

# Järnväg på bank eller bro över lös jord?

Vilket alternativ är mest ekonomiskt ur ett underhållsperspektiv?



**LUNDS  
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Trafik och väg**

Examensarbete:  
Johannes Widerberg  
Doan Le

© Copyright Johannes Widerberg, Doan Le

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

## Sammanfattning

Att bygga järnväg är dyrt. Byggs järnvägen dessutom över mark med svag bärighet ökar kostnaden än mer. Pålning står för en stor del av investeringskostnaden för järnväg på bank. Om en alternativ metod används, där pålningen reduceras markant, kan kostnaden minska. Metoden använder en brokonstruktion där pålning endast sker på utvalda platser.

Rapporten jämför investerings- och underhållskostnad för två metoder under 60 år. Metoden ballastspår på bankpålning jämförs med den alternativa metoden brokonstruktion med ballastfritt spår på påldäck. Brokonstruktionen är dyr, men om underhållskostnader under 60 år tas med i beräkningen så kan totalkostnaden reduceras.

Genom att först göra en litteraturstudie för att skapa en grundläggande förståelse kan sedan referensobjekt analyseras. Dessa tillämpas på rapportens förutsättningar som vidare beräknas för metoderna. Sedan jämförs investerings- och underhållskostnader för metoderna.

Två metoder för att stabilisera jord med svag bärighet är bankpålning och påldäck. Båda metoderna bygger på att pålar trycks mer i jorden och stabiliserar den. Skillnaden är att bankpålning har enskilda pålplattor för varje påle, medan påldäck har en gemensam betongplatta.

För järnväg finns det flera olika typer av broar, till exempel plattbro, lådbalkbro och balkbro. Brotyperna har olika egenskaper. Lådbalkbron är, till skillnad från de andra, dimensionerad för långa spännvidder och för att motstå högt vridmoment. Plattbron är en enkel brokonstruktion med korta spännvidder.

Normalt i Sverige byggs järnväg på bank med ballastspår. Konstruktionen består av räler, befästningar, sliper, ballast och bank. Banken är uppdelad i 3 sektioner, bankfyllning, underballast, ballast och består av jord- och bergkrossmaterial.

Ballastfritt spår är ovanligt i Sverige. Ballastfritt anläggs vanligtvis på höghastighetsbanor, på broar och i tunnlar. Fördelen för broar är den låga höjden och egentyngden. Det kan anläggas på två sätt, genom prefabricerade betongplattor eller platsgjutna betongslipers. Den prefabricerade metoden används mycket i Japan och den platsgjutna bland annat i Citytunneln i Malmö.

De teoretiska kostnaderna är missvisande. De beräknade kostnaderna utifrån verkliga referensobjekt skiljer sig ofta mycket från de teoretiska. För grundläggningen och ballastfritt spår blev den teoretiska kostnaden mycket lägre än den beräknad kostnad från referensobjekt. Den teoretiska kostnaden för bro och ballastspår var däremot högre än den beräknade kostnaden från referensobjekt.

Efter en analys av referensobjekt, expertutlåtanden och teoretiska kostnader visade det sig att investerings- och underhållskostnader för den alternativa metoden, järnvägsbro med ballastfritt spår på påldäck, blev mycket dyrare. Detta trots att underhållskostnaderna var billigare för den metoden. Investeringskostnaden för järnvägsbron var så hög att det inte är lönsamt.

Nyckelord: ballastfritt spår, ballastspår, bank, bankpålning, investerings- och underhållskostnad, järnväg, järnvägsbro, påldäck, pålning

## **Abstract**

Constructing railway is expensive. If the railway is built on land with poor bearing capacity the cost is increased even more. Piling stands for a large part of the investment cost for the embankment. If an alternative method, where piling is significantly reduced, the cost can be lesser. The method uses a bridge where pile driving occurs only at selected locations.

The report compares the investment and maintenance costs for two methods under 60 years. The method ballast track on bank piling compared with the alternative approach bridge structure with slab track on pile driving with a slab. The bridge structure is expensive, but if maintenance costs over 60 years are taken into account the total cost can be reduced.

A literature study was conducted to achieve a basic understanding, and then could the reference objects be analyzed. These objects are applied on the report conditions that will be calculated for the methods, and then compares the investment and maintenance costs of the methods.

Two methods for stabilizing the soil with weak capacity are embankment piling and pile driving with a slab. Both methods are based on piles which are pressed down to the ground and stabilize it. The difference is that the embankment piling has individual slab for each pole, while the other method has a common concrete slab.

For rail there are several different types of bridges, such as flat bridge, box girder bridge and girder bridge. The bridge types have different characteristics. The box girder bridge is, unlike the other, designed for long spans and to withstand high torque. Flat bridge is a simple bridge structure with short spans.

Normally in Sweden railway are built on embankment with ballast track. The design consists of rails, fastenings, sleepers, ballast and embankment. The embankment is divided into 3 sections, embankment filling, sub-ballast, ballast and consists of soil and crushed rock material.

Slab track is unusual in Sweden. Slab track are normally built on high-speed lines, on bridges and in tunnels. The advantage for bridges is its low height and its low own weight. It can be applied in two ways, by precast concrete slabs or cast in situ concrete sleepers. The precast method is widely used in Japan and the in situ method is used in the Malmö City Tunnel.

The theoretical cost in the report is misleading. The calculated costs based on actual reference objects differ significantly from the theoretical. For the foundation and slab track became the theoretical cost much less than the calculated cost of the reference object. The theoretical cost of bridge and track ballast was higher than the calculated cost from the reference object.

After an analysis of the reference object, expertise and theoretical costs showed that investment and maintenance costs for the alternative method, railway bridge with slab track on piling with a slab, became much more expensive than the normally constructed method. This is despite maintenance costs was cheaper for the method. The investment cost for the railway bridge was too high that it isn't profitable.

Keywords: slab-track, ballast track, embankment, embankment with piling investment- and maintenance cost, railway, railway bridge, piling with a slab, piling

## Förord

Detta examensarbete är genomfört under våren 2013 i samarbete med Atkins i Helsingborg och institutionen för Trafik och väg på Lunds tekniska högskola.

Idén om att skriva examensarbete om järnvägsbyggnad över mark med svag bärighet uppkom på hösten 2012. Inriktningarna har varierat, dock alltid med samma grundförutsättningar.

Den person som vi först vill tacka är Nicoleta Palerson som stöttat oss på vägen och stöttat oss för att få oss att komma framåt.

Vi vill tacka Per Corshammar och Christer Carlsson från Ramböll och även Ola Dahlblom från LTH som har granskat och gett råd till rapporten.

Björn Åstedt på Trafikverket i Malmö och Martin Jonasson Atkins Malmö har stor del i detta arbete. Deras information har varit ovärderlig och utan dem hade rapporten aldrig blivit klar. Till övriga som tagit sig tid till att dela ut information och tips via e-post, ett stort tack!

Till slut vill vi tacka våra nära och kära för att de stöttat oss under denna tid.

Helsingborg, Maj 2013

Johannes Widerberg  
Doan Le

# 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>1.3 Metodbeskrivning</b> .....  | <b>2</b>  |
| 1.3.1 Litteraturstudie .....   | 3         |
| 1.3.2 Referensobjekt .....   | 3         |
| <b>1.4 Avgränsningar</b> .....   | <b>3</b>  |
| <b>1.5 Begrepp</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>2 Stabilisering i kohesionsjord</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>2.1 Allmänt om jordarter i Sverige</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>2.2 Kohesionspåling</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>2.3 Material i pålar</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>2.4 KC-pelare</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>2.5 Bankpåling</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>2.6 Påldäck</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>2.7 Kostnader för grundläggning</b> .....   | <b>11</b> |
| 2.7.1 Teoretiska kostnader för metod 1, bankpåling .....                               | 11        |
| 2.7.2 Teoretiska kostnader för metod 2, påldäck .....                                  | 13        |
| 2.7.3 Referensobjekt: Grundläggning för Västkustbanan mellan<br>Förlöv-Ängelholm ..... | 15        |
| 2.7.3.1 <i>Kostnader för referensobjekt</i> .....                                      | 15        |
| 2.7.4 Kostnadsberäkning metod 1, bankpåling för ballastspår ...                        | 18        |
| 2.7.5 Kostnadsberäkning metod 2, påldäck för bro .....                                 | 19        |
| <b>2.8 Underhåll för bankpåling och påldäck</b> .....                                  | <b>21</b> |
| <b>3 Järnvägsbro</b> .....   | <b>21</b> |
| <b>3.1 Allmänt om järnvägsbroar</b> .....  | <b>21</b> |
| 3.1.1 Prefabricerade broar .....   | 23        |
| <b>3.2 Vanliga typer av betongbroar</b> .....  | <b>23</b> |
| 3.2.1 Balkbro .....  | 23        |
| 3.2.2 Plattbro .....   | 24        |
| 3.2.3 Lådbalkbro .....   | 24        |
| <b>3.3 Kostnad för bro</b> .....   | <b>25</b> |
| 3.3.1 Teoretisk kostnad för metod 2, bro .....   | 25        |
| 3.3.2 Referensobjekt: Järnvägsbro för Västkustbanan mellan<br>Förlöv-Ängelholm .....   | 26        |
| 3.3.2.1 <i>Kostnad för referensobjekt</i> .....  | 26        |
| 3.3.3 Kostnadsberäkning metod 2, plattbro .....  | 27        |
| <b>3.4 Underhållskostnader av bro</b> .....  | <b>27</b> |
| <b>4 Järnvägsöverbyggnad</b> .....   | <b>29</b> |
| <b>4.1 Ballastspår</b> .....   | <b>29</b> |



|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.2 Ballastfritt spår .....</b>   | <b>30</b> |
| 4.2.1 Fördelar och nackdelar med ballastfritt spår.....                          | 32        |
| <b>4.3 Kostnad för ballastspår på bank .....</b>                                 | <b>32</b> |
| 4.3.1 Teoretiska kostnader för metod 1, ballastspår.....                         | 32        |
| 4.3.2 Teoretiska kostnader för metod 2, ballastfritt spår .....                  | 33        |
| 4.3.3 Referensuppgifter från ballastspårspecialist .....                         | 33        |
| 4.3.4 Kostnadsberäkning metod 1, ballastspår.....                                | 34        |
| 4.3.5 Referensobjekt: Ballastfritt spår Metron Köpenhamn .....                   | 34        |
| 4.3.5.1 <i>Kostnader för referensobjekt</i> .....                                | 34        |
| 4.3.6 Kostnadsberäkningar metod 2, ballastfritt spår .....                       | 34        |
| <b>4.4 Underhållskostnader av ballastspår på bank .....</b>                      | <b>35</b> |
| <b>4.5 Underhållskostnader för ballastfritt spår.....</b>                        | <b>37</b> |
| <b>5 Resultat.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>5.1 Resultat för investeringskostnader .....</b>                              | <b>38</b> |
| 5.1.1 Teoretiska kostnader.....  | 38        |
| 5.1.1.1 <i>Bankpålning</i> .....   | 38        |
| 5.1.1.2 <i>Bro på påldäck</i> .....  | 38        |
| 5.1.1.3 <i>Ballastspår på bank</i> .....   | 39        |
| 5.1.1.4 <i>Ballastfritt spår</i> .....   | 40        |
| 5.1.2 Kostnader för metod 1 och 2 .....  | 40        |
| 5.1.2.1 <i>Bankpålning</i> .....   | 40        |
| 5.1.2.2 <i>Bro på påldäck</i> .....  | 41        |
| 5.1.2.3 <i>Ballastspår på bank</i> .....   | 42        |
| 5.1.2.4 <i>Ballastfritt spår</i> .....   | 42        |
| <b>5.2 Resultat för underhållskostnader.....</b>                                 | <b>42</b> |
| <b>5.3 Resultat av kostnader för metod 1 och 2.....</b>                          | <b>44</b> |
| 5.3.1 Resultat av teorin och uträkningar från referensobjekt för<br>metod 1..... | 44        |
| 5.3.2 Resultat av teorin och uträkningar från referensobjekt för<br>metod 2..... | 45        |
| <b>6 Diskussion.....</b>   | <b>46</b> |
| <b>6.1 Grundläggning.....</b>  | <b>46</b> |
| <b>6.2 Bro .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>6.3 Ballastspår på bank.....</b>  | <b>49</b> |
| <b>6.4 Ballastfritt spår .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>7 Slutsatser.....</b>   | <b>51</b> |
| <b>8 Förslag till vidare studier.....</b>  | <b>53</b> |
| <b>9 Referenser .....</b>  | <b>54</b> |
| <b>9.1 Tabellförteckning.....</b>  | <b>59</b> |
| <b>9.2 Figurförteckning .....</b>  | <b>60</b> |
| <b>9.3 Bilagor .....</b>   | <b>61</b> |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 9.3.1 Bilaga 1 ..... | 61 |
| 9.3.2 Bilaga 2 ..... | 61 |
| 9.3.3 Bilaga 3 ..... | 62 |
| 9.3.4 Bilaga 4 ..... | 63 |
| 9.3.5 Bilaga 5 ..... | 64 |

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Vid byggnation, t.ex. en järnväg, på mark med svag bärighet utförs grundläggning med hjälp av pålar. Pålarna är nedtryckta till fast mark eller berggrund. Med hjälp av pålarna kan marken ta upp lasterna från banken (Holm, et al., 2005). Både vid bankpålning och påldäck, som är en metod för pålgrundläggning, anläggs bank ovanpå. Detta innebär att grävning och pålning kommer genomföras på hela sträckan med svag bärighet (Trafikverket 1, 1995).

Underhållet av komponenter, t.ex. sliper och ballast, kommer i längden att vara en dyr åtgärd. Med ballastfritt spår där slipers gjuts in i en brokonstruktion reduceras underhållskostnaderna markant (Corshammar, 2005).

För järnvägen så handlar det om stora kostnader vid byggnation eller underhåll. Med en alternativ metod för byggnation kan kostnader reduceras. Den metod som kan reducera kostnader är järnvägsbro med ballastfritt spår på påldäck över lös jord. Denna metod ska jämföras med den konventionella metoden ballastspår på bankpålning över lös jord.

Under kommande kapitel analyseras hur grundläggning kan utföras på mark med svag bärighet med hjälp av två metoder, bankpålning och påldäck. Rapporten tar upp vanliga typer av järnvägsbroar och hur en bank är uppbyggd samt utförande av ballastfritt spår.

För att försöka effektivisera och minska kostnaden på lång sikt jämförs brobyggnation med ballastfritt spår och järnvägsbank med konventionellt spårbygge över lös jord. Detta görs med hjälp av verkliga referensobjekt och teoretiska beräkningar där kostnad analyseras för de olika metoderna. Eftersom analysen sträcker sig över en lång tid tas även underhållskostnader med i rapporten.

## 1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att ur ett ekonomiskt perspektiv jämföra två metoder för att bygga järnväg över jord med svag bärighet. Följande metoder ska jämföras:

### Metod 1

- Bankpålning för att stabilisera jorden
- Konventionell banvall
- Ballastspår exklusive kontaktledning, signaler och kanalisation

Se bilaga 1.

### Metod 2

- Påldäck
- Bro
- Ballastfritt spår exklusive kontaktledning, signaler och kanalisation

Se bilaga 2.

Jämförelsen sker ur ett underhållsperspektiv på 60 år, vilket innefattar kommande underhållskostnader. Genom att använda en brokonstruktion med ballastfritt spår istället för bank kan schaktning och pålning minimeras. Istället för att schakta och påla längs hela sträckan kan det ske på utvalda platser.

Rapporten kommer besvara följande frågor:

- Vad kostar det att bygga en järnvägsbro med ballastfritt spår?
- Vad kostar järnvägsbank med ballastspår?
- Hur väl stämmer teoretiska kalkyler med verkligheten för grundläggningen, ballastspår, ballastfritt spår och bron?
- Vad blir underhållskostnaderna för brokonstruktionen med ballastfritt spår respektive bankkonstruktionen med ballastspår?
- Är en brokonstruktion med ballastfritt spår ekonomisk lönsam ur ett underhållsperspektiv jämfört med ett konventionellt spår på mark med svag bärighet?

## 1.3 Metodbeskrivning

Innehållet i rapporten bygger på litteraturstudier för ökad kunskap och förståelse inom de olika delmomenten. Det mesta av informationen hämtas från Trafikverkets föreskrifter och litteratur från LTH's bibliotek.

Beräknad kostnad och tidsåtgång hämtas från litteraturer och verkliga projekt från Trafikverket. Även dialoger med kunniga personer via e-post inom olika områden kommer att bidra med användbar information.

### 1.3.1 Litteraturstudie

Varje delmoment i rapporten inleds med en litteraturstudie för att få ökad kunskap inom det området. Studier har gjorts inom grundläggning, ballastfritt spår, järnvägsbroar och ballastspår. Kunskapen från litteraturstudierna ger en ökad förståelse för att enklare kunna analysera de teoretiska kostnader och verkliga referensobjekt. Från litteratur har teoretiska kostnader tagits fram för att jämföras med verkliga kostnader.

### 1.3.2 Referensobjekt

Med referensobjekt från verkliga projekt skapas en utökad noggrannhet för analysen. Kostnaden blir mer trolig eftersom med verkliga projekt finns det kostnader som inte är medräknade i teoretiska kostnadsmallar.

Förutsättningarna i referensobjektet tillämpas på metod 1 och metod 2 för att beräkna verkliga kostnader.

## 1.4 Avgränsningar

För att kunna genomföra dessa metoder måste förutsättningarna vara samma för båda. Kostnaderna kommer att beräknas för 2000 meter dubbelspårig järnväg. För grundläggningen ska pålängden vara 25 meter långa.

Jordförhållanden ska vara det samma för metoderna. Underhållet kommer att analyseras under 60 år för båda metoderna.

Inga beräkningar av fysikaliska krafter i jord, bro och bank kommer att betraktas. Detta för att arbetet kommer att bli för detaljerat och att det inte är relevant för kostnads synpunkt. För järnvägsbroar begränsas endast modeller av betong och även för pålar. Spännvidden för bron begränsas till 20 meter för varje brostöd.

Underhållsåtgärder för komponenter, t.ex. signalteknik, elteknik och räler, som inte påverkar jämförelsen beräknas inte. Eftersom de beräkningarna hade varit ungefär lika stora och inte bidragit något till resultatet.

## 1.5 Begrepp

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <i>Bottenplatta:</i>                | Heltäckande betongplatta för påldäck  |
| <i>Bergsko, även kallad pålsko:</i> | skyddar och förstärker pålens underkant vid nedslagning   |
| <i>BV 2000:</i>                     | Högsta axellast 330 kN, sträcklast 110 kN, axelavstånd boggi 1,6 m och axelavstånd buffert 1,6 m. |
| <i>Geonät:</i>                      | Stabiliserar och förstärker obundna lager i bank  |
| <i>Geotextil:</i>                   | Textil som filtrerar, separerar och stabiliserar de olika lagren i en bank                        |
| <i>Plattäckningsgrad:</i>           | Ytan som pålplattan täcker  |
| <i>Pollare:</i>                     | Cylindrisk påle för fastgöring och centrerings av ballastfritt spår                               |
| <i>Pålplatta:</i>                   | Plattan som sitter på pålhuvudet  |
| <i>Spm:</i>                         | Spår meter  |
| <i>Spännarmering:</i>               | Armering gjuts in med en tryckspänning  |
| <i>Slakarmering:</i>                | Armeringen gjuts in utan någon spänning   |
| <i>Terrass:</i>                     | Ytan ovanpå banken  |

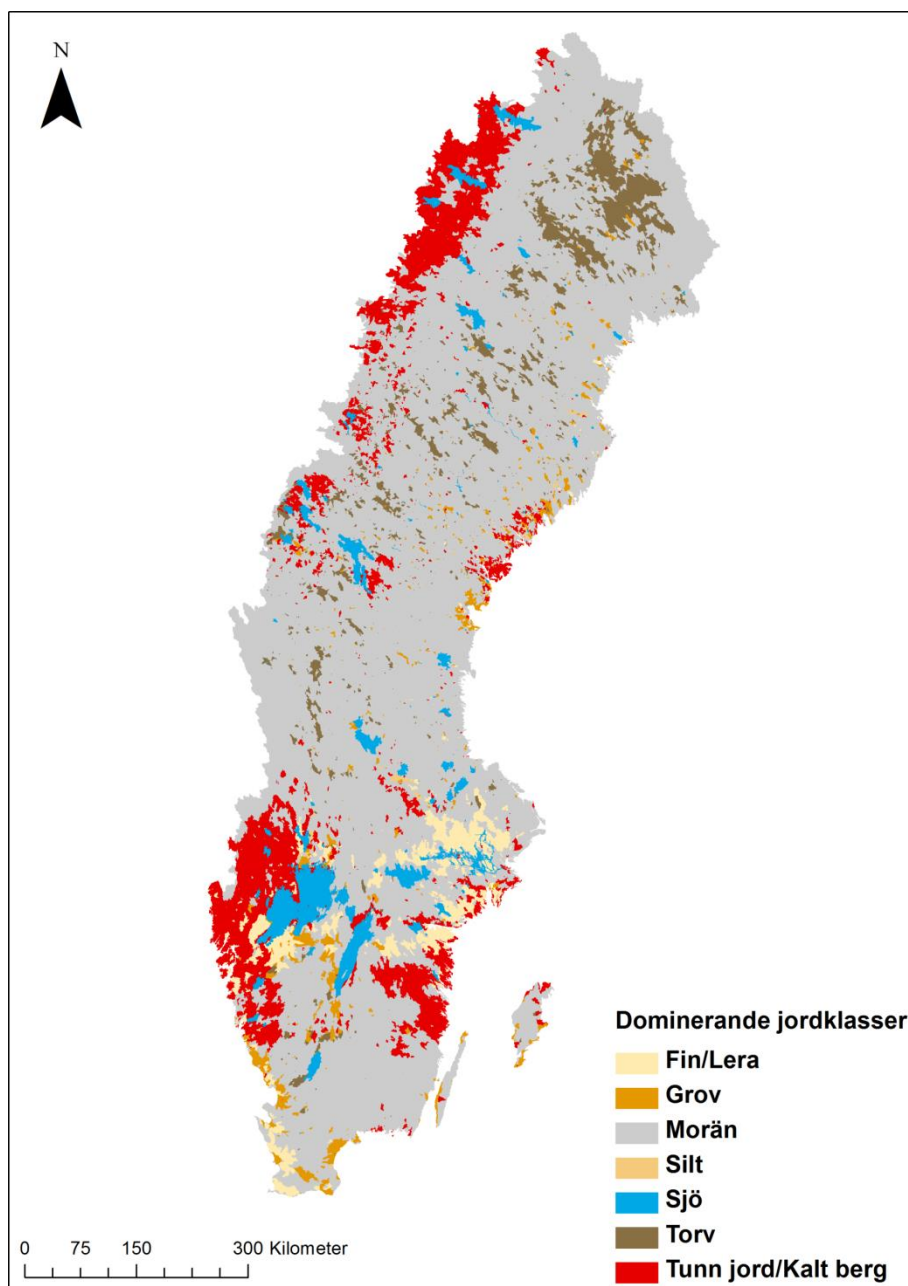
## **2 Stabilisering i kohesionsjord**

### **2.1 Allmänt om jordarter i Sverige**

Jordarterna i Sverige är bildade under och efter istiden. De uppdelas i mineraljord och organisk jord. De organiska jordarna är uppbyggda av växtmaterial som på olika sätt transporterats och sedimenterats för att bilda dy, gyttja eller torv. Sveriges yta består till 10 % av kärr och mosse där organiska jordar är dominerande. I denna rapport behandlas dock inte organiska jordar (Svensson, 2011).

Mineraljorden delas in i två grupper, friktionsjord och kohesionsjord. I friktionsjord hålls jordpartiklarna samman med hjälp av friktionen mellan partiklarna. Till friktionsjord räknas sand, grus, sten och block (Svensson, 2011). Denna jord är stabil och tillräckligt hållfast för att stabilisering av jorden i ska behövas när den belastas (Olsson & Holm, 1993).

Lera och silt tillhör gruppen kohesionsjord. Storleken på partiklarna i dessa jordar är mindre än 0,06 millimeter. Partiklarna i jorden hålls samman med molekylära krafter vilket skapar så kallade aggregat. Aggregaten ger dock ingen bra hållfasthet att bygga på, varken för lera eller silt. Utsätts aggregaten för tryck, bryts lätt förbindelsen. Tillförs dessutom vatten till kohesionsjordens aggregat bryts kohesionsförbindelsen mellan partiklarna och massrörelse i form av skred kan uppstå (Svensson, 2011).



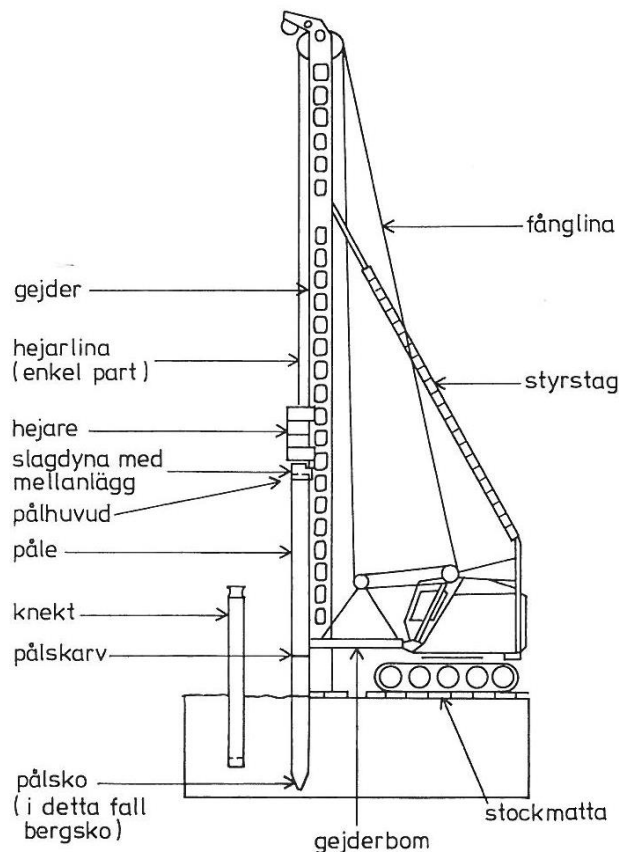
Figur 1 Sverige jordklasser (SMHI, 2012)

## 2.2 Kohesionspåling

Vid lösa jordar med låg bärighet, till exempel kohesionsjordarna lera och silt, används oftast pålning för att ta upp belastningar från överbyggnaden. Belastningar kan vara till exempel tyngre byggnader och anläggningar. Pålens syfte är att överföra krafterna från överbyggnaden ner till hållfast jord eller berggrunden. Kraftöverföringen sker genom pålens spets och dess mantel. Antalet pålar kan variera beroende på jordförhållandet, det kan vara allt från en påle till flera grupper av pålar (Olsson & Holm, 1993).



Slagning är en arbetsmetod för pålning. Vid slagning ska pålarna vara dimensionerade så att de klarar av spänningar, som åstadkoms av tryck- och dragkrafter, under utförandet. Metoden utförs av en arbetsmaskin med en mast och en så kallad hejare. Hejaren slår med stor kraft på pålen som på så sätt pressas ner i marken. Spänningen som uppkommer i pålen varierar beroende av bland annat hejarens anslagshastighet, material och dimensionen på pålen (Olsson & Holm, 1993).



**Figur 2 Pålkran som utför slagning(Olsson & Holm, 1993)**

I vissa fall utförs en så kallad lerproppsdragning. Det går ut på att en del lera tas bort innan påslagningen. Anledningen till att lerproppningen utförs är att minimera risken för skador som kan uppkomma på intilliggande byggnader. Det som orsakar skadorna är att leran som trängs undan vid pålningen påverkar grundläggningen för de intilliggande anläggningarna eller byggnaderna. En annan faktor som kan orsaka skador på intilliggande anläggningar är vibrationer som skapas vid påslagning (Olsson & Holm, 1993).

## 2.3 Material i pålar

Det finns flera typer av pålar som används vid slagning. Några exempel är förtillverkade slagna betongpålar, slagna träpålar och slagna pålar av stål. Val av påltyp avgörs efter hur omgivningen ser ut. Är det hårda eller mjuka jordlager, finns det byggnader i närheten och ekonomin är några faktorer som spelar in. Dessa förhållanden påverkar pålens dimensionering och material (Olsson & Holm, 1993).

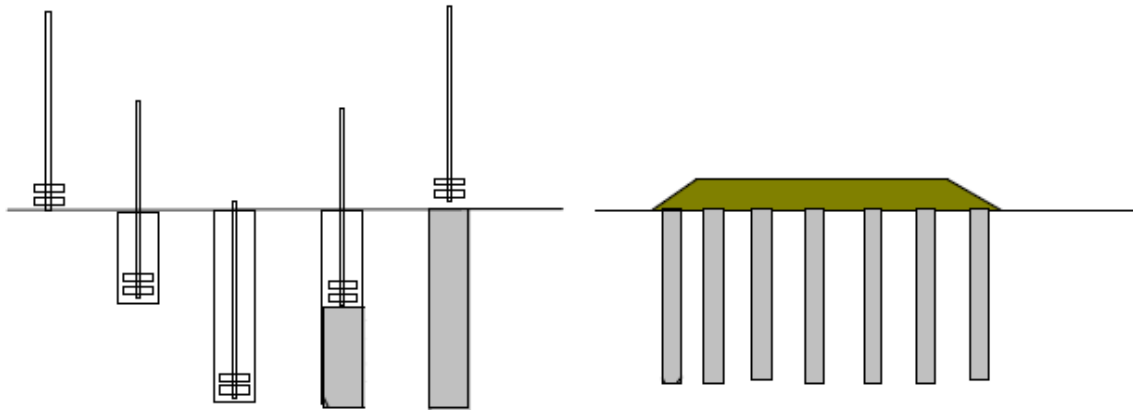
Förtillverkade slagna betongpålar är den vanligaste påltypen som används i Sverige. Betongpålarna tillverkas i olika längder, enmetersintervall 3 till 13 m, och är skarvbara. Tvärsnittet för betongpålar är normalt kvadratisk (235 och 270 mm kantmått). Runda, trekantiga eller åttakantiga pålar förekommer också. Pålens tjocklek kan utökas genom specialtillverkning, upp till 500 mm kantmått vid kvadratisk påle. Underdelen på pålen finns det en så kallad bergsko som är fast monterad (Olsson & Holm, 1993).

En annan påltyp är slagna träpålar. Förr i tiden var trä ett väldigt vanligt pålmaterial för grundstabilisering till olika typer av byggnader. Problemet är dock att de ruttnar vid kontakt med syre och får inte slås mot berg (Olsson & Holm, 1993).

Slagna pålar av stål är också en variant av pålar. Jämfört med betongpålar så är stålpålar lättare att trycka ner i hårda jordlager och orsakar mindre massförträngningar. Det finns precis som för betongpålar olika varianter av stålpålar. G-pålar, X-pålar och rälpålar är de vanligast förekommande (Olsson & Holm, 1993).

## 2.4 KC-pelare

En vanlig metod idag är stabilisering med kalk/cement-pelare, så kallade KC-pelare. Ett blandningsverktyg borrar ner i jorden till maximalt 25 meter. På botten dras det roterande verktyget upp och blandar samtidigt jorden med kalk och cement. När verktyget kommit till ytan har en pelare skapats (VTI, 2012). Metoden fungerar väldigt bra i lösa jordar och är en kostnadseffektiv metod (Holm, et al., 2005).



Figur 3: KC-pelare, metodskiss (Holm, et al., 2005)

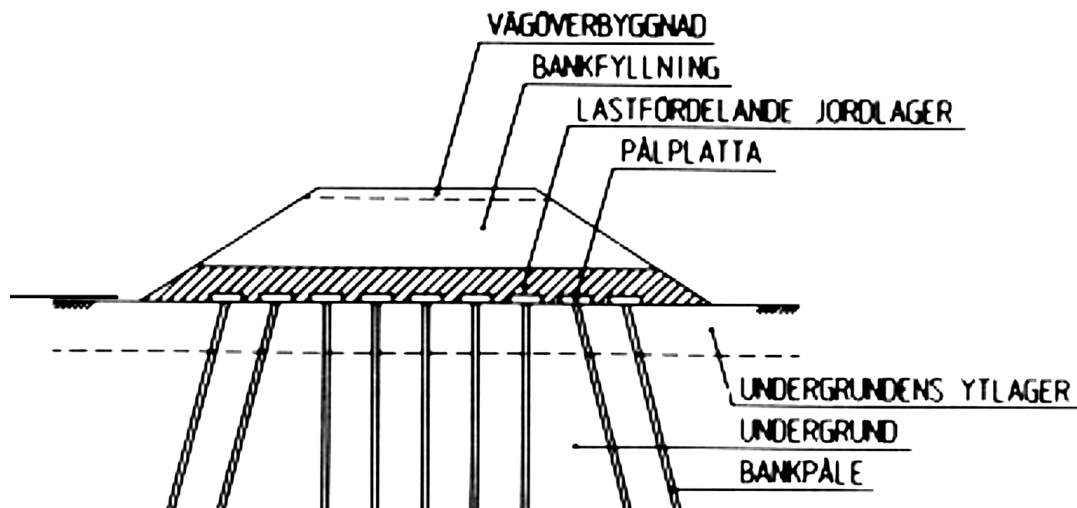
## 2.5 Bankpålning

Bankpålning utförs för att stabilisera undergrunden. Detta görs med hjälp av pålar som trycks eller gjuts ner i jorden (Hercules , 2013)

När pålarna placeras får inte närliggande konstruktioner få försämrad stabilitet i sin grundläggning (Trafikverket 2, 2011). Avståndet mellan pålarna bestäms av pålens bärförmåga, bankhöjden, bankmaterialets tunghet och trafiklast (Trafikverket 3, 2011). När pålningen är klar gjuts en pålplatta på toppen av pålen. För att överföra ovanliggande last till pålen måste anslutningen mellan pålplattan och pålen vara stabil. Pålplattan anläggs på icke tjälad mark för att förhindra tjällyftning (Trafikverket 1, 1995).

Ovanpå pålplattorna läggs ett lastfördelande lager. Lagret, som består av grus- och kross material med 0-200 millimeter kornstorlek, läggs på försiktigt för att inte rubba eller riskera snedbelastning av pålarna och pålplattorna (Trafikverket 1, 1995). Det kan anläggas med eller utan geoteknisk armering. Armeringen kan vara geonät eller liknande. Med geoteknisk armering fördelas lasten på pålplattorna. Armering kan läggas från ett till flera lager, med 10 till 15 centimeters mellanrum (Trafikverket 3, 2011).

Ovanpå det lastfördelande jordlagret anläggs bankfyllningen. Bankfyllningen består av grövre friktionsjord med en kornstorlek som är mindre än 2/3 av lager tjockleken (Trafikverket 4, 2005)

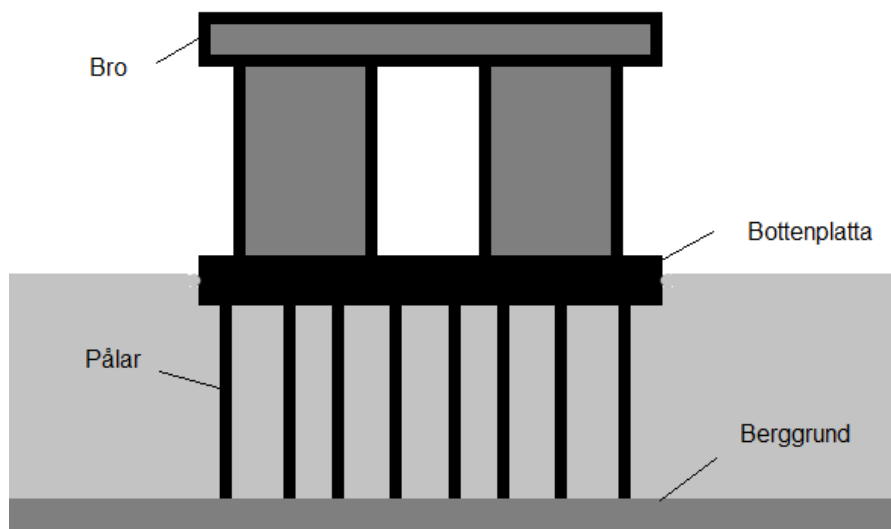


Figur 4 Bankpålning, metodskiss (Trafikverket 1, 1995)

## 2.6 Påldäck

Påldäck har samma grundprincip som bankpålning. Stabilisera undergrunden med en pålkonstruktion för att kunna anlägga väg/järnväg ovanpå (Hercules, 2013).

Påldäcket består, förutom av pålar, av en bottenplatta, tjälskydd och fyllager. Bottenplattan anläggs på ett djup så att risken för tjällyftning undviks (Trafikverket 3, 2011). Den infästs i pålarna för att överföra lasterna och för dräneringens skull vinklas plattan 1 % (Trafikverket 2, 2011). Överfyllningen på påldäcket kan vara grovkrossad sprängsten, fyllningsmaterial och lättklinker. Finns risk för tjäle kan ett tjälskyddande lager läggas (Trafikverket 3, 2011).



Figur 5 Påldäck skiss (Doan Le, Johannes Widerberg)

## 2.7 Kostnader för grundläggning

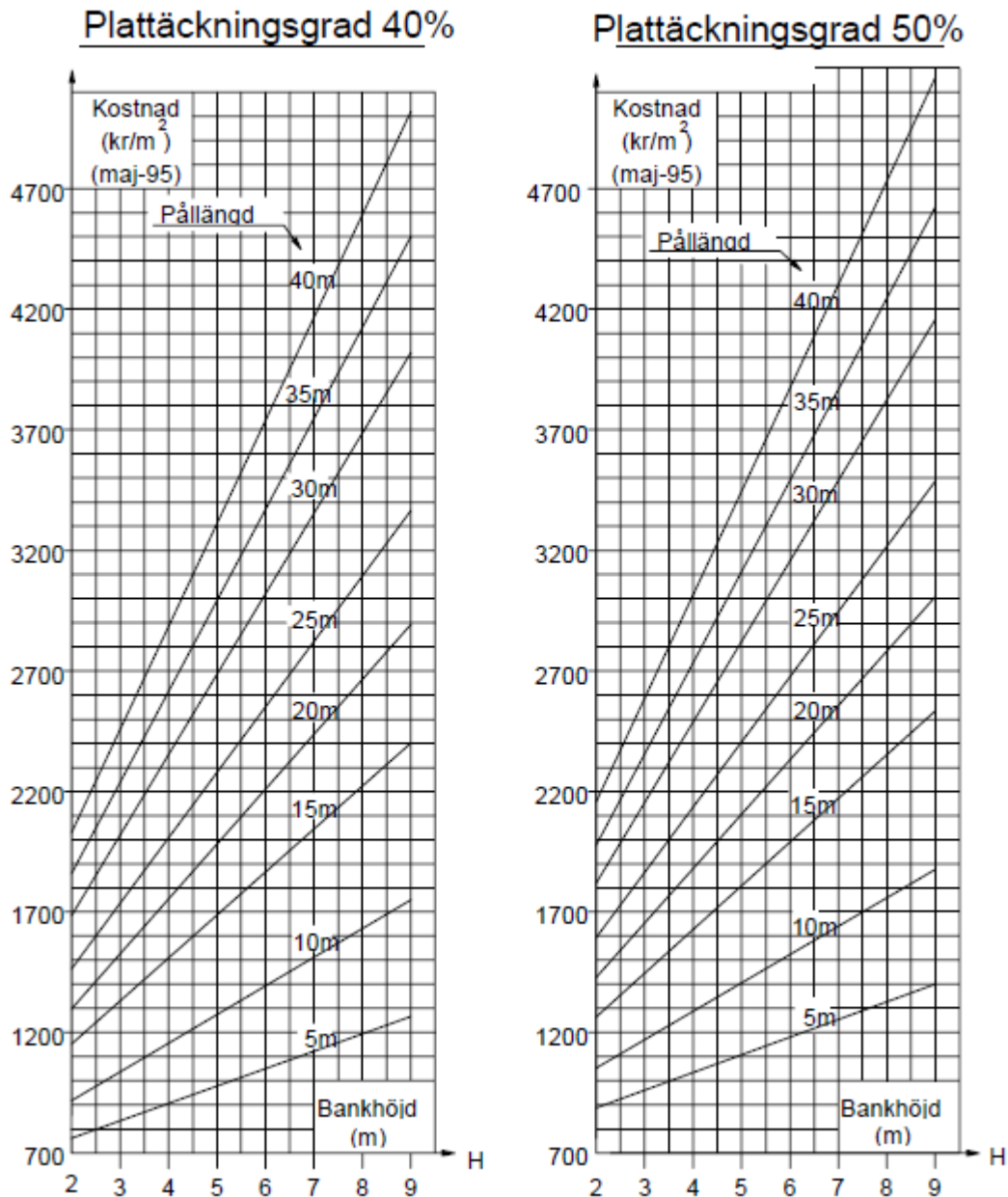
### 2.7.1 Teoretiska kostnader för metod 1, bankpålning

Innan byggstart görs en uppskattning av vad bankpålningen kommer att kosta. Vägverket tog 1996 fram en mall för att beräkna kostnaden med några fasta uppgifter (Vägverket 1, 1996). På grund av inflationen är deras siffror, från maj 1995, idag inaktuella. Därför måste en omräkning ske till dagens penningvärde. 1 krona 1995 är idag värd 1,23 kronor (Statistiska Centralbyrån, 2013). Samtliga beräkningar inom detta kapitel är omräknade till dagens penningvärde.

Givna uppgifter från Vägverkets handbok omvandlade till penningvärde för år 2013:

|                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| Påle inkl. slagning: | 420 kr/m                |
| Pålsko:              | 640 kr/st               |
| Pålskarv:            | 850 kr/st               |
| Kapning av påle:     | 125 kr/påle             |
| Betong:              | 1 850 kr/m <sup>3</sup> |
| Armering:            | 13 530 kr/ton           |
| Form:                | 370 kr/m <sup>2</sup>   |

De förutsättningar som väljs är värden från figur 6 nedan. Bankhöjden väljs till 3,5 meter och pålängden till 25 meter. Denna bankhöjd är tagen från referensobjektet Trafikverkets relationsritning sammanställning 1 järnvägsbro över Rönne å, se bilaga 3. Anledningen till att denna uppgift valdes är för att likna referensobjektet som jämförs senare i rapporten.



Figur 6 Diagram för bankpålning, kostnad (Vägverket 1, 1996)

Vägverket har utgått från ett pris i kronor per kvadratmeter. Det innebär att en sträcka och en bredd är nödvändig för att få fram ett beräknat pris. I rapporten beräknas en sträcka på 2 000 meter enligt avgränsningar.

Bredden utgår ifrån normalmått för dubbelspår ifrån BVS 1585.005 Typsektioner för banan. Med bankhöjden 3,5 meter, släntlutning 1:2 och terrassbredd 11,9 meter blir bredden 25,9 meter. Måtten gäller för dubbelspår och rakspår (Trafikverket 5, 2012).

*Antal kvadratmeter:*

$$2\,000\text{ m} \times 25,9\text{ m} = 51\,800\text{ m}^2$$

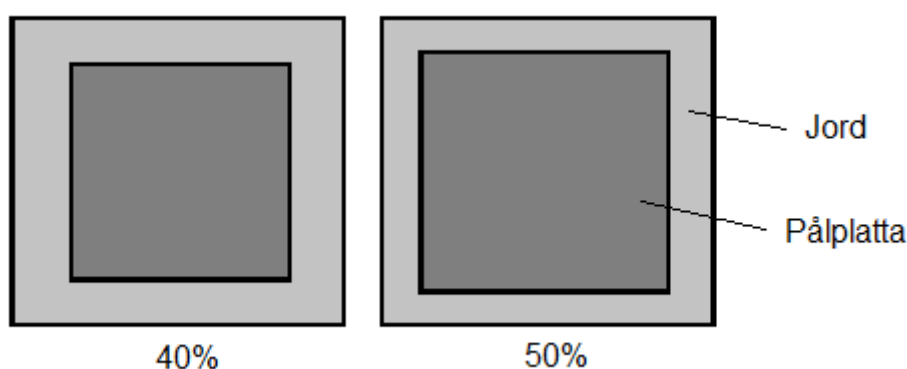
Det finns två olika uträkningar beroende på plattäckningsgraden. För plattäckningsgraden 50 % ger värdena i figur 6 en kostnad på 2 000 kronor/m<sup>2</sup> och för plattäckningsgraden 40 % blir det 1900 kronor/m<sup>2</sup>.

*Kostnad för plattäckningsgraden 50 %:*

$$2\,000\text{ kr/m}^2 \times 51\,800\text{ m}^2 \times 1,23 = 127\,428\,000\text{ kr}$$

*Kostnad för plattäckningsgraden 40 %:*

$$1\,900\text{ kr/m}^2 \times 51\,800\text{ m}^2 \times 1,23 = 121\,056\,600\text{ kr}$$



**Figur 7 Plattäckningsgrad (Doan Le, Johannes Widerberg)**

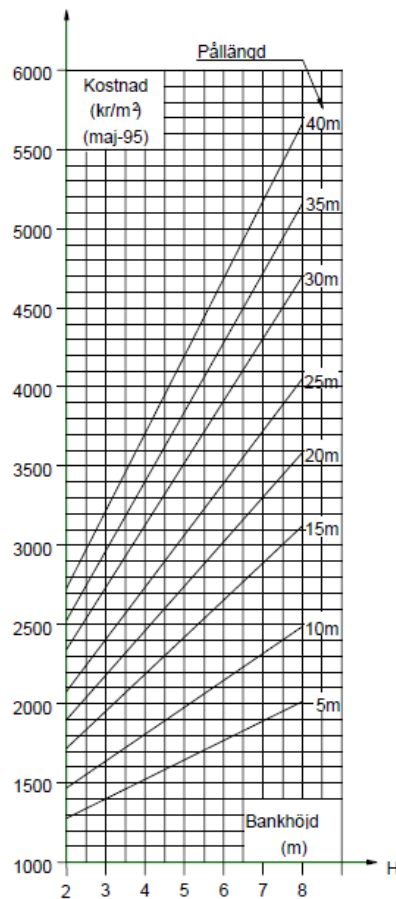
### 2.7.2 Teoretiska kostnader för metod 2, påldäck

Innan byggstart görs en uppskattning av vad påldäck kommer att kosta. Vägverket tog 1996 fram en mall för att beräkna kostnaden med några fasta uppgifter (Vägverket 1, 1996). På grund av inflationen är deras siffror från maj 1995 idag inaktuella. Därför måste en omräkning ske till dagens penningvärde. 1 krona 1995 är idag värd 1,23 kronor (Statistiska Centralbyrån, 2013).

Givna uppgifter från Vägverkets handbok omvandlade till penningvärde 2013:

|                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| Påle inkl. slagning: | 420 kr/m                |
| Pålsko:              | 640 kr/st               |
| Pålskarv:            | 850 kr/st               |
| Kapning av påle:     | 125 kr/påle             |
| Betong:              | 1 850 kr/m <sup>3</sup> |
| Armering:            | 13 530 kr/ton           |
| Form:                | 370 kr/m <sup>2</sup>   |

De förutsättningar som är valda är värden från diagrammet nedan. I denna rapport ska ingen bank byggas på påldäcket. Därför väljs 2 meter i bankhöjd ur diagrammet eftersom det är lägsta måttet. Pållängderna väljs till 25 meter långa enligt avgränsningar.



Figur 8 Diagram för påldäck, kostnad (Vägverket 1, 1996)



Måtten för bottenplattorna utgår från Trafikverkets relationsritning Stöd 2 järnvägsbro över Rönne å, se bilaga 4. Bredden är 12 meter och längden 4,4 meter för bottenplattorna. Eftersom påldäcket beräknas för bro i denna rapport blir totala sträckan som ska pålas 440 meter istället för 2 000 meter. Detta kan göras eftersom samtliga beräkningar i rapporten använder spännvidden 20 meter för bron vilket medför 100 stycken mellanstöd med bottenplatta som har längden 4,4 meter.

*Antal kvadratmeter:*

$$440 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 5\,280 \text{ m}^2$$

För pållängden 25 meter och bankhöjden 2 meter blir kostnaden 2 100 kronor/m<sup>2</sup> enligt figur 7.

*Kostnad för påldäck:*

$$2\,100 \text{ kr/m}^2 \times 5\,280 \text{ m}^2 \times 1,23 = 13\,638\,240 \text{ kr}$$

### 2.7.3 Referensobjekt: Grundläggning för Västkustbanan mellan Förslöv-Ängelholm

Riksdagen beslutade 1992 att bygga ut Västkustbanan till dubbelspår (Region Skåne, 2009). Anledningen till att bygga ut till dubbelspår är för att öka kapaciteten på Västkustbanan. Med tanke på att Hallandsåstunneln trafikeras år 2015 så måste sträckan mellan Förslöv och Ängelholm klara av trafikökningen. Total sträckan mellan Förslöv och Ängelholm är 10 kilometer (Trafikverket 6, 2012).

#### 2.7.3.1 Kostnader för referensobjekt

Som underlag för bankpålning av sträckan Förslöv-Ängelholm, km 212+500 till km 216+360, har Bankpålning publikation 1994:68 och Bro 94 publikation 1994:1-8 och 1997:57 används av Trafikverket. Vid bankpålning ingår en del arbete och kostnader för de olika arbetena. I rapporten har vi valt ut de relevanta utförandena. Resterande uppgifter är hämtade från Trafikverkets förfrågningsunderlag Västkustbanan Förslöv-Ängelholm.

Borttagning av jordmån och markvegetation är ett arbete som utförs innan grundläggningen kan påbörjas. Borttagningen sker inom området för kommande järnvägsbanken. Den mängd jordmån och markvegetation som ska avlägsnas är 500 m<sup>3</sup> och kostnaden är 106 kr/m<sup>3</sup>.

*Total kostnad för borttagningen av jordmån och markvegetation:*

$$106 \text{ kr/m}^3 \times 500 \text{ m}^3 = 53\,000 \text{ kr}$$

Ett av de arbeten som ska utföras är förschaktning för pålning och markförstärkning av bro. Schaktningen sker i sprängstensfyllning. När pålningen är genomförd förs massorna tillbaka över skyddsplåning. Kostnader för förschaktet och markförstärkningen är 55kr/m<sup>3</sup> och den mängd massa som är berörd är 1100 m<sup>3</sup>.

*Total kostnad för förschaktning för pålning och markförstärkning:*

$$55 \text{ kr/m}^3 \times 1100 \text{ m}^3 = 60\,500 \text{ kr}$$

Efter schaktningen kan slagning av de spetsburna pålarna utföras. Pålarna är av betong och är för järnvägsbank. Anslutande bankar vid landfästena för järnvägsbron över Rönne å ska bankpålas. Betongpålarna inklusive bergsko har medellängden 18,1 meter och 37,1 meter. Kostnader för pålarna med medellängden 18,1 meter, >12 – 25 meter, är 12 750 kr/st och 49 stycken av dessa har används. Kostnader för pålar med medellängden 37,1 meter, > 25 meter, är 23 550 kr/st och 49 stycken av dessa har används. 10 stycken pålar är skarvade och kostnader för tilläggskarvar är 2 000 kr/st.

*Total kostnad för pålar som har medellängden 18,1 meter:*

$$12\,750 \text{ kr/st} \times 49 \text{ st} = 624\,750 \text{ kr}$$

*Total kostnad för pålar som har medellängden 37,1 meter:*

$$23\,550 \text{ kr/st} \times 49 \text{ st} = 1\,153\,950 \text{ kr}$$

*Total kostnad för tilläggskarvar:*

$$2000 \text{ kr/st} \times 10 \text{ st} = 20\,000 \text{ kr}$$

Slagning av mantelburna pålar har även det utförts. Detta har gjorts för att skyddspåla(Trafikverket 7, 2007). Skyddspålning utförs för att säkerställa stabiliteten för landfästet(Vägverket 2, 2009). Medellängd för mantelburna betongpålar är 10 meter och kostnader för dessa är 5950 kr/st och 33 st betongpålar har brukats.

*Total kostnad för mantelburna pålar:*

$$5\,950 \text{ kr/st} \times 33 \text{ st} = 196\,350 \text{ kr}$$

Pålplattor är platsgjutna i 2 olika mått, 1,15 x 1,15 m tjocklek 0,45 m och 1,3 x 1,3 m tjocklek 0,45 m. Antalet pålplattor, med måtten 1,15 x 1,15 x 0,45 m, som har gjutit är 30 st och de kostar 3 400 kr/st. Antalet pålplattor, med måtten 1,3 x 1,3 x 0,45 m, som har gjutit är 68 st och de kostar 4 300 kr/st. Pålplattorna är platsgjutna på pålarna och på en bädd av grusig sand med tjockleken 0,2 m har gjuts på pålplattorna. Kostnader för bädden är 300 kr/m<sup>3</sup> och totalt 32 m<sup>3</sup> har gjutit.

*Total kostnad för pålplattor med måtten 1,15 x 1,15 x 0,45 meter:*

$$3\,400 \text{ kr/st} \times 30 \text{ st} = 102\,000 \text{ kr}$$

*Total kostnad för pålplattor med måtten 1,3 x 1,3 x 0,45 meter:*

$$4\,300 \text{ kr/st} \times 68 \text{ st} = 292\,400 \text{ kr}$$

*Totalkostnad för grusig sand bädd:*

$$300 \text{ kr/m}^3 \times 32 \text{ m}^3 = 9\,600 \text{ kr}$$

Bankfyllning har lagts som ett lager på pålarna. Bankfyllningen består av sprängstensmassor. Den mängd fyllning som har används är 500 m<sup>3</sup> och kostnader för fyllningen är 55 kr/m<sup>3</sup>.

*Total kostnad för bankfyllning:*

$$55 \text{ kr/m}^3 \times 500 \text{ m}^3 = 27\,500 \text{ kr}$$

Grundläggningen av bron ska ha fyllning som består av grusmaterial. Kostnader för grusfyllningen är 310 kr/m<sup>3</sup> och den mängd fyllning som har används är 180 m<sup>3</sup>.

*Total kostnad för fyllning för grundläggning av bro:*

$$310 \text{ kr/m}^3 \times 180 \text{ m}^3 = 55\,800 \text{ kr}$$

(Trafikverket 7, 2007).

#### 2.7.4 Kostnadsberäkning metod 1, bankpålning för ballastspår

Med uppgifter från referensobjektet, Trafikverkets förfrågningsunderlag Väst kustbanan Förslöv-Ängelholm, kan uträkningen av kostnader för en 2000 meter lång sträcka beräknas och analyseras.

Bredden för järnvägssträckan räknas ut med hjälp av uppgifter från BVS 1585.005 Typsektioner för banan. Med bankhöjd 3,5 meter, släntlutning 1:2 och terrassbredd 11,9 meter blir botten 25,9 meter (Trafikverket 5, 2012). Detta innebär att hela ytan som ska bankpål原因 blir  $51\,800\text{m}^2$ .

Samtliga kostnader i avsnitt 2,5,3 är omräknade till penningvärde för år 2013. Det innebär en ökning med 7,89 % jämfört med år 2005 (Statistiska Centralbyrån, 2013).

Samtliga beräkningar i detta kapitel är förutsättningar, kostnader, mått och mängder tagna från Trafikverkets förfrågningsunderlag Väst kustbanan Förslöv-Ängelholm, se avsnitt 2.5.2.1.

Innan arbetet med pålning påbörjas måste borttagning av markvegetation och jordmån ske. Eftersom det i referensobjektet är räknat med 2000 meter för borttagning av markvegetation och jordmån så kan samma kostnad användas då sträckan är lika lång i rapporten. Kostnaden är  $106\text{kr}/\text{m}^3$  och mängden är  $250\text{m}^3$ . Mängden beräknades fram genom att ta medelvärdet av mängderna 100 och  $400\text{m}^3$ .

*Total kostnad för borttagning av markvegetation och jordmån:*

$$106\text{kr}/\text{m}^3 \times 250\text{m}^3 \times 1,0789 = 244\,371\text{kr}$$

Från Trafikverkets relationsritning sammanställning 1 järnvägsbro över Rönne å, se bilaga 3, kan skalmätning med verkliga mått få fram avstånden mellan pålarna. Avståndet mellan pålarna har räknats fram till 2 meter. Detta medför att det blir 13 stycken pålar på bredden och 1000 stycken på längden. Totalt antal pålar blir 13000. För längden på pålarna väljs 27,6 meter som räknats fram av medellängderna 18,1 och 37,1 meter. För att underlätta beräkningar avgränsas samtliga pålar till att vara lika långa. Pålen kostar 18 150 kr/st, vilket är medelvärdet av kostnader för längderna 18,1 och 37,1 meter.

*Total kostnad för pålar:*

$$18\,150\text{kr}/\text{st} \times 13\,000\text{st} \times 1,0789 = 254\,566\,455\text{kr}$$

Från referensobjektet Förslöv-Ängelholm finns det 2 olika mått på pålplattor som har använts. Plattan med måtten 1,3 x 1,3 meter med tjockleken 0,45 meter valdes i beräkningen. Denna platta valdes för att uppnå platttäkningsgraden 40 procent, se figur 7.

Antalet plattor blir lika många som antalet pålar. Kostnader för pålplattan är tagna från referensobjektet. Priset för en pålplatta är 4 300 kr.

*Total kostnad för pålplattorna:*

$$4\,300\text{ kr/st} \times 13\,000\text{ st} \times 1,0789 = 60\,310\,510\text{ kr}$$

Pålplattorna vilar på pålarna och en bädd av grusig sand. Bädden ska läggas på hela ytan, 51 800 m<sup>2</sup>, och med tjockleken 0,2 meter. Det ger mängden 10 360 m<sup>3</sup>. Kostnaden per m<sup>3</sup> är 300 kr enligt uppgifter från referensobjekt.

*Total kostnad för grusig sand bädd:*

$$300\text{ kr/m}^3 \times 10\,360\text{ m}^3 \times 1,0789 = 3\,353\,221\text{ kr}$$

(Trafikverket 7, 2007).

### 2.7.5 Kostnadsberäkning metod 2, påldäck för bro

Med uppgifter från referensobjekt, Trafikverkets förfrågningsunderlag Västkustbanan Förslöv-Ängelholm och relationsritning sammanställning 1 järnvägsbro över Rönne å, och Robert Clair, från Svevia, kan uppskattad kostnad av påldäck för bro beräknas.

En komponent till påldäcket är bottenplattan som är av betong (Trafikverket 3, 2011). Bottenplattorna placeras under brostöden enligt Trafikverkets relationsritning sammanställning 1 järnvägsbro över Rönne å, se bilaga 3. Under bottenplattorna finns det nedtryckta pålar (Trafikverket 3, 2011).

Eftersom vi avgränsat oss till spännvidder på 20 meter för bron behövs 100 bottenplattor till brostöden för 2000 meter lång bro. Dimensionen på bottenplattorna är 4,4 x 12 x 1,2, togs fram från Trafikverkets relationsritning sammanställning 1 järnvägsbro över Rönne å, se bilaga 3, vilket ger volymen ca 63 m<sup>3</sup> per bottenplatta. Enligt Robert Clair<sup>1</sup> är kostnader av form, armering och betong mellan 6500-7500 kr/m<sup>3</sup> för år 2013. I beräkningen används medelvärdet för priset, 7000 kr/m<sup>3</sup>, för att få en bättre uppskattad kostnad.

---

<sup>1</sup> Platschef Robert Clair, Svevia e-post 2013-05-07

*Total kostnad för bottenplattorna:*

$$7000 \text{ kr/m}^3 \times 63 \text{ m}^3 \times 100 \text{ st} = 44\,100\,000 \text{ kr}$$

Resterande uträkningar beräknas med penningvärde på 7,89 % för 2013 jämfört med år 2007 (Statistiska Centralbyrån, 2013).

Resterande beräkningar i detta kapitel är förutsättningar, kostnader, mått och mängder tagna från Trafikverkets förfrågningsunderlag Väst kustbanan Förslöv-Ängelholm, se avsnitt 2.5.2.1.

Under bottenplattorna finns nedtryckta pålar (Trafikverket 3, 2011). Material för pålen är betong, längden är 25 m och kostnaden är 18 150 kr/st. Antalet pålar har räknats fram med hjälp av Trafikverkets relationsritning sammanställning 1 järnvägsbro över Rönne å, se bilaga 3. Antalet pålar är 40 stycken per bottenplatta. Eftersom det ska läggas ut 100 stycken bottenplattor blir det totala antalet pålar 4000 st.

*Total kostnad för pålar:*

$$18\,150 \text{ kr/st} \times 4000 \text{ st} \times 1,0789 = 78\,328\,140 \text{ kr}$$

Pris per yta för borttagning av markvegetation och jordmån är 106 kr/m<sup>3</sup>. Det som skiljer från avsnitt 2.5.3 är att ytan där borttagningen sker blir mindre för bro med påldäck. Anledningen att ytan blir mindre är för att borttagning endast kommer ske under brostöden. Den ytan som kommer påverkas är ca 53 m<sup>2</sup> per bottenplatta som befinner sig under varje brostöd. Bron kommer att ha totalt 100 stycken brostöd vilket medför den totala ytan 5300 m<sup>2</sup>. Denna yta beräknades ut med hjälp av broritningen, Trafikverkets relationsritning sammanställning 1 järnvägsbro över Rönne å, se bilaga 3. Den mängd mark som borttagning av markvegetation och jordmån kommer ske har beräknats ut genom att räkna om 250 m<sup>3</sup>, från avsnitt 2.5.2.1 och 2.5.3 som är för en 2000 m lång sträcka, till att gälla för en 440 m lång sträcka. 440 m är sträckan som påverkas av bottenplattorna. Totala mängden för borttagning av markvegetation och jordmån blir 55 m<sup>3</sup>.

*Total kostnad för borttagning av markvegetation och jordmån:*

$$106 \text{ kr/m}^3 \times 55 \text{ m}^3 \times 1,0789 = 6\,290 \text{ kr}$$

Tillägningen av grusig sandbädd har samma yta som bottenplattorna, det vill säga 53 m<sup>2</sup>. Tjockleken för bädden är 0.2 m och kostnaden är 300 kr/m<sup>3</sup>. Bädden ska läggas ut på samtliga 100 bottenplattor och mängden blir 1060 m<sup>3</sup>.

*Total kostnad för grusig sandbädd:*

$$300 \text{ kr/m}^3 \times 1060 \text{ m}^3 \times 1,0789 = 343\,090 \text{ kr}$$

## **2.8 Underhåll för bankpålning och påldäck**

Bankpålning dimensioneras för att hålla i 120 år (Trafikverket 1, 1995). Enligt Björn Åstedt<sup>2</sup> underhålls inte bankpålningen. Huvudskälet till varför det inte görs är att det är svårt att komma åt för undersökning eftersom bankpålningen är under banan. Förstärkningsåtgärder utförs därför endast vid synliga fel och skador.

## **3 Järnvägsbro**

### **3.1 Allmänt om järnvägsbroar**

Det finns olika typer av broar för järnväg. De material som används för brokonstruktion är betong, stål och trä (Vägverket 1, 1996). I denna rapport avgränsas så att det endast handlar om betongbroar. Oftast är det utrymme, d.v.s. spännvidd och överbyggnadshöjd, som bestämmer valet av brotyper. Andra faktorer som produktionsmetoder, materialpriser och estetiska värden kan även de påverka valet av brotyp (Banverket 1, 2007).

Vid långa broar är längdutvidgningen stor på grund av temperaturskillnader i luften. Det orsakar temporära rälsvandringar varvid dilatationsskarvar måste anläggas i anslutning till bron (Banverket 2, 1995). Rörelser i spåret som är större än 80 mm, till exempel vid övergång till betongbroar som är längre än 150 meter, anordnas dilatationsskarvar (Trafikverket 8, 2012). En dilatationsskarv har samma funktion som en andningszon, det vill säga minska de longitudinella spänningarna i rälerna. Vid dilatationsskarven kan rälsen utvidgas eller förkortas på grund av temperaturskillnader i bron. Det sker med räler som liknar växeltungor som endast kan röra sig i längdled. Rälerna ligger an mot de mötande rälerna, så kallade stödräler. När en utvidgning eller förkortning av rälerna sker ligger tungrälerna hela tiden mot stödrälerna.

---

<sup>2</sup> Geotekniker Björn Åstedt, Trafikverket e-post 2013-04-24



Figur 9 Dilatationsskarv (Öberg, 2011)

Inom järnvägen så är det vanligast att bron utformas med ballastbädd. Fördelen med ballastbädden är att den skapar en jämn och tyst gång för tågtrafiken. Ballastbädden gör så att styvhetsskillnader längst spåret jämnas ut, den skapar möjligheter för mekaniserat spårunderhåll och även skapa gynnsammare förutsättningar för spårjusteringar i höjd- och sidled (Banverket 1, 2007).

Ballastfritt spår som läggs på bro har vissa fördelar. Den största skillnaden mot ballastspår är att det inte finns ballast. Det påverkar bronns egentyngd som blir lägre och att ingen transport med ballast behöver anordnas. Nackdelen är ökande vibrationer på grund av den minskade vikten och att den dämpande massan, som ballasten utgör, inte finns (KTH Järnvägsgruppen, 2012).



### 3.1.1 Prefabricerade broar

Betongbroar kan antingen gjutas på plats eller tillverkas med prefabricerade element så som balkar och broplattor. Med prefabricerade element menas att de gjuts på annan plats och transporteras till byggplatsen. Drifts- och underhållskraven skiljer sig dock inte för båda metoderna. Fördelen med prefabricerade element är framförallt att byggtiden förkortas under byggskedet. Dessutom krävs ingen ställning vid byggandet (Vägverket 1, 1996). En annan fördel är vid miljö känsliga områden där det inte går utföra vanligt brobygge där bron gjuts på plats. Detta kan vara aktuellt vid känsliga vattendrag där det inte går att schakta, grundlägga eller platsgjuta (Dahlquist, 2011).

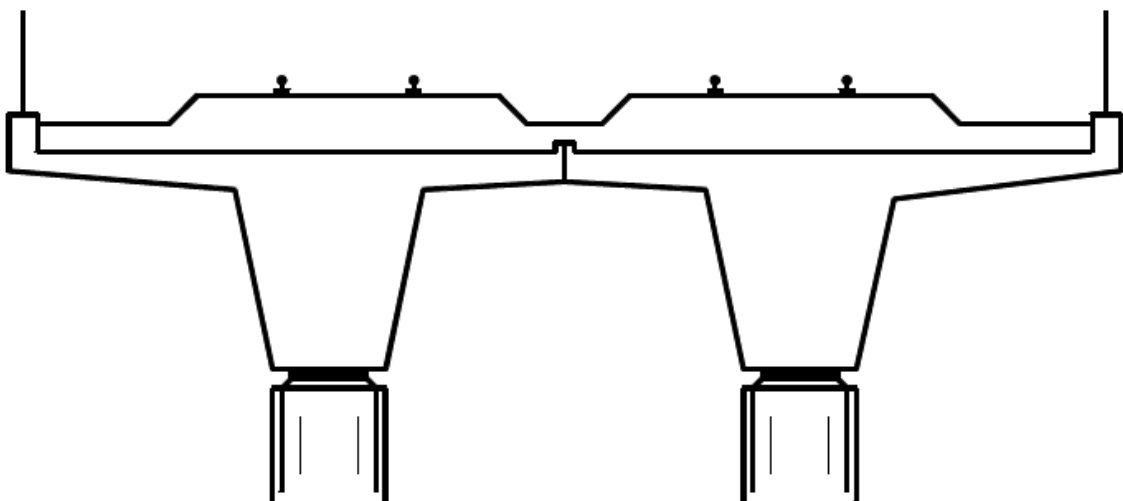
En nackdel med prefabricerade betongbalkar som är längre än 23 meter är att det både är opraktiskt och oekonomiskt att transportera dem (Dahlquist, 2011).

## 3.2 Vanliga typer av betongbroar

### 3.2.1 Balkbro

Balkbron är uppbyggd med längsgående balkar. Antalet balkar beror på trafikbelastning och egentyngd. Höga balkar är tekniskt och ekonomiskt fördelaktigt, men kan se otympligt ut. På balkarna platsgjuts eller läggs prefabricerade brobaneanlement. Balkarna kan vara av betong eller av stål (Vägverket 1, 1996). Denna rapport avgränsar sig till betongbroar.

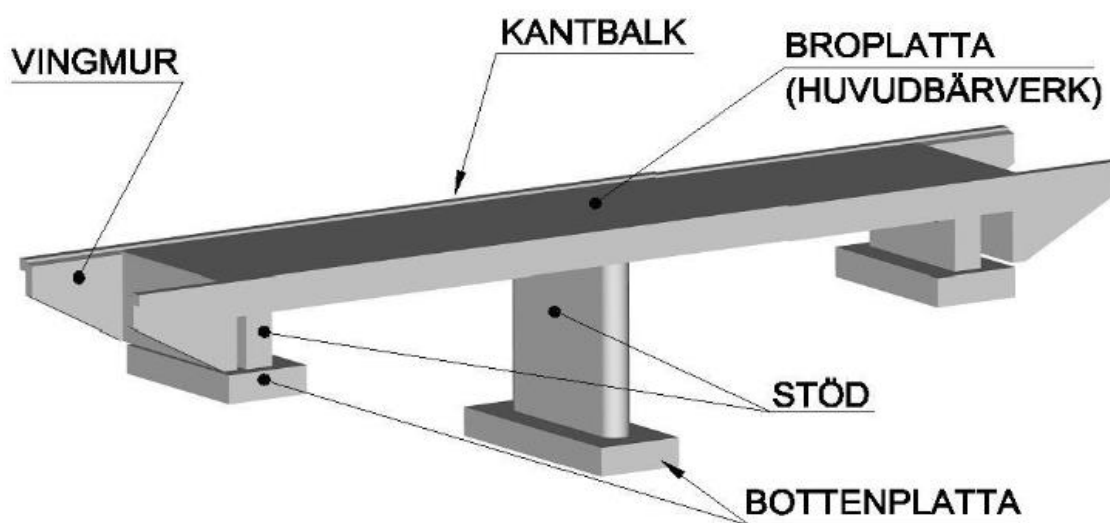
Balkbroar kan väljas vid spännvidder mellan 10-30 meter dock över 20 meter genomförs betongbalkarna oftast spännarmerade (Banverket 1, 2007). För enspannsbro med korta spännvidder kan betongen vara slakarmerad. För att öka stabiliteten i bron kan den förstärkas med en pågjutning av tvärsnittet (Trafikverket 8, 2012).



Figur 10 Exempel på balkbro (Banverket 1, 2007)

### 3.2.2 Plattbro

Plattbro är en av de äldsta brotyperna (Tigerstrand, 2010). Den är en utvecklad variant av den sammanhängande balkbron. Skillnaden är att armerade betongplattor ersätter balkarna (NE, 2013). Plattbron är egentligen ganska lik balkbron. Det som urskiljer är att plattbron är normalt jämnt fördelat i tvärsnitt och att bredden är större än fem gånger höjden på plattan annars räknas det som en balkbro. Denna brotyp kan väljas när det är brist på utrymme, speciellt i höjddled, och vid små spännvidder (Tigerstrand, 2010). Ungefär upp till 15 m spännvidd kan utnyttjas vid fritt upplagd plattbro och ungefär upp till 20 m spännvidd kan användas för sammanhängande plattbro (Banverket 1, 2007).

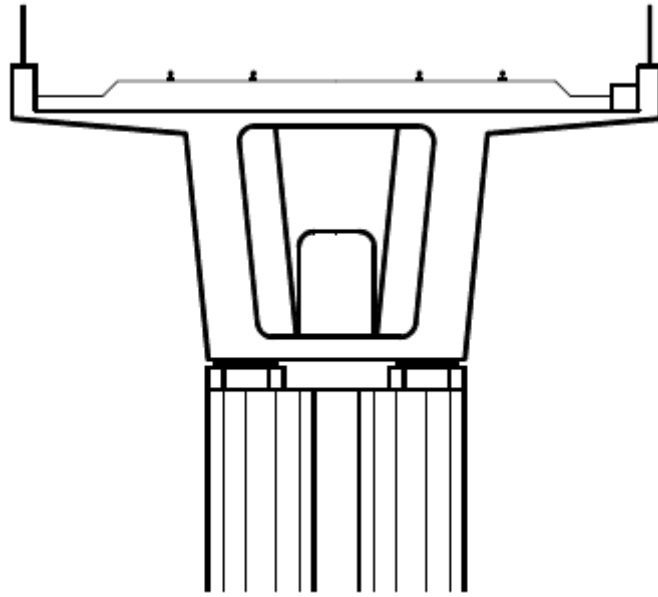


Figur 11 Plattbro (Tigerstrand, 2010)

### 3.2.3 Lådbalkbro

De bärande balkarna i en lådbalkbro är utformade som en låda, vilket hörs på namnet. Överflänsen och underflänsen sitter ihop med vertikala eller lutande liv. Lådan kan vara utformad som en rektangel, trapets eller med flera likbenta trianglar som är placerade mot varandra där ena triangelns spets pekar nedåt och nästa triangelns uppåt och så vidare. Vid broar med kurvor och tung trafik där stora krafter kan uppkomma, så är lådbalkbron ett bra alternativ eftersom konstruktionen är stark mot vridning (Radishofski, 2013).

Den fria höjden inuti lådbalken ska vara minst 1,5 meter. Om lådbalken är längre än 50 meter ska den fria höjden vara 1,9 meter. Syftet är för att underlätta vid inspektion. Det måste även finnas manhål var 100:e meter. Manhål är en öppning i lådbalken som leder in och ut. Dessa är till för att ur säkerhetssynpunkt finnas till som utrymningsväg (Trafikverket 2, 2011).



Figur 12 Lådbalkbro för dubbelspår, (Banverket 1, 2007)

### 3.3 Kostnad för bro

#### 3.3.1 Teoretisk kostnad för metod 2, bro

Enligt Frank Mika<sup>3</sup> är den teoretiska kostnaden för broar, som Trafikverket använder, 50 000 kr/m<sup>2</sup>. Denna kalkyl använder Trafikverket som en grov uppskattning av kostnaden för bro. I denna kostnad specificeras inte brotyp, höjd eller spännvidd.

I rapporten analyseras en järnvägsträcka på 2000 m. Med brobredd 11.5 m, taget från Trafikverkets relationsritning sammanställning 1 järnvägsbro över Rönne å se bilaga 3, kan bron yta beräknas och vidare kunna uppskatta teoretisk kostnad för denna bro. Ytan blir 23000 m<sup>2</sup>.

Teoretiska kostnaden för bron:

$$50\,000 \text{ kr/m}^2 \times 23\,000 \text{ m}^2 = 1\,150\,000\,000 \text{ kr}$$

---

<sup>3</sup> Specialist Byggnadsverk Frank Mika, Trafikverket e-post 2013-05-17

### 3.3.2 Referensobjekt: Järnvägsbro för Västkustbanan mellan Förslöv-Ängelholm

Västkustbanan byggdes på 1800-talet och på sträckan mellan Förslöv-Ängelholm finns det en bro över Rönne å, Skälderviksbron. Bron har byggts om flera gånger på grund av underdimensionering (Ängelholms Kommun, 2013).

Skälderviksbron blev tvungen att byggas om igen. En ny dubbelspårning järnvägsbro byggdes under 2009 och 2010 och den gamla bron byggdes om till gång- och cykelbro (Ängelholms Kommun, 2013).

#### 3.3.2.1 Kostnad för referensobjekt

Bron över Rönne Å är en 108 meter lång plattbro för dubbelspårig järnväg med fem mellanstöd och spännvidden 18 meter. Bron är byggd på pålar och med bottenplattor för mellanstöden. Mellanstöden är 3,5 meter höga. Kostnaden i förfrågningsunderlaget är 39 500 000 kronor, inklusive pålning och schakt. I detta avsnitt är dock endast kostnaden för bron intressant. Det innebär att kostnader för pålning av mellanstöden dras bort från den totala kostnaden. Priset för schaktning av mellanstöden saknas i förfrågningsunderlaget, därför inkluderas den kostnaden i vidare beräkningar.

Mellanstöden är pålade med totalt 184 betongpålar, se bilaga 4. I förfrågningsunderlaget finns två priser för spetsburna betongpålar, 12 750 kr/påle för pålar upp till 25 meter och 23 550 kr/påle för pålar längre än 25 meter. Enligt Trafikverkets relationsritning sammanställning 1 järnvägsbro över Rönne Å finns det 72 pålar som är kortare än 25 meter och 112 som är längre än 25 meter.

*Kostnad för pålar till mellanstöd, pålar kortare än 25 meter:*

$$72 \text{ st} \times 12\,750 \text{ kr/st} = 918\,000 \text{ kr}$$

*Kostnad för pålar till mellanstöd, pålar längre än 25 meter:*

$$112 \text{ st} \times 23\,550 \text{ kr/st} = 2\,637\,600 \text{ kr}$$

*Kostnad för järnvägsbron inklusive schaktning:*

$$39\,500\,000 \text{ kr} - 918\,000 \text{ kr} - 2\,637\,600 \text{ kr} = 35\,944\,400 \text{ kr}$$

### 3.3.3 Kostnadsberäkning metod 2, plattbro

För att kunna applicera kostnaden för en 2000 meter lång plattbro med samma förutsättningar, brohöjd och brobredd, räknas priset om till kostnad per meter för bron. Dock har spännvidden avrundat till 20 meter för att förenkla fortsatta beräkningar i rapporten.

*Kostnad per meter bro inklusive schaktning:*

$$\frac{35\,944\,400\text{ kr}}{108\text{ m}} = 332\,819\text{ kr/m}$$

*Kostnad för 2000 meter dubbelspårig järnvägsbro, inklusive schaktning:*

$$332\,819\text{ kr/m} \times 2000\text{ m} = 665\,637\,037\text{ kr}$$

### 3.4 Underhållskostnader av bro

Med tiden förändras brons standard på grund av slitage från trafiklast och väder. Därför inspekteras broar löpande för att bedöma underhållsbehovet och vilka åtgärder som behöver sättas in. Syftet är att förlänga livslängden på bron och för att öka trafiksäkerheten. Vid en inspektion noteras skador och sprickor. Det är dock inte lönsamt att reparera små skador som inte påverkar säkerheten eftersom det skulle orsaka höga kostnader. De åtgärdas istället när en större skada uppstår.

Vanliga förebyggande underhållsåtgärder är att broarna tvättas och impregneras för att skydda betong och stål från salt och föroreningar. Impregnering sker med 6-10 års intervall (Trafikverket 9, 2012). Exempel på andra underhållsåtgärder som genomförs är betongreparation av sprickor, utbyte av räcke och kantbalk, ommålning för estetiska skäl och byte av tätskikt, se bilaga 5.

Vid dilatationsskarvar på bron kontrolleras spelet mellan tungan och stödrälen. Även fastsättningar av rörliga och fasta delar så som skruvar och bultar ska kontrolleras. Vid skarvar ska det vara i rätt läge i förhållande till temperaturen och neutralläge för att minska risk för olyckor. För att förebygga rälsbrott så utförs OFP för att öka säkerheten. Dessa åtgärder utförs en gång per år (Trafikverket 9, 2012).

Impregnering med vätska är förebyggande underhåll och görs vart 10:e år, vilket blir 6 gånger under 60 år. Materialkostnad och arbetskostnad är 94kr/m<sup>2</sup> omräknat till 2013 års penningvärde. Eventuella avstängningar är ej

medräknade (Linea Information AB, 1997). Yta som ska impregneras beror av bredden på bron och antal brostöd. För enkelhetens skull räknas ytan ut från bredden och längden av bron. Detta är en grov uppskattning eftersom den totala ytan är svår att uppskatta. Bredden är 11,9 meter och längden 2000 meter.

*Total kostnad impregnering:*

$$11,9m \times 2000m \times 94kr/kvm \times 6 \text{ gånger} = 13\,423\,200 \text{ kr}$$

Större betongreparation av bro är en underhållsåtgärd. Detta genomförs för att bron ska behålla sin hållbarhet. Kostnaden för betongreparation är 38 000 kr/m<sup>3</sup>, se bilaga 5. Enligt Håkan Sundquist<sup>4</sup> inkluderas inte trafikanordningar och entreprenörens organisation, det vill säga att kostnaden är endast för materialet och arbetskostnader.

En annan underhållsåtgärd är utbyte av broräcke och kantbalk, se figur 10 . Detta utförs när broräcket går sönder och att det blir sprickor i kantbalk. 1745 kr/m kostar det för utbyte av broräcke och kantbalk. Enligt Håkan Sundquist<sup>5</sup> är denna kostnad endast för materialet och arbetskostnader. Kostnader för trafikanordningar och entreprenörens organisation är dock inte inräknade i denna pris, se bilaga 5.

Kostnaden för underhållet av dilatationsskarvar är en uppskattning av Martin Jonasson<sup>6</sup>. Underhållet beror till stor del av trafikvolymen. Underhållskostnaden är till stor del arbetskraftskostnad. I uträkningen antas trafikvolymen vara 50 tåg per dygn. Slipning sker vart 5:e år till en kostnad av 24 000 kr. Påsvetsning och efterslipning sker vart 5:e år till en kostnad av 24 000 kr. Åtdragning av bultar och kontroll vart 3:e år till en kostnad av 12 000 kr. Det ger en kostnad på totalt 204 000 kr för 15 år eller 13 600 kr/år. Kostnaderna gäller för en bantekniker med slipmaskin, en SOS-ledare och en tågvarnare.

*Total kostnad underhåll dilatationsskarv:*

$$13\,600 \text{ kr/år} \times 60 \text{ år} = 816\,000 \text{ kr}$$

---

<sup>4</sup> Professor Emeritus avd. Brobyggnad Håkan Sundquist, KTH e-post 2013-05-16

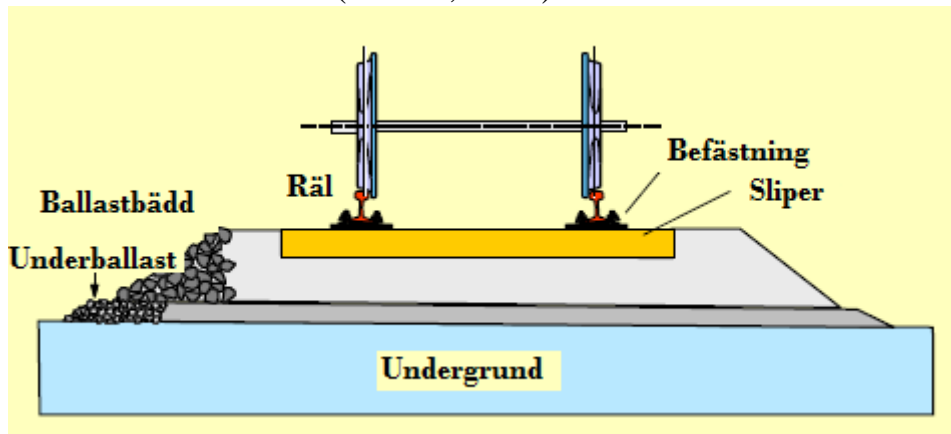
<sup>5</sup> Professor Emeritus avd. Brobyggnad Håkan Sundquist, KTH e-post 2013-05-16

<sup>6</sup> Järnvägsingenjör Martin Jonasson, Atkins e-post 2013-05-17

## 4 Järnvägsöverbyggnad

### 4.1 Ballastspår

Det klassiska sättet att bygga järnväg sker med en bankkonstruktion. Konstruktionen består av att räler, befästningar och sliper vilar på en ballastbädd. Under ballasten ligger underballasten som i sin tur ligger på undergrunden. Se bild nedan (Esveld, 2001)



Figur 13 Principskiss ballastspår, översatt till svenska (Esveld, 2003)

När undergrunden är stabil kan banken byggas. Banken är uppdelad i 3 sektioner; bankfyllning, underballast och ballast.

I botten ligger bankfyllningen. Fyllningen består av jordmaterial, bergkrossmaterial eller en kombination av båda. I bank med jordmaterial i bankfyllningen läggs dräneringslager in för att leda bort vatten som tränger ner. Är jordmaterialet dessutom finkornigt placeras en geotextil på toppen av bankfyllningen, kallad terrassen, för att förhindra att materialet vandrar mellan de olika lagren (Trafikverket 10, 2012).

Ovan bankfyllningen läggs sedan underballasten. Underballasten har flera viktiga funktioner. Bland annat att fördela trafiklasten, dränera spårbädden, förhindra tjällyftning m.m. Den består vanligtvis av ett eller två lager med djupet 500 till 800 millimeter. Vid en stark terrassyta av till exempel berg kan underballasten begränsas till 500 millimeter, annars är minst 800 millimeter standard. Byggs ett lager är det ett förstärkningslager, byggs två lager tillkommer även ett frostisoleringslager. Förstärkningslagret består av bergkrossmaterial med kornstorlek 0-150 mm. Frostisoleringslagret kan även det vara av bergkross men kan också bestå av jordmaterial i samma kornstorlek. På underballastens terrass kan ett lager med cellplast läggas för att förhindra tjälbildning i underballasten (Trafikverket 10, 2012).

Både bankfyllningen och underballasten läggs med så kallad bombering. Det betyder att lagren läggs med en lutning för att förenkla avrinning av vatten.

Lutningen utgår från mitten med 2 % sluttning åt vardera sidan.

Till sist läggs ballastlagret. I detta lager ligger spåret och ska därför vara stabilt i både längd- och sidled. Ballasten ska dessutom vara dränerande och elastisk för att minska påfrestningarna på räler och slipers (Trafikverket 10, 2012). Ballasten delas in i två klasser, makadamklass 1 och makadamklass 2. Makadamklass 1 har grova korn upp till 80 millimeter, medan makadamklass 2 har korn som är max 40 millimeter. Makadammen ska vara en bergart som är tät, kompakt och är tåligt mot nötning (Banverket 3, 2004).

## 4.2 Ballastfritt spår

Ballastfritt spår kallas även slab-track. (Mellberg, 2009). Normalt byggs järnvägsbanor med ballast, men med tiden har byggandet med ballastfria banor ökat (Esveld, 2001). Historiskt sett utvecklades det ballastfria spåret i centrala Europa under 60-talet. Schweiz var en av de första länderna som använde ett ballastfritt system, i Bözberg tunnel (Sonnevile AG, 2011). Ballastfritt spår blev allt mer attraktivt och fler länder tog efter systemet, till exempel Frankrike, Tyskland och Japan. Många länder anlägger idag ballastfritt spår på sina höghastighetsbanor. Ballastfritt spår är väldigt vanligt vid höghastighetsbanor, broar och tunnlar (Portland Cement Association, 2000). Enligt Per Corshammar<sup>7</sup> bygger Kina upp hela sitt höghastighetssystem med ballastfritt spår. I Sverige har Citytunneln använt systemet (Mellberg, 2009).

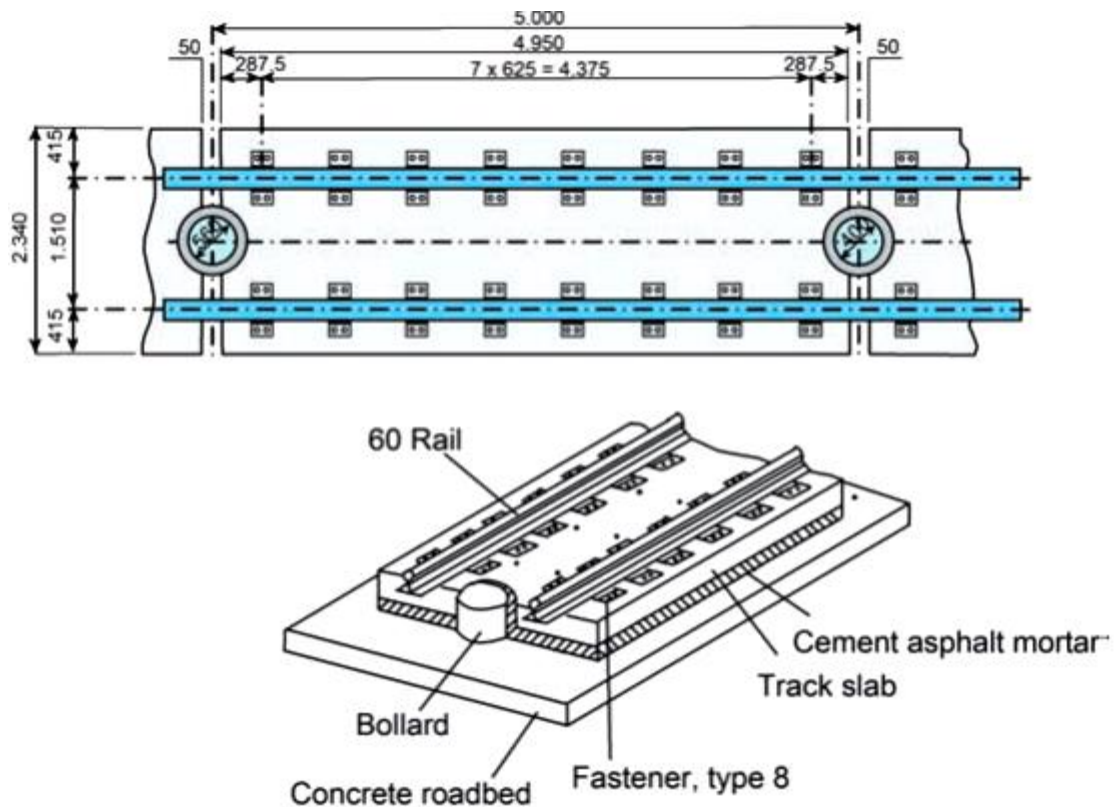
I grunden finns det två varianter på ballastfria spårssystem. En variant där prefabricerade betongplattor gjuts direkt på konstruktionen och en variant där slipers gjuts med betong på plats (Esveld, 2006).

Shinkansen, höghastighetståg i Japan, är ett exempel med prefabricerade betongplattor med befästningar. Plattorna gjuts fast med ett cement- och asfaltsbindemedel i konstruktionen, till exempel på en bro. Mellan plattorna finns det så kallade pollare som hindrar plattorna från longitudinella och laterala förskjutningar. Pollarna hjälper även till vid anläggning så att plattorna centreras efter varandra. Till sist läggs räler ut och befästningarna ansluts (Esveld, 2003).

---

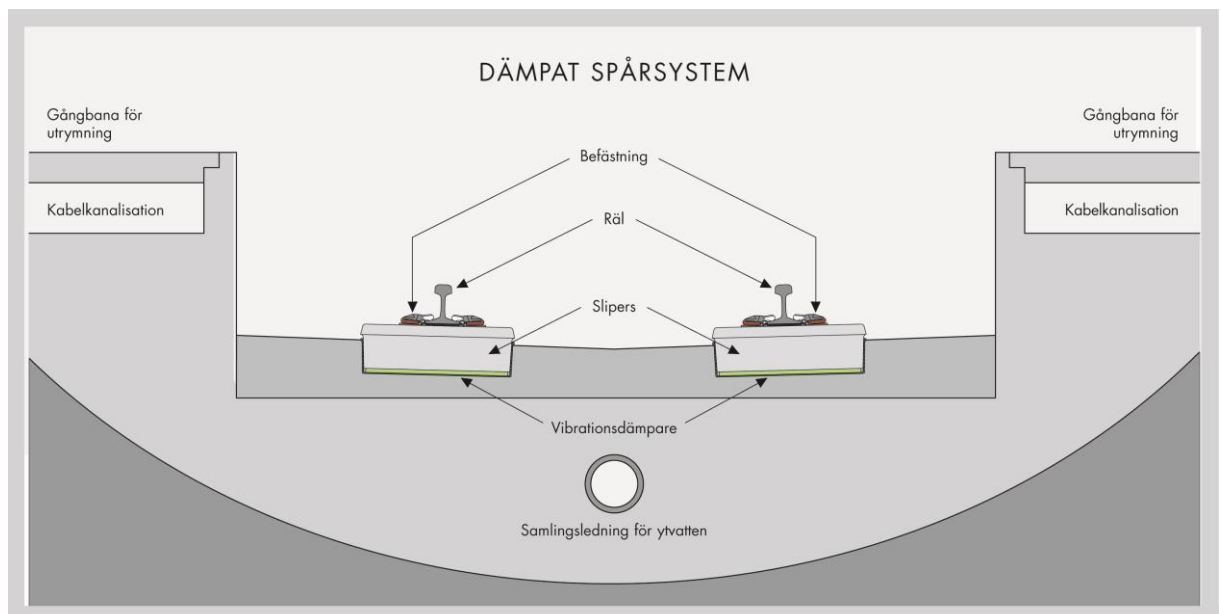
<sup>7</sup> Järnvägsingenjör och utredningsexpert Per Corshammar, Ramböll e-post 2013-05-19





Figur 14 Ballastfritt spår Shinkansen, Japan (Esveld, 2003)

Den andra metoden användes i citytunneln i Malmö. Sliprarna, med befästa räler, läggs ut på plats i spårområdet. Därför lyfts sliprarna och räler till rätt läge och samtidigt gjuts de fast med betong. Spåret blir då som en hel enhet (Mellberg, 2009).



Figur 15 Ballastfritt spår i Citytunneln, Malmö (Mellberg, 2011)

#### 4.2.1 Fördelar och nackdelar med ballastfritt spår

Fördelen med det ballastfria spåret, jämfört med ballastspår, är att underhållet blir minimalt och att den har betydligt längre livslängd. Genom att det nästan inte behövs något underhåll för ett ballastfritt spår ökar tillgängligheten på banan (Esveld, 2003). En annan nytta, vid höghastighetsbanor, är att ett ballastfritt spår har en högre stabilitet vilket ger högre största tillåtna hastighet och leder till bättre komfort för resenärer (Vossloh, 2009). Dessutom försvinner fenomenet med stenskott vid höga hastigheter (Esveld, 2003).

Nackdelen med ett ballastfritt spår är att det är dyrare än det konventionella sättet att bygga spår vid anläggningsprocessen (Ramböll, 2012). Enligt Per Corshammar ökar kostnaden vid olyckor. Vid urspårning kan reparationen bli kostsam eftersom betongen skadas och måste gjutas om.

En annan nackdel med ett ballastfritt spår är att det skapar höga vibrationer till skillnad från det konventionella systemet (KTH Järnvägsgruppen, 2012).

### 4.3 Kostnad för ballastspår på bank

#### 4.3.1 Teoretiska kostnader för metod 1, ballastspår

Den genomsnittliga kostnaden för banöverbyggnaden för enkelspår är 3000 kr/spm och för underbyggnaden är det 5000 kr/spm. Notera att kostnader för banöverbyggnaden ingår räler, slipers, befästningar och makadam. I rapporten kommer kalkylen beräknas för dubbelspår. Med dubbelspår blir det 10 % billigare än att bygga enkelspår två gånger. (Corshammar, 2005). Sträckan är begränsad till 2000 meter. I rapporten avgränsas kostnader för el- och signalsystem. Detta för att dessa förekommer i både ballastspår och i ballastfritt spår. För att få fram 10 % billigare har vi multiplicerat med 0,9.

Samtliga kostnader i avsnitt 4.1.1.2 är omräknade till penningvärde för år 2013. Det innebär en ökning med 11,76% jämfört med år 2005 (Statistiska Centralbyrån, 2013).

*Kostnad underbyggnad ballastspår:*

$$2000 \text{ m} \times 5000 \text{ kr/spm} \times 2 \text{ spår} \times 0,9 \times 1,1176 = 20\,116\,800 \text{ kr}$$

*Kostnad överbyggnad ballastspår:*

$$2000 \text{ m} \times 3000 \text{ kr/spm} \times 2 \text{ spår} \times 0,9 \times 1,1176 = 12\,070\,080 \text{ kr}$$

#### 4.3.2 Teoretiska kostnader för metod 2, ballastfritt spår

Ett ballastfritt spår är 40-60 % dyrare i investeringskostnad än ballastspår (Corshammar, 2005). Vi räknar med 50 % dyrare investeringskostnad eftersom det är medelvärdet. Genom att multiplicera med 1,5 får vi 50 % dyrare i beräkningen. Kostnaden för ballastspåret räknades ut i avsnitt 4.1.1.2 och var underbyggnaden 20 116 800 kronor och överbyggnaden 12 070 080 kronor. Totalt blir 32 186 880 kronor.

*Kostnad för ballastfritt spår:*

$$1,5 \times 32\,186\,880\text{kr} = 48\,280\,320\text{kr}$$

#### 4.3.3 Referensuppgifter från ballastspårsspecialist

Enligt Martin Jonasson<sup>8</sup> kostar en enkel banvall för enkelspår 2000 kr/spm. Överbyggnaden kostar 5000 kr/spm, då är makadam, sliper, befästningar och räler inräknade. Dessa kostnader inkluderar dessutom arbetskostnader, projektering och är för 2013. För att dessa kostnader ska gälla måste följande vara uppfyllt:

- Inga geotekniska åtgärder eller andra förstärkningsåtgärder i marken.
- Ett plant landskap som i princip inte kräver några variationer på storleken på banvall.
- Inga broar som ansluter till banvallen
- Inga spårväxlar
- Inga plankorsningar
- Inget schakt i skärningar
- Inga markinköp
- Inga överklaganden

Ska kostnadsuppgifterna appliceras på dubbelspår fördubblas de. Dock med dubbelspår blir det 10 % billigare än att bygga enkelspår två gånger (Corshammar, 2005).

---

<sup>8</sup> Järnvägsingenjör Martin Jonasson, Atkins e-post 2013-05-08

#### 4.3.4 Kostnadsberäkning metod 1, ballastspår

*Total kostnad för underbyggnad ballastspår:*

$$2000 \text{ kr/spm} \times 2000 \text{ m} \times 2 \times 0.9 = 7\,200\,000 \text{ kr}$$

*Total kostnad för överbyggnad ballastspår:*

$$5000 \text{ kr/spm} \times 2000 \text{ m} \times 2 \times 0.9 = 18\,000\,000 \text{ kr}$$

#### 4.3.5 Referensobjekt: Ballastfritt spår Metron Köpenhamn

Tunnelbanesystemet i Köpenhamn kallas Metron. Beslutet om att Metron skulle byggas togs 1992 i danska Folketinget. Metron består av tre etapper; Nörreport till Kastrup, Nörreport till Vestamager och Nörreport till Vanløse. Bygget började 1996 och det första tåget rullade på etappen Nörreport - Vestamager 2002. Den 19 oktober och 2007 öppnades alla tre etapper (m.dk, 2007).

##### 4.3.5.1 Kostnader för referensobjekt

Enligt Martin Jonasson<sup>9</sup> är Metron byggd med ballastfritt spår i tunnlar under marken. Rälen sitter fast med Vossloh befästningar i Sonnevile-block, en typ av sliper, som i sin tur är fastgjutna med betong i underbyggnaden. Kostnaden för det ballastfria spåret låg på mellan 12000 - 13000 kr/spm (2002) för material och arbete, exklusive el, tele och signal, för enkelspår.

#### 4.3.6 Kostnadsberäkningar metod 2, ballastfritt spår

Kostnader i detta avsnitt, förutom kostnad för ballastplogning, är omräknade till penningvärde för år 2013. Det innebär en ökning med 14,88 % jämfört med år 2002 (Statistiska Centralbyrån, 2013).

Samma metod för ballastfritt spår läggs anläggs på vår sträcka. Medeltalet för kostnad per spårmeter är 12 500 kr/spm. Sträckan som anläggs med ballastfritt spår är 2000 meter. Eftersom beräkningen utgår från dubbelspår multipliceras sträckan med 2.

*Total kostnad ballastfritt spår:*

$$12\,500 \text{ kr/spm} \times 2\,000 \text{ m} \times 2 \text{ spår} \times 1,1488 = 57\,440\,000 \text{ kr}$$

---

<sup>9</sup> Järnvägsingenjör Martin Jonasson, Atkins e-post 2013-05-01

#### 4.4 Underhållskostnader av ballastspår på bank

Räler används både vid konventionella spår på bank och vid ballastfritt spår. Underhållskostnaderna för rälerorna antar vi därför kvittas mot varandra eftersom underhållet antas vara likas stort.

Underhållskostnader som skiljer ballastspår från ballastfritt spår blir därför kostnader för slipers och ballast.

Slipern har en beräknad teknisk livslängd på 30 år. Eftersom underhållsperioden är satt till 60 år krävs ett slipersbyte efter 30 år. Slipersbyte kostar 2200 kr/spm plus mellanlägg 170 kr/spm. Sträckan är 2000 spm (Corshammar, 2005). I övrigt kontrolleras slipers så att inte brott, sprickor eller snedvridning uppkommer (Trafikverket 9, 2012).

Samtliga kostnader i avsnitt 4.1.2 är omräknade till penningvärde för år 2013. Det innebär en ökning med 11,76% jämfört med år 2005 (Statistiska Centralbyrån, 2013).

*Total underhållskostnad för slipers:*

$$(2\,200\text{ kr/spm} + 170\text{ kr/spm}) \times 2\,000\text{ m} \times 2\text{ spår} \times 1,1176 \\ = 10\,594\,848\text{ kr}$$

Med tiden förorenas ballasten på grund av krossat finmaterial från makadamen och partiklar från damm och växter. I och med föroreningarna försämras elasticiteten i ballsten och risken för vattensamlingar med tjälskador ökar. Ballastrening sker med syftet att återställa ballastens dräneringsförmåga och öka elasticiteten (Sundquist, 2003).

Ballastrening kan ske vart 15:e år till en kostnad av 1 250 kr/spm. Hyra för maskinen ligger på 700 000 kronor (Corshammar, 2005).

*Total kostnad för ballastrening:*

$$700\,000\text{ kr} + 1\,250\text{ kr/spm} \times 2\,000\text{ m} \times 2\text{ spår} \times 1,1176 \\ = 7\,152\,640\text{ kr}$$

Efter att ballastreningen är utförd kan en ballastplogning med ballast komplettering göras. Detta görs vanligtvis efter ballastrening och efter 2 till 3 spårjusteringar. Syftet är att återställa ballastprofilen, öka stabiliteten i spåret och minimera risken för stenskott vid höga hastigheter (Sundquist, 2003).

Ballastplogning kan ske vart 5:e år (Corshammar, 2005). Enligt Tommy Kumlin<sup>10</sup> så kostar ballastplogning 51 000kr/tillfälle för 2013. Det innebär att ballastplogning kommer att genomföras 12 gånger på 60 år

*Total kostnad för ballastplogning:*

$$12 \times 51\,000 = 612\,000 \text{ kr}$$

Underhåll av dränering och diken görs för att minska risken för vattensamlingar i bankroppen som kan försämra stabiliteten. Vattensamlingar i bankroppen kan frysa på vintern och orsaka skador som sättningar, bankbrott och spårlägesfel (Sundquist, 2003).

Dräneringen ska underhållas vart 3:e år till en kostnad av 500 kr/spm. Vart 3:e år ska även diken rensas till en kostnad av 350 kr/spm (Corshammar, 2005).

*Total kostnad för dränering och dikesrensning:*

$$(500\text{kr/spm} + 350\text{kr/spm}) \times 2\,000 \text{ m} \times 2 \text{ spår} \times 1,1176 \\ = 3\,799\,840 \text{ kr}$$

Makadamen behöver vegetationsröjas för att inte förlora sina egenskaper. Dränering och elasticiteten försämras om ogräs och döda växter fyller hålrummen i ballasten. Eftersom dessa binder vatten fryser ballasten vintertid och orsakar spårförskjutningar i vertikal – och horisontalled (Torstensson & Lindholm, 1988).

Vegetationsröjning ska ske 1 gång vart 4:e år. Kostnaden för vegetationsröjning är 70 kr/spm. Med underhållsperioden 60 år kommer vegetationsröjning ske 15 gånger (Corshammar, 2005).

*Total underhållskostnad för vegetationsröjning:*

$$70 \text{ kr/spm} \times 2\,000 \text{ m} \times 15 \text{ ggr} \times 2 \text{ spår} \times 1,1176 = 4\,693\,920 \text{ kr}$$

Spårriktning görs inte på ballastfritt spår, därför ska den underhållskostnaden tas med på ballastspår. Spårriktning görs 2 gånger på 5 år, vilket blir 24 gånger på 60 år. Kostnaden är 20 kr/spm och maskinen som utför spårriktningen kostar 50 000 kr i hyra (Corshammar, 2005).

---

<sup>10</sup> Projektledare Tommy B Kumlin, Strukton e-post 2013-05-14

*Total underhållskostnad för spårriktning:*

$$(50\,000 \text{ kr/tillfälle} + 20 \text{ kr/spm} \times 2\,000 \text{ m} \times 2 \text{ spår}) \times 24 \text{ ggr} \\ \times 1,1176 = 3\,486\,912 \text{ kr}$$

Ballastkomplettering görs normalt efter att två till tre spårriktningar genomförts. Syftet är att återställa mängden ballast till standardmått (Sundquist, 2003). Kostnaden för ballasten är 400 kr/m<sup>3</sup> (Corshammar, 2005). Med 2013 års penningvärde är kostnaden 447 kr/m<sup>3</sup>. Uppskattning av hur mycket ballast som ska kompletteras är nästintill omöjligt. Därför räknas inte denna kostnad med i beräkningarna.

#### **4.5 Underhållskostnader för ballastfritt spår**

Underhållet på ett ballastfritt spår är minimalt. Eftersom inga slipers eller någon ballast finns reduceras kostnaden för underhåll markant. Spårjustering görs inte eftersom rälsen sitter fast i betongen och får ingen förflyttning.

Den tekniska livslängden är för ballastfritt spår är 60 år (Corshammar, 2005). Enligt Per Corshammar<sup>11</sup> utförs rälsslipning en gång per år. Den generella underhållskostnaden för ballastfritt spår är ca 75 kr/spm och år.

De typiska underhållsåtgärderna för ballastfritt spår är reparation av sprickor i cement- och asfaltsbindemedlet, befästningar och rälsslipning. I enstaka fall repareras sprickor i betongytan. Dessa uppkommer i och med frysning och upptining av betongen (Takai, 2007).

Eftersom rälsunderhållet antas vara lika för ballastspår som för ballastfritt spår så ingår inte rälsslipning i beräkningen. Då blir kostnaden ca 35 kr/spm.

Kostnaden räknades om genom att rälsslipning kostar 40kr/spm (Corshammar, 2005). 35 kr/spm räknades fram genom att 40 kr/spm subtraherades från 75 kr/spm. Stäckan som ska underhållas är 2000 spm, vilket ska göras under 60 år.

*Total kostnad för underhåll av ballastfritt spår:*

$$35 \text{ kr/spm} \times 60 \text{ år} \times 2000 \text{ m} \times 2 \text{ spår} = 8\,400\,000 \text{ kr}$$

---

<sup>11</sup> Järnvägsingenjör och utredningsexpert Per Corshammar, Ramböll e-post 2013-04-11

## 5 Resultat

### 5.1 Resultat för investeringskostnader

Under detta kapitel sammanfattas och summeras samtliga teoretiska investeringskostnader, uträkningar från referensobjekt för investeringskostnader och underhållskostnads plan under 60 år. De förutsättningar vi har för denna järnvägsträcka är dubbelspårning ballast spår, ballastfritt, bro, bankpålning och påldäck. Kostnader för de olika delarna beräknas i en sträcka på 2000m.

#### 5.1.1 Teoretiska kostnader

##### 5.1.1.1 Bankpålning

I den teoretiska kostnadsberäkningen för beräknas bankpålning med bankhöjden 3,5 meter och pålängden 25 meter, se avsnitt 2.7.1. Tabellen nedan visar totala kostnaden för två olika plattäckningsgrader.

**Tabell 1 Teoretisk kostnad bankpålning**

| <b>Teoretiska kostnader för bankpålning, metod 1</b> |                       |
|--|-----------------------|
| <b>Utförande</b>                                     | <b>Kostnader</b>      |
| <b>Bankpålning, plattäckningsgrad 50 %</b>           | <b>127 428 800 kr</b> |
| <b>Bankpålning, plattäckningsgrad 40 %</b>           | <b>121 056 600 kr</b> |

##### 5.1.1.2 Bro på påldäck

Kostnaden för påldäck är inte troligt eftersom den metod som Trafikverket använder inte är avsedd för bro. Metoden används för bankkonstruktion, vilket medför att i beräkningen för denna rapport väljs den lägsta möjliga bankhöjden 2 meter. Pålängden är detsamma som för bankpålning, det vill säga 25 meter, se avsnitt 2.7.2.

**Tabell 2 Teoretisk kostnad Påldäck**

| <b>Teoretiska kostnader för påldäck, metod 2</b> |                      |
|--|----------------------|
| <b>Utförande</b>                                 | <b>Kostnader</b>     |
| <b>Påldäck</b>                                   | <b>13 638 240 kr</b> |
| <b>Summa</b>                                     | <b>13 638 240 kr</b> |



Vid kostnads kalkylering för broar använder Trafikverket en grov kostnads uppskattning. Denna kostnads uppskattning är 50 000 kr/m<sup>2</sup>. Nackdelen med beräkningen är att förutsättningar, som till exempel brotyp och brohöjd, inte är specificerade. Dessa villkor kommer att påverka en del av kostnaden för anläggning av bro. För att bron ska kunna anlägga en dubbelspårning järnväg väljs bredden till 11,5 meter, se avsnitt 3.3.1.

**Tabell 3 Teoretisk kostnad Järnvägsbro**

| <b>Teoretisk kostnad för järnvägsbro, metod 2</b> |                  |
|---|------------------|
| <b>Utförande</b>                                  | <b>Kostnad</b>   |
| <b>Bro</b>  | 1 150 000 000 kr |
| <b>Summa</b>                                      | 1 150 000 000 kr |

#### *5.1.1.3 Ballastspår på bank*

Kostnader för ballastspår är uppdelade i 2 delar, underbyggnad och överbyggnad. I kostnader för underbyggnad ingår banken. I kostnader för överbyggnaden ingår räler, befästningar, slipers och makadam. Dock är inte kostnader för signal- och elsystem inräknade, se avsnitt 4.3.1. Nedanför redovisas en tabell för kostnader av dubbelspårigt ballastspår på bank.

**Tabell 4 Teoretisk kostnad ballastspår**

| <b>Teoretiska kostnader för ballastspår på bank, metod 1</b> |                  |
|--|------------------|
| <b>Utförande</b>   | <b>Kostnader</b> |
| <b>Underbyggnad ballastspår</b>                              | 20 116 800 kr    |
| <b>Överbyggnad ballastspår</b>                               | 12 070 080 kr    |
| <b>Summa</b>   | 32 186 880 kr    |

#### 5.1.1.4 Ballastfritt spår

En investering av ballastfritt spår är 40-60 procent dyrare än ballastspår. I tabellen nedanför beräknas kostnader med 50 procent eftersom det är medelvärdet, se avsnitt 4.3.2. Kostnaden för ballastfritt spår räknas fram genom att multiplicera teoretisk kostnad för ballastspår med faktorn 1,5.

Tabell 5 Teoretisk kostnad Ballastfritt spår

| <b>Teoretisk kostnad för ballastfritt spår, metod 2</b> |                  |
|---|------------------|
| <b>Utförande</b>  | <b>Kostnader</b> |
| <b>Ballastfritt spår</b>                                | 48 280 320 kr    |
| <b>Summa</b>  | 48 280 320 kr    |

#### 5.1.2 Kostnader för metod 1 och 2

##### 5.1.2.1 Bankpålning

Kostnadsberäkningarna som är gjorda för bankpålning är hämtade ur förfrågningsunderlag och ritningar till dubbelspårsutbyggnaden av sträckan Ängelholm-Förslöv, se avsnitt 2.7.4.

Tabell 6 Beräkningar från referensobjekt för bankpålning

| <b>Kostnader för bankpålning, metod 1</b>        |                  |
|--|------------------|
| <b>Utförande</b>                                 | <b>Kostnader</b> |
| <b>Borttagning av jordmån och markvegetation</b> | 244 371 kr       |
| <b>Pålar</b>                                     | 254 566 455 kr   |
| <b>Pålplattor</b>                                | 60 310 510 kr    |
| <b>Bädd av grusig sand</b>                       | 3 353 221 kr     |
| <b>Summa</b>                                     | 318 604 025 kr   |

### 5.1.2.2 Bro på påldäck

Kostnadsberäkning av påldäck grundar sig från förfrågningsunderlaget till sträckan Ängelholm-Förslöv och uppgifter från Svevia, se avsnitt 2.7.5.

**Tabell 7 Beräkningar från referensobjekt för påldäck**

| <b>Kostnader för påldäck, metod 2</b>            |                |
|--|----------------|
| <b>Utförande</b>                                 | <b>Kostnad</b> |
| <b>Bottenplata</b>                               | 44 100 000 kr  |
| <b>Pålar</b>                                     | 78 328 140 kr  |
| <b>Borttagning av markvegetation och jordmån</b> | 6 290 kr       |
| <b>Grusig sandbädd</b>                           | 343 090 kr     |
| <b>Summan</b>                                    | 122 777 520 kr |

Brokostnaden är hämtad från förfrågningsunderlag och ritningar till dubbelspårsutbyggnaden av sträckan Ängelholm-Förslöv, se avsnitt 3.3.3.

**Tabell 8 Beräkningar från referensobjekt för bro**

| <b>Kostnader för plattbro, metod 2</b> |                |
|--|----------------|
| <b>Utförande</b>                       | <b>Kostnad</b> |
| <b>Bro</b>                             | 665 637 037 kr |
| <b>Summa</b>                           | 665 637 037 kr |

### 5.1.2.3 Ballastspår på bank

I beräkningen för tabellen nedanför är kostnader uppdelade i 2 kategorier, överbyggnad och underbyggnad, se avsnitt 4.3.3. Kostnadsuppgifterna är från järnvägsingenjören Martin Jonasson från Atkins.

Tabell 9 Beräkningar från referensobjekt för ballastspår

| Kostnader för ballastspår på bank, metod 1 |               |
|--|---------------|
| <b>Utförande</b>                           | Kostnader     |
| <b>Underbyggnad</b>                        | 7 200 000 kr  |
| <b>Överbyggnad</b>                         | 18 000 000 kr |
| <b>Summa</b>                               | 25 200 000 kr |

### 5.1.2.4 Ballastfritt spår

Kostnaden för ballastfritt spår är en omräkning av kostnadsuppgifter från Martin Jonasson, Atkins, från Köpenhamns tunnelbanesystem Metron, se avsnitt 4.3.6.

Tabell 10 Beräkningar från referensobjekt för ballastfritt spår

| Kostnader för ballastfritt spår, metod 2 |               |
|--|---------------|
| <b>Utförande</b>                         | Kostnad       |
| <b>Ballastfritt spår</b>                 | 57 440 000 kr |
| <b>Summa</b>                             | 57 440 000 kr |

## 5.2 Resultat för underhållskostnader

Nedanför redovisas 2 tabeller, underhållskostnader för ballastspår på bank och underhållskostnader för bro med ballastfritt spår. Underhållsperioden beräknas under 60 år för 2000 meter lång järnvägssträcka, se avsnitt 4.4.

Tabell 11 Underhållskostnader ballastspår

| <b>Underhållskostnader för metod 1 under 60 år</b> |                      |
|--|----------------------|
| <b>Överbyggnad</b>                                 |                      |
| <b>Utförande</b>                                   | <b>Kostnader</b>     |
| Slipers  | 10 594 848 kr        |
| Ballastrening                                      | 7 152 640 kr         |
| Ballstplogning                                     | 612 000 kr           |
| Spårriktning                                       | 3 486 912 kr         |
| Ballastkomplettering per kubikmeter (a)            | 447 kr               |
| <b>Underbyggnad</b>                                |                      |
| <b>Utförande</b>                                   | <b>Kostnader</b>     |
| Bankpålning  | -                    |
| Dränering och dikesrensning                        | 3 799 840 kr         |
| Vegetationsröjning                                 | 4 693 920 kr         |
| <b>Summa (ej a)</b>                                | <b>30 340 607 kr</b> |

Tabell 12 Underhållskostnader ballastfritt spår

| <b>Underhållskostnader för metod 2 under 60 år</b> |                      |
|--|----------------------|
| <b>Överbyggnad</b>                                 |                      |
| <b>Utförande</b>                                   | <b>Kostnader</b>     |
| Ballastfritt spår                                  | 8 400 000 kr         |
| <b>Underbyggnad</b>                                |                      |
| <b>Utförande</b>                                   | <b>Kostnader</b>     |
| Påldäck  | -                    |
| <b>Bro</b>   |                      |
| <b>Utförande</b>                                   | <b>Kostnader</b>     |
| Impregnering                                       | 13 423 200 kr        |
| Dilatationsskarv                                   | 816 000 kr           |
| Betongreparation per kubikmeter (a)                | 3 800 kr             |
| Utbyte av kantbalk och räcke per meter (b)         | 1 746 kr             |
| <b>Summa (ej a &amp; b)</b>                        | <b>22 639 200 kr</b> |

### 5.3 Resultat av kostnader för metod 1 och 2

Investeringskostnaden för metod 2 blir mycket dyrare än metod 1. De delar som orsakar stora kostnader i metod 2 är kostnaden för bro och ballastfritt spår. Endast grundläggningen kostar mindre för metod 2.

#### 5.3.1 Resultat av teorin och uträkningar från referensobjekt för metod 1

Ur egna kostnadsberäkningar används verkliga referensobjekt. Med objektets uppgifter kunde uträkningen av kostnaden för 2000 meter järnvägssträcka genomföras. De teoretiska kostnadsberäkningarna stämmer inte med beräkningar från referensobjekt. Beräkningarna skiljer mer än 100 % av den teoretiska beräkningen.

Tabell 13 Teoretisk kostnad metod 1

| Metod 1 teoretiska kostnadsberäkningar |                       |
|--|-----------------------|
| Utförande                              | Kostnader             |
| Bankpålning, 40 %                      | 121 056 600 kr        |
| Ballastspår på bank                    | 32 186 880 kr         |
| Underhållkostnader*                    | 30 340 607 kr         |
| <b>Summa</b>                           | <b>183 584 087 kr</b> |

\*Ballastkomplettering ingår ej.

Tabell 14 Beräkningar från referensobjekt för metod 2

| Metod 1 kostnadsberäkningar från referensobjekt |                       |
|---|-----------------------|
| Utförande                                       | Kostnader             |
| Bankpålning                                     | 318 604 025 kr        |
| Ballastspår på bank                             | 25 200 000 kr         |
| Underhållskostnader*                            | 30 340 607 kr         |
| <b>Summa</b>                                    | <b>374 144 632 kr</b> |

\*Ballastkomplettering ingår ej.

5.3.2 Resultat av teorin och uträkningar från referensobjekt för metod 2  
 Uppgifter från egna beräkningar är tagna från verkliga referensobjekt och specialister inom delområden. Även här stämmer siffrorna inte överrens. Till skillnad från metod 1 blir teoretiska kostnaden för metod 2 dyrare än de egna beräkningarna som är genomförda. Anledningen till att den teoretiska kostnaden blir dyrare är att Trafikverkets använder en schablonkostnad för uträkningen av bro, detta innebär att den uträkningsmetoden kan gälla för vilken bro som helst.

**Tabell 15 Teoretiska kostnader metod 2**

| <b>Metod 2 teoretiska kostnadsberäkningar</b> |                         |
|---|-------------------------|
| <b>Utförande</b>                              | <b>Kostnader</b>        |
| <b>Påldäck</b>                                | 13 638 240 kr           |
| <b>Bro</b>                                    | 1 150 000 000 kr        |
| <b>Ballastfritt spår</b>                      | 48 280 320 kr           |
| <b>Underhållskostnader*</b>                   | 22 639 200 kr           |
| <b>Summa</b>                                  | <b>1 234 557 760 kr</b> |

\*Betongreparation och utbyte av kantbalk och räcke ingår ej.

**Tabell 16 kostnader från referensobjekt för metod 2**

| <b>Metod 2 kostnadsberäkningar från referensobjekt</b> |                       |
|--|-----------------------|
| <b>Utförande</b>                                       | <b>Kostnader</b>      |
| <b>Påldäck</b>   | 122 777 520 kr        |
| <b>Bro</b>   | 665 637 037 kr        |
| <b>Ballastfritt spår</b>                               | 57 440 000 kr         |
| <b>Underhållskostnader*</b>                            | 22 639 200 kr         |
| <b>Summa</b>   | <b>868 493 757 kr</b> |

\*Betongreparation och utbyte av kantbalk och räcke ingår ej.

## 6 Diskussion

Under arbetets gång har vi fått tydligare förståelse på hur kostnader kan variera för de olika delarna. Resultatet ger oss en väldigt bra översikt på investerings- och underhållskostnader.

### 6.1 Grundläggning

För att kunna jämföra de teoretiska kostnaderna med beräkningar från referensobjekt har samma förutsättningar använts i beräkningarna, som till exempel pålängd, bankhöjd och plattäckningsgrad.

För bankhöjden har 3,5 meter använts. Denna höjd är från referensobjektet. Pålängd valdes till 25 meter, denna uppgift togs fram genom att beräkna medellängden av pålarna från referensobjektet. Som avgränsning bestämdes 25 meter långa pålar för att enklare kunna beräkna fram resultatet. I de teoretiska kostnadsberäkningarna har också 25 meter långa pålar använts.

De teoretiska kostnaderna för bankpålning och påldäck är mycket tvivelaktiga. Kostnads kalkylen från Vägverket som används i avsnitten 2.7.1 och 2.7.2 har uppgifter som inte är uppdaterade. Detta syns i resultatet avsnitt 5.3.2 där den teoretiska kostnaden för påldäck är mycket lägre än uträkningen från referensobjekt utifrån verkliga siffror. Priserna togs med eftersom det är de enda siffrorna som Trafikverket hänvisar till.

Anledningen till att den teoretiska kostnaden för påldäck blev så billig kan vara att den är avsedd för att byggas med bank. En stor skillnad är dessutom priset för betong. Mallen använder  $1850 \text{ kr/m}^3$ , medan priset i verkliga fall ligger på mellan 6500 till  $7500 \text{ kr/m}^3$ . Övriga prisuppgifter i mallen är underdimensionerade jämfört med 2013 års priser. Även de teoretiska kostnaderna för bankpålning är missvisande jämfört med beräkningarna från referensobjektet som gjordes utifrån verkliga uppgifter.

Beräkningarna av påldäck kan vara missvisande då kostnadsuppgifterna är tagna från två olika källor. Pålar och schaktkostnad kommer från förfrågningsunderlaget till sträckan Ängelholm - Förslöv medan betongkostnaden för bottenplattan är baserad på uppgifter från Svevia. Hade uppgifterna kommit från samma källa skulle resultatet kunnat bli annorlunda.

Trafikverket bör uppdatera sin kostnads kalkyl för bankpålning och påldäck, eftersom prisuppgifterna är inaktuella. Används denna mall för uppskattning av kostnad för dessa metoder så är det inte konstigt att projekten i efterhand blev dyrare än beräknat.



Underhållsplan för grundläggningen finns inte. Att underhållsplan för grundläggning saknas är underligt. Eftersom grundläggningen är en så stor kostnad för projektet borde det finnas någon form av förebyggande underhåll, till exempel att pålarna kontrolleras att de håller sin standard. Men andra sidan är det förståeligt att det är svårt att se felen eftersom grundläggningen befinner sig under marken.

## 6.2 Bro

Under arbetets gång har Trafikverket, entreprenörer och konsultföretag kontaktats, men det har varit svårt att få fram uppgifter om kostnader för bro. Dock har två kostnadsuppgifter tagits fram för bro. Schablonkostnad för bro från Trafikverket har använts i den teoretiska beräkningen, se avsnitt 3.3.1. Den andra uppgiften är från ett förfrågningsunderlag och dess mängdförtäckning Förslöv-Ängelholm där kostnaden för 108 meter lång plattbro har omvandlas till pris per meter, se avsnitt 3.3.2.

Den teoretiska kostnaden för bron specificerar inte vilken brotyp. Anledningen till att den teoretiska kostnaden för bron är för hög är att det finns andra brotyper, till exempel lådbalkbro, som är dyrare än plattbro och drar upp kostnaden för schablonvärdet. Även höjden och spännvidden på bron påverkar kostnaden där dimensionerna kan variera. I beräkningen används brotypen plattbro, med 3,5 meter brostöd, vilket är en enkel och billig brotyp jämfört med till exempel lådbalkbro med höga brostöd.

Från det verkliga referensobjektet togs kostnaden för en 108 meter lång plattbro fram. Samma förutsättningar har använts från referensobjektet till beräkningar för metod 2. De förutsättningarna är brohöjd, brobredd och grundläggning. Spännvidden beräknades med 20 meter, istället för 18 meter som är för referensobjektet, för att få jämnare tal då bron ska vara 2000 meter lång.

Brostöd på 3,5 meter i höjd anses vara en ganska låg bro, det vill säga bron befinner sig nära marknivån. För höga broar kan det uppkomma vridmoment på grund av vinden. För att motverka detta hade lådbalkbron varit bra då den är utformad för att motstå vridmomenten, se avsnitt 3.2.3. Eftersom det låga brostödet skapar minimalt vridmomentet, på grund av sin låga tyngdpunkt och minskat vindmottstånd, valdes brotypen plattbro som lämplig för denna analys.

Svårigheten att få fram prisuppgifter för broar kan ha en enkel förklaring. Broar upphandlas styckvis, vilket innebär att entreprenören lägger ett anbud på att bygga hela bron utan att redovisa detaljer. Hitta en exakt kostnad för 2000 meter dubbelspårig järnvägsbro blir därför nästintill omöjligt. Den omvandlingen som är gjord från den 108 meter långa plattbron över Rönne Å är nog så nära vi kommer en rimlig kostnad. Med fler referensobjekt kunde utökat trovärdigheten för kostnaden, hade dessutom referensobjekt från andra länder tagits med hade det ökat tillförlitligheten ytterligare.

Kostnaden för bron blev hög, något som misstänktes innan arbetets påbörjan. För att reducera den höga kostnaden kan en utveckling av prefabricerade broar kan vara lösningen. Om utvecklingen leder till att broelementen är lättmonterade och billigare kan metod 2 vara en lösning för framtiden. Den reducerade arbetstiden med prefabricerade broelement kan locka många entreprenörer om deras kunskap om metoden ökas.

Underhållskostnader för bro har varit väldigt svårt att beräkna fram. Det finns inga uppgifter om hur ofta en underhållsåtgärd genomförs. Mängden av underhåll är helt beroende på vad broinspektionerna noterar. Anledningen till att det inte riktigt finns någon underhållsplan för broar kan vara för att varje bro är unik för sig. Det vill säga att de flesta broar är platsgjutna och är inte likadana. En annan faktor som kan ha stor betydelse är att olika entreprenörer har olika arbetsmetoder och material. Detta borde påverka en hel del på hur mycket en bro behöver underhållas.

En del underhållsåtgärder, som till exempel betongreparation, är inte redovisat i resultatet. Orsaken till detta är att det är nästan omöjligt att uppskatta hur mycket underhåll som ska göras. Dessutom finns det underhåll som är ovanliga och där kostnaden inte är av betydande storlek.

En jämförelse mellan ballastspår och ballastfritt spår på bro visade sig, utifrån resultatet, att det blir billigare med ballastspår. Kostnaden för ballastspår blir 39 846 400 kr och för ballastfritt spår blir 65 840 000 kr. I beräkningen inkluderas även underhållskostnader från rapporten. Detta bevisar att det är mer lönsamt att anlägga ballastspår än ballastfritt spår på bro trots högre underhållskostnader för ballastspåret. Hade tillgängligheten räknats med i rapporten så kan resultatet bli det omvända. Orsaken till att det kan bli billigare är att kostnaden för spåravstängningar vid underhåll kan vara väldigt höga.

### **6.3 Ballastspår på bank**

Ballastspår på bank är det vanligaste typen av anläggning för järnvägspår. Med litteraturstudie av teoretiska kostnader och med hjälp av Martin Jonasson på Atkins kunde en uppskattningskostnad av ballastspår på bank tas fram. Genom analysen mellan teoretiska kostnader och uppgifter från Martin Jonasson visade sig att kostnaden från uppgifterna blir ganska billigare än den teoretiska kostnaden för 2000 meter lång järnvägssträcka. Anledningen till kostnadsskillnaden kan vara att bankhöjden, typ av slipers, befästningar och rälstyp inte är specificerad varken i teoretiska kostnaden och uppgifter från Martin Jonasson. Den förutsättningen som berör kostnaden mest är bankhöjden där priset ökar enormt om höjden är hög.

I rapporten analyseras underhållplan för ballastspår på bank under 60 år. Det finns en del olika underhållsåtgärder för ballastspår och underhållskostnader blir relativt höga jämfört med ballastfritt spår. I underhållsplanen beräknas inte underhållet av räler, signal- och elsystem. Signal- och elsystem tas inte med i beräkningen för att de inte ingår i rapporten. I rapporten genomförs en jämförelse mellan ballastspår mot ballastfritt spår och underhållet för rälen är det samma för de båda elementen. Det vill säga att underhållskostnaden för rälen blir det samma för de båda delarna vilket leder till att det inte är nödvändigt att ta med underhållskostnader för rälen i beräkningen.

En underhållsåtgärd som saknas i uträkningen är ballastkomplettering. Det finns uppgifter om hur mycket ballastkompletteringen kostar per kubik meter. Men att uppskatta mängden ballast är näst intill omöjligt, därför beräknas ballastkompletteringen inte med i uträkningen.

### **6.4 Ballastfritt spår**

Ballastfritt spår har inte byggts på många ställen i Sverige. Därför kommer våra uppgifter från Metron i Köpenhamn. Uppgifterna kommer från Martin Jonasson på Atkins som var med och projekterade i det projektet. Därför anses den kostnaden stämma väl överens med verkligheten.

Anläggningskostnaden för det ballastfria spåret är något dyrare än för ballastspåret. Enligt teoretiska resultat blir kostnaden för ballastfritt spår ca 50% dyrare än vanligt ballastspår. Dock visade det sig att våra egna resultat, med verkliga referensobjekt, för ballastfritt spår blir över 100 % dyrare än vanligt ballastspår. Varför kostnaden skiljer sig så mycket mellan teorin och referensobjektet kan beror på att teorin utgår från andra byggprojekt där kostnader för ballastfritt spår inte är lika hög som i Metron i Köpenhamn.

Att hitta referensobjekt för ballastfritt spår har varit svår då det inte har anlaggs så mycket i Sverige. På grund av detta finns det inte mycket att jämföra med.

Räknas underhållskostnaderna med under 60 år blir kostnaderna dock ungefär lika stora som vanligt ballastspår. Vill Trafikverket ha ett spår med mindre underhållskostnader kan de välja att använda ett ballastfritt spår. Dock är det inte så troligt att Trafikverket väljer detta eftersom investeringskostnaden är högre.

## 7 Slutsatser

Efter att resultatet är färdigställd kunde en analys och jämförelse genomföras. Enligt resultatet blir metod 1 billigare än metod 2, då är underhållet ur ett livsperspektiv under 60 år inräknade. Kostnaden för metod 1 blir totalt 374 144 185 kr och för metod 2 blir kostnaden 868 493 757 kr, notera att i metod 2 är betongreparation och utbyte av kantbalk och räcke ej inräknade och i metod 1 är inte ballastkomplettering medräknat.

För metod 1 är grundläggningen dyrast och ur underhållssynpunkt är slipers och ballast dyrast. För metod 2 är det kostnaden för bron som dominerar. Även kostnaden för ballastfritt spår är stor. Det ända man tjänar på med metod 2 är grundläggningen eftersom den är billigare än metod 1.

Tittar man på underhåll för metod 2 är det svårt att bestämma, speciellt för bron. Eftersom nästan alla broar är unika på sitt sätt, det vill säga att nästan alla broar är plastgjuta med olika metoder och entreprenörer. Detta innebär också att broar är av olika kvalitet. Underhållet för ballastfritt spår har också varit svårt att bestämma. I Sverige finns det inte många ballastfria spår, de flesta är nyanlagda. Exempel på ballastfritt spår är citytunneln i Malmö. Denna anläggning är ganska ny och har inte genomfört något underhåll än. Detta är en anledning till att det har varit svårt att bestämma underhållsplan för ballastfritt spår.

En annan undersökning som också gjordes var om teoretiska investeringskostnader stämmer överens med verkliga priser. För grundläggningen stämmer kostnader från Vägverket inte med referensobjekt från verkliga projekt. Nästan alla teoretiska uppgifter var underdimensionerade jämfört med verkligheten. Anledningen till detta kan vara att uppgifter för teoretiska kostnader inte är uppdaterade.

För bron stämmer inte heller teorin med verkligheten. Den teoretiska kostnaden, som Trafikverket uppskattar, är mycket dyrare än referensobjektet från verkliga projekt. Ett skäl till detta kan vara att i den teoretiska kalkylen beräknas inte val av brotyp, spännvidder och brons dimension. Den teoretiska kalkylen är en väldigt grov uppskattningskalkyl.

För ballastspår på bank skiljer sig de teoretiska kostnaderna lite från kostnader från järnvägsingenjören Martin Jonasson på Atkins. Dessa kostnader inkluderar endast av komponenterna bank, ballast, sliper, befästningar och räler. Dock finns det inga uppgifter om vilken typ av sliper, räler och befästningar. Även bankhöjden är inte bestämd vilket är den del som skulle

kunna påverka kostnaden mest. Som slutsats för ballastspår på bank är både teoretiska och Martin Jonasson kostnader grovt räknade.

Den teoretiska kostnaden för ballastfritt spår stämmer inte heller överens med kostnader från Metron i Köpenhamn. Det ballastfria spåret på Metron i Köpenhamn är mycket dyrare än den teoretiska kostnaden. En orsak till detta kan vara att teoretiska kostnaden har använt andra källor. Det vill säga till exempel andra projekt från andra länder som har anlagt ballastfritt spår har haft en billigare kostnad än metron i Danmark.

Enligt uppgifter ur resultaten från rapporten är metod 2 inte lönsamt jämfört med metod 1. Även att underhållet av metod 2 är svår att bestämma så spelar det ingen roll om hur billigare den är så blir det ändå inte lönsamt. Investeringskostnaden för metod 2 är alldeles för hög. Kostnaden är så hög att det inte är lönsamt under 60 år. Även om underhållet av metod 2 hade varit 0 kr hade metod 1 varit mycket billigare än metod 2, då är kostnaden av investeringen och underhållet under 60 år inräknade.

## 8 Förslag till vidare studier

Ett förslag till vidare studier är att försöka förbättra kostnadsuppskattningen för metod 1 och 2. Detta kan göras med fler referensobjekt. I rapporten har få referensobjekt använts vilket inte ger lika bra resultat som om fler referensobjekt hade kunnat analyseras. Anledningen till att fler objekt inte tagits med är att det varit svårt att få tag på rätt uppgifter. Med mer tid hade ytterligare uppgifter kunnat samlas in från verkliga projekt.

Eftersom det varit svårt att få fram underhållskostnader och åtgärder för broar, hade det varit intressant att undersöka möjligheten att upprätta en generell underhållsplan för samtliga broar. Liknande finns för till exempel ballastspår där åtgärder och kostnader för dessa finns väl dokumenterade.

Underhåll för bankpålning och påldäck finns inte. Dessa metoder är en stor del av investeringskostnaden i ett projekt och borde vara mer prioriterade för underhåll. Dock finns ingen bra metod för att inspektera dessa idag. En vidare studie i hur underhåll och inspektion av bankpålning och påldäck ska göras hade varit intressant att utföra.

Är kostnaden för bro verkligen så mycket dyrare än bank? Har andra länder löst problemet med höga kostnader för broar? Finns det metoder som vi i Sverige inte känner till? Dessa frågor skulle kunna hjälpa utvecklingen av brobygge i Sverige.

Ballastfritt spår är ganska nytt i Sverige. Underhållskostnader finns inte lika väl dokumenterade som för ballastspår. Att upprätta en underhållsplan för ballastfritt spår hade hjälpt till vid framtida underhåll. En studie på hur andra länder, med mycket kunskap om ballastfritt spår, underhåller sina spår hade gett god förståelse för hur vi i Sverige ska underhålla våra spår.

För att utöka rapportens noggrannhet i resultatet kan en studie på tillgänglighet läggas till. Hur påverkar spåravstängningar kostnaden för underhåll? Blir ballastfritt spår billigare med tillgängligheten inräknat?

Hur lång tid tar metod 1 respektive metod 2 att utföra? Kan metod 2 bli lönsamt med tanke på mindre tidsåtgång vid byggnation? Även detta är en studie som kan ge en extra dimension till rapporten.

## 9 Referenser

**Banverket 1, 2007.** *Broprojektering*. [Online]

Available at:

[http://ida8iext.banverket.se/bvdok\\_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=757ce9cc-8028-48f8-bb71-2002dd86ee9c](http://ida8iext.banverket.se/bvdok_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=757ce9cc-8028-48f8-bb71-2002dd86ee9c)

[Använd 21 03 2013].

**Banverket 2, 1995.** *Skarvfritt spår, Regler för Byggande och Underhåll*.

[Online]

Available at:

[http://ida2004.banverket.se/bvdok\\_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=8da939ee-3695-4935-a5a4-e87fc17c50ac](http://ida2004.banverket.se/bvdok_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=8da939ee-3695-4935-a5a4-e87fc17c50ac)

[Använd 17 04 2013].

**Banverket 3, 2004.** *BVS 585.52 Makadamballast för järnväg*. [Online]

Available at:

[http://www.transportstyrelsen.se/Global/Jarnvag/TSD/Svenska/Open\\_points\\_2008-07-16\\_INF\\_report\\_including\\_attach.pdf](http://www.transportstyrelsen.se/Global/Jarnvag/TSD/Svenska/Open_points_2008-07-16_INF_report_including_attach.pdf)

[Använd 27 03 2013].

**Corshammar, P., 2005.** *Perfect Track, Din framgång i järnvägsunderhåll och driftsäkerhet*. Lund: Perfect Track.

**Dahlquist, H., 2011.** Framtidens broar formas i fabriken. *Ny teknik*, 02 08.

**Esveld, C., 2001.** *Modern Railway track Second Edition*. [Online]

Available at: [http://www.esveld.com/MRT\\_Selection.pdf](http://www.esveld.com/MRT_Selection.pdf)

[Använd 27 03 2013].

**Esveld, C., 2003.** *Recent developments in slab track*. [Online]

Available at: [http://www.esveld.com/Download/TUD/ERR\\_Slabtrack.pdf](http://www.esveld.com/Download/TUD/ERR_Slabtrack.pdf)

[Använd 27 03 2013].

**Esveld, C., 2006.** *Slab track design for high-speed*. [Online]

Available at:

[http://www.esveld.com/Download/TUD/Bilbao\\_Esveld\\_Markine.pdf](http://www.esveld.com/Download/TUD/Bilbao_Esveld_Markine.pdf)

[Använd 27 03 2013].

**Hercules , 2013.** *Bankpålning*. [Online]

Available at: <http://www.hercules.se/sv/Produkter--Tjanster/Palning/Bankpalning/>

[Använd 12 04 2013].



**Holm, G., Holmqvist, L. & Broms, B., 2005.** *Kalkcementpelare*, u.o.: SGF Jordförstärkningskommité.

**KTH Järnvägsgruppen, 2012.** *Nyhetsbrev nr 2/2012*. [Online]  
Available at: [http://www.kth.se/polopoly\\_fs/1.308636!/Menu/general/column-content/attachment/KTH%20J%C3%A4rnv%C3%A4gsgruppen%20nyhetsbrev%20nr%202%202012.pdf](http://www.kth.se/polopoly_fs/1.308636!/Menu/general/column-content/attachment/KTH%20J%C3%A4rnv%C3%A4gsgruppen%20nyhetsbrev%20nr%202%202012.pdf)  
[Använd 27 03 2013].

**Linea Information AB, 1997.** *BE VARE MIG VÄL, impregnering mot vatten och salt. Skydd mot klotter*. [Online]  
Available at: <http://webbutik.skl.se/bilder/artiklar/pdf/7099-637-7.pdf>  
[Använd 14 05 2013].

**m.dk, 2007.** *Historie - fra underskrift till färdig bane*. [Online]  
Available at: <http://www.m.dk/#!/om+metroen/facts+om+metroen/historie>  
[Använd 02 05 2013].

**Mellberg, A., 2009.** *Unikt spårbygge i Citytunneln*. [Online]  
Available at:  
<http://feed.ne.cision.com/wpyfs/00/00/00/00/00/0F/B3/84/wkr0011.pdf>  
[Använd 27 03 2013].

**Mellberg, A., 2011.** *Skiss på högdämpat ballastfritt spår*. [Online]  
Available at: <http://news.cision.com/se/citytunneln/r/unikt-sparbygge-i-citytunneln,c449794>  
[Använd 27 03 2013].

**NE, 2013.** *Plattbro*. [Online]  
[Använd 18 03 2013].

**Olsson, C. & Holm, G., 1993.** *Pålgrundläggning*. u.o.:Svensk Byggtjänst och Staten geotekniska institut.

**Portland Cement Association, 2000.** *Slab track for the next 100 years*. [Online]  
Available at:  
[http://www.arena.org/files/library/2000\\_Conference\\_Proceedings/00047.pdf](http://www.arena.org/files/library/2000_Conference_Proceedings/00047.pdf)  
[Använd 27 03 2013].

**Radishofski, A., 2013.** *What Is a Box Grinder Bridge?*. [Online]  
Available at: <http://www.wisegEEK.com/what-is-a-box-girder-bridge.htm>  
[Använd 25 04 2013].

**Ramböll, 2012.** *Ostkustbanan genom Oskarshamn, en del av Ostlänken.*

[Online]

Available at:

<http://www.oskarshamn.se/upload/SBK/Kart%20o%20plan/F%C3%96P%20Oskarshamns%20stad/Ostkustbanan%20genom%20Oskarshamn.pdf>

[Använd 27 03 2013].

**Region Skåne, 2009.** *Västkustbanan.* [Online]

Available at: <http://www.skane.se/sv/Skanes-utveckling/Ansvarsomraden/Infrastruktur/Vagar-och-jarnvagar/Vastkustbanan/>

[Använd 29 04 2013].

**SMHI, 2012.** *Indata för jordarter i VattenWebb.* [Online]

Available at: <http://www.smhi.se/Professionella-tjanster/Professionella-tjanster/Miljo-och-klimat/Vattenmiljo/indata-for-jordarter-i-vattenwebb-1.22851>

[Använd 03 04 2013].

**Sonneville AG, 2011.** *Low Vibration Track system. System Description.*

[Online]

Available at:

[http://www.sonneville.com/fileadmin/media/sonneville/downloads/System%20Odescription\\_Englisch\\_01.pdf](http://www.sonneville.com/fileadmin/media/sonneville/downloads/System%20Odescription_Englisch_01.pdf)

[Använd 27 03 2013].

**Statistiska Centralbyrån, 2013.** *Prisomräknaren - Räkna på inflationen.*

[Online]

Available at: <http://www.scb.se/Pages/PricesCrib.aspx?id=258649>

[Använd 03 04 2013].

**Sundquist, H., 2003.** *Byggande, Drift och Underhåll av Järnvägsbanor.*

*Utgåva 3.* Stockholm: Institutionen för byggkonstruktion KTH.

**Svensson, C., 2011.** *Kompendium i Teknisk Geologi.* Lund: Lunds Universitet.

**Takai, H., 2007.** *40 Years Experiences of the Slab Track on Japanese High Speed Lines.* [Online]

Available at:

[http://www.euskalyvasca.com/pdf/estudios/2007/01\\_enero/Jornadas\\_ETS\\_Takai\\_ing.pdf](http://www.euskalyvasca.com/pdf/estudios/2007/01_enero/Jornadas_ETS_Takai_ing.pdf)

[Använd 23 05 2013].

**Tigerstrand, J., 2010.** *Plattbro*. [Online]  
Available at: [https://batmanhandbok.vv.se/Wikisidor/Fördjupad\\_Beskr\\_FastaBroar.aspx](https://batmanhandbok.vv.se/Wikisidor/Fördjupad_Beskr_FastaBroar.aspx)  
[Använd 22 03 2013].

**Torstensson, L. & Lindholm, O., 1988.** *Ogräs och ogräsbekämpning*. [Online]  
Available at:  
[http://www.vaxteko.nu/html/sll/slu/ogras\\_ograsbek/OGO1998/OGO1988R.HTM](http://www.vaxteko.nu/html/sll/slu/ogras_ograsbek/OGO1998/OGO1988R.HTM)  
[Använd 08 04 2013].

**Trafikverket 10, 2012.** *Typsektioner för banan bilaga 8*. [Online]  
Available at:  
[http://ida8iext.banverket.se/bvdok\\_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=e100d48b-3af3-4ea4-9041-ed1b80526813](http://ida8iext.banverket.se/bvdok_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=e100d48b-3af3-4ea4-9041-ed1b80526813)  
[Använd 26 03 2013].

**Trafikverket 1, 1995.** *Allmän teknisk beskrivning Bankpålning*. [Online]  
Available at:  
[http://publikationswebbutik.vv.se/upload/5460/1994\\_68\\_atb\\_bankpalning.pdf](http://publikationswebbutik.vv.se/upload/5460/1994_68_atb_bankpalning.pdf)  
[Använd 19 03 2013].

**Trafikverket 2, 2011.** *Trafikverkets tekniska krav Bro 11*. [Online]  
Available at:  
[http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6500/2011\\_085\\_trvk\\_bro\\_11.pdf](http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6500/2011_085_trvk_bro_11.pdf)  
[Använd 19 03 2013].

**Trafikverket 3, 2011.** *TK Geo 11*. [Online]  
Available at:  
[http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6341/2011\\_047\\_tk\\_geo\\_11\\_2.pdf](http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6341/2011_047_tk_geo_11_2.pdf)  
[Använd 19 03 2013].

**Trafikverket 4, 2005.** *ATB VÄG 2005 kap E*. [Online]  
Available at:  
[http://www.trafikverket.se/PageFiles/29996/kapitel\\_e\\_obundna\\_material.pdf](http://www.trafikverket.se/PageFiles/29996/kapitel_e_obundna_material.pdf)  
[Använd 19 03 2013].

**Trafikverket 5, 2012.** *Typsektioner för banan bilaga 3.1*. [Online]  
Available at:  
[http://ida8iext.banverket.se/bvdok\\_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=e100d48b-3af3-4ea4-9041-ed1b80526813](http://ida8iext.banverket.se/bvdok_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=e100d48b-3af3-4ea4-9041-ed1b80526813)  
[Använd 03 04 2013].

**Trafikverket 6, 2012.** *Invigningen av dubbelspåret Ängelholm-Förslöv närmar sig.* [Online]

Available at:

<http://www.trafikverket.se/Pressrum/Pressmeddelanden1/Pressmeddelande1/Skane/2012/2012-05/Invigningen-av-dubbelspåret-Angelholm--Forslov-narmar-sig/>

[Använd 03 05 2013].

**Trafikverket 7, 2007.** *Förfrågningsunderlag VÄSTKUSTBANAN, Förslöv - Ängelholm,* Malmö: Trafikverket.

Trafikverket 8, 2012. *Trafikverkets tekniska råd Bro 11.* [Online]

Available at:

[http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6498/2011\\_086\\_trvr\\_bro\\_11.pdf](http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6498/2011_086_trvr_bro_11.pdf)

[Använd 10 04 2013].

**Trafikverket 9, 2012.** *Säkerhetsbesiktning av fasta järnvägsanläggningar.*

[Online]

Available at:

[http://ida2004.banverket.se/bvdok\\_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=770ce4d4-8e9a-4a37-85dd-f8aa205c1468](http://ida2004.banverket.se/bvdok_extern/ViewPdfDoc.aspx?docGUID=770ce4d4-8e9a-4a37-85dd-f8aa205c1468)

[Använd 17 04 2013].

**Vossloh, 2009.** *High Speed in Europe.* [Online]

Available at: <http://ict.uiuc.edu/railroad/CEE/pdf/PPT's/Spring09/Steidl%2027-09.pdf>

[Använd 27 03 2013].

**VTI, 2012.** *Terrasstabilisering Kunskapsdokument kap 2.8.3.* [Online]

Available at: <http://www.vti.se/en/publications/pdf/in-situ-stabilisation-of-sub-grade-material--knowledge-overview.pdf>

[Använd 21 03 2013].

**Vägverket 1, 1996.** *Broprojektering - En handbok.* Borlänge: Enheten för statlig väghållning.

**Vägverket 2, 2009.** *Arbetsplan E4 Sundsvall delen Myre-Stockvik.* [Online]

Available at:

[http://www.trafikverket.se/PageFiles/25112/myre\\_stockvik/arbetsplan\\_myre-stockvik.pdf](http://www.trafikverket.se/PageFiles/25112/myre_stockvik/arbetsplan_myre-stockvik.pdf)

[Använd 03 05 2013].

**Ängelholms Kommun, 2013.** *Broarna i Ängelholm, från hamnen till Höja.*

[Online]

Available at: <http://www.engelholm.se/Uppleva-gora/Bibliotek/Bibliotekets-tjanster/Slaktforskning/Angelholmsbygdens-historia/Artiklar/Gator-och-torg/Broar/>  
[Använd 29 04 2013].

**Öberg, U., 2011.** *Tvärbanan Solna - Dagsrapport.* [Online]  
Available at:  
<http://www.postvagnen.com/forum/index.php?mode=thread&id=528228>  
[Använd 20 05 2013].

## 9.1 Tabellförteckning

|  |    |
|--|----|
| Tabell 1 Teoretisk kostnad bankpålning .....                         | 38 |
| Tabell 2 Teoretisk kostnad Påldäck .....                             | 38 |
| Tabell 3 Teoretisk kostnad Järnvägsbro .....                         | 39 |
| Tabell 4 Teoretisk kostnad ballastspår .....                         | 39 |
| Tabell 5 Teoretisk kostnad Ballastfritt spår .....                   | 40 |
| Tabell 6 Beräkningar från referensobjekt för bankpålning .....       | 40 |
| Tabell 7 Beräkningar från referensobjekt för påldäck .....           | 41 |
| Tabell 8 Beräkningar från referensobjekt för bro .....               | 41 |
| Tabell 9 Beräkningar från referensobjekt för ballastspår.....        | 42 |
| Tabell 10 Beräkningar från referensobjekt för ballastfritt spår..... | 42 |
| Tabell 11 Underhållskostnader ballastspår .....                      | 43 |
| Tabell 12 Underhållskostnader ballastfritt spår .....                | 43 |
| Tabell 13 Teoretisk kostnad metod 1 .....                            | 44 |
| Tabell 14 Beräkningar från referensobjekt för metod 2.....           | 44 |
| Tabell 15 Teoretiska kostnader metod 2 .....                         | 45 |
| Tabell 16 kostnader från referensobjekt för metod 2 .....            | 45 |

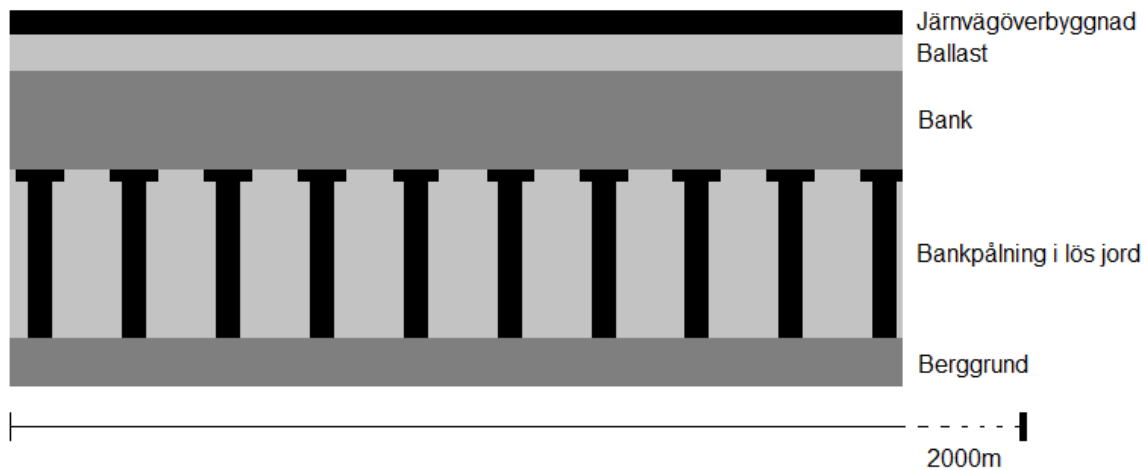
## 9.2 Figurförteckning

|  |    |
|--|----|
| Figur 1 Sverige jordklasser (SMHI, 2012) .....                               | 6  |
| Figur 2 Pålkran som utför slagning(Olsson & Holm, 1993) .....                | 7  |
| Figur 3: KC-pelare, metodskiss (Holm, et al., 2005).....                     | 9  |
| Figur 4 Bankpålning, metodskiss (Trafikverket 1, 1995).....                  | 10 |
| Figur 5 Påldäck skiss.....   | 10 |
| Figur 6 Diagram för bankpålning, kostnad (Vägverket 1, 1996) .....           | 12 |
| Figur 7 Plattäckningsgrad .....  | 13 |
| Figur 8 Diagram för påldäck, kostnad (Vägverket 1, 1996).....                | 14 |
| Figur 9 Dilatationsskarv (Öberg, 2011) .....                                 | 22 |
| Figur 10 Exempel på balkbro (Banverket 1, 2007) .....                        | 23 |
| Figur 11 Plattbro (Tigerstrand, 2010).....                                   | 24 |
| Figur 12 Lådbalkbro för dubbelspår, (Banverket 1, 2007).....                 | 25 |
| Figur 13 Principskiss ballastspår, översatt till svenska (Esveld, 2003)..... | 29 |
| Figur 14 Ballastfritt spår Shinkansen, Japan (Esveld, 2003).....             | 31 |
| Figur 15 Ballastfritt spår i Citytunneln, Malmö (Mellberg, 2011) .....       | 31 |

## 9.3 Bilagor

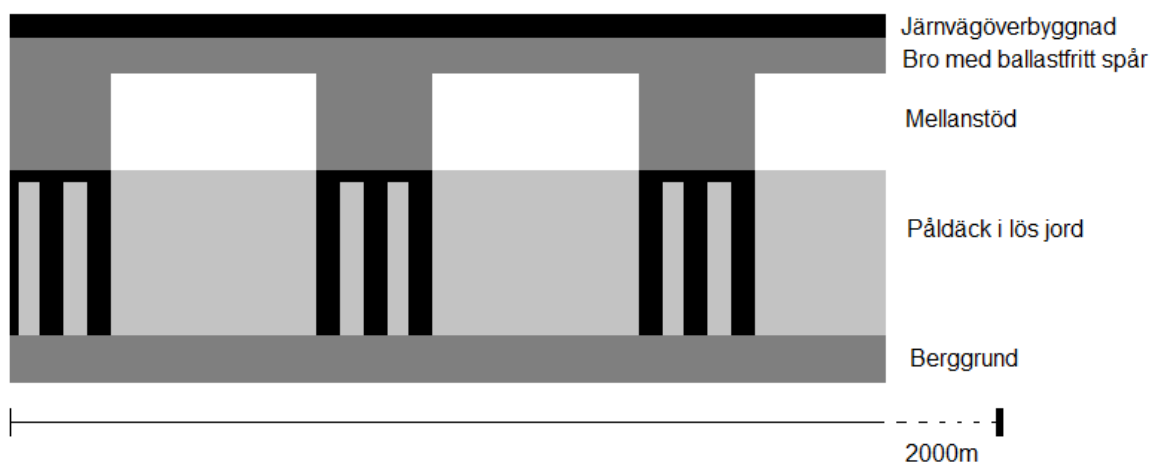
### 9.3.1 Bilaga 1

Metod 1, sett från sidan.



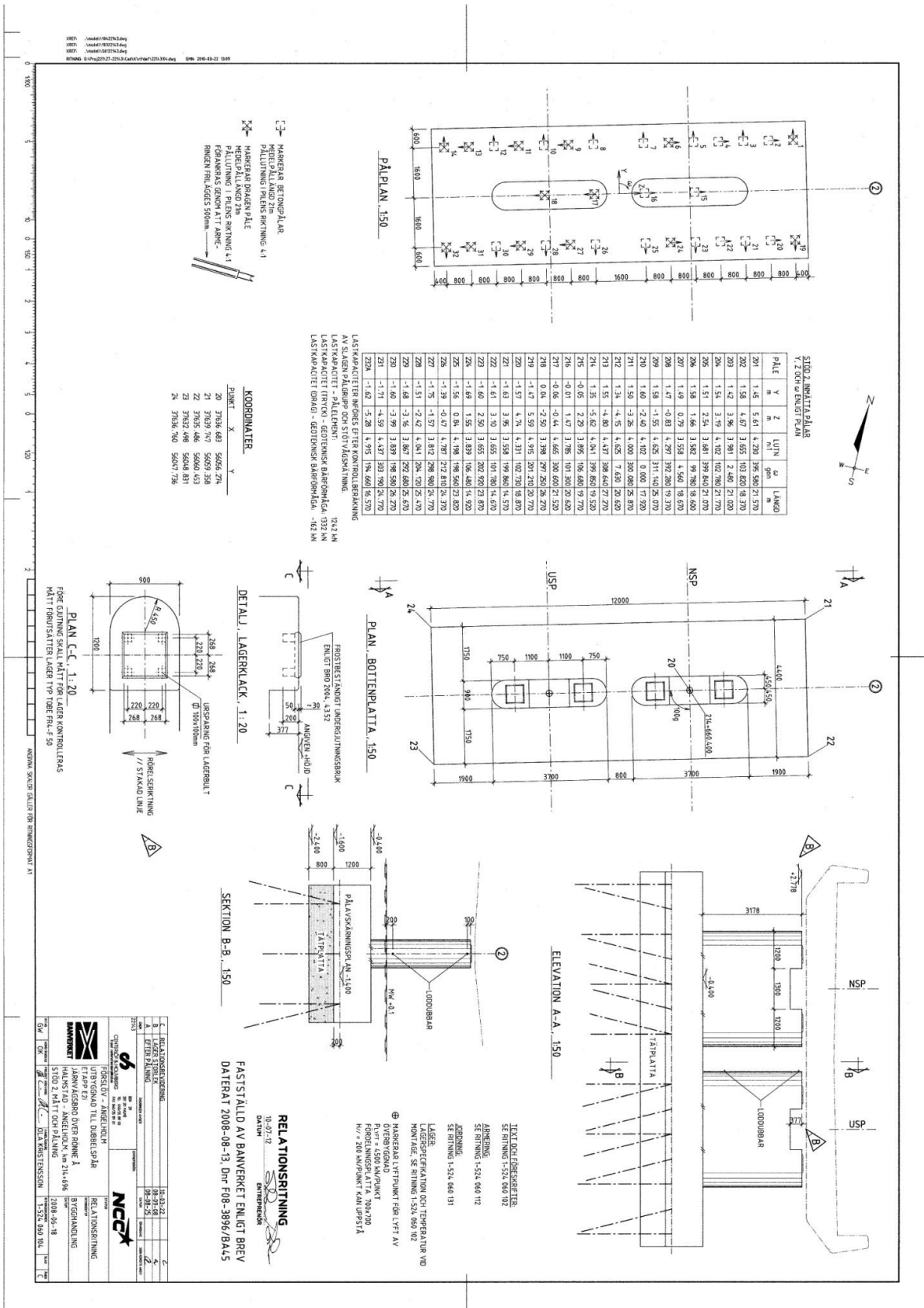
### 9.3.2 Bilaga 2

Metod 2, sett från sidan









9.3.4 Bilaga 4  
Trafikverkets relationsritning Stöd 2, Järnvägsbro över Rönne Å

### 9.3.5 Bilaga 5

#### Utdrag från BaTMan, underhållsätgärder och kostnader för plattbro

|                                   |                              |      |                        |                       |  |           |              |                                   |       |  |
|-----------------------------------|------------------------------|------|------------------------|-----------------------|--|-----------|--------------|-----------------------------------|-------|--|
| Utdrag för plattbroar från BaTMan |                              |      |                        |                       |  |           |              |                                   |       |  |
| Utbyte av kantbalk och räcke      |                              |      |                        |                       |  |           |              |                                   |       |  |
| 40-3951-1                         | Bro över V Orlundån vidKulla | 2007 | Plattbro fritt upplagd | Avhjälpande underhåll |  | 45 390 Kr |              |                                   |       |  |
| 40-3951-1                         | Bro över V Orlundån vidKulla | 2007 | Plattbro fritt upplagd | enl beskrivning       |  |           | Räcke        | Utbyte                            | 26 m  |  |
| <i>Kostnad, kr/m</i>              |                              |      |                        |                       |  |           |              |                                   |       |  |
| <i>1 746 kr</i>                   |                              |      |                        |                       |  |           |              |                                   |       |  |
| Större betongreparationer         |                              |      |                        |                       |  |           |              |                                   |       |  |
| 13-1106-1                         | Bro över Tranestockån, S Näs | 2009 | Plattbro fritt upplagd | Avhjälpande underhåll |  | 38 000 Kr |              |                                   |       |  |
| 13-1106-1                         | Bro över Tranestockån, S Näs | 2009 | Plattbro fritt upplagd | enl beskrivning       |  |           | Bottenplatta | Betongreparation >110 mm i vatten | 10 m3 |  |
| <i>Kostnad, kr/m3</i>             |                              |      |                        |                       |  |           |              |                                   |       |  |
| <i>3 800 kr</i>                   |                              |      |                        |                       |  |           |              |                                   |       |  |