Trafikverkets krav bland annat är att en ny konstbyggnad skall hålla i minst 100 år och att de därför inte vågar använda sig av metoden med prefabricering då det inte visats att den är tillförlitlig under så lång tid.
5. Hur långa spann är rimligt? Borde finnas en gräns när spannlängden blir för dyr gentemot vinsten man gör i att minska antalet pelare. D.v.s. någon kvot mellan pelare och spannlängd. Hur långa spann är möjliga att bygga konstruktionsmässigt?

6. Ser du att det finns möjlighet till att gjuta hela spannet i ett stycke eller är det bättre att dela upp dem i mindre bitar som sammanfogas?
7. Vilket ser du som enklast. Att bygga två separata banor som placeras bredvid varandra eller att man konstruerar en stor modul som tar hand om båda spåren. Är den enklaste lösningen den billigaste?
8. Tankar och hjälp för att ta fram en grundmodell som kan användas schablonmässigt för vidare studier i arbete. Se schablonmodell till höger.
9. Möjlighet till att även prefabricera bropelarna? Fördelar/Nackdelar med detta? Pelarens utformning.
10. Hur hanterar man de krafter som uppstår mellan bro och spårkonstruktionen? Borde bli ganska stora då bron är så pass lång.
11. Hur ser du på möjligheten/behovet/kravet att uppföra en separat fabrik för produktion av elementen? Kan det finnas någon vinst i detta?
12. Ser du något problem med att bygga järnväg kontinuerligt på bro? Vilka?
13. Vilka underhållsåtgärder behövs för bron (järnvägens underbyggnad)?
  - a. Vad ska göras
  - b. Intervall
  - c. Kostnad

