

# Effektiv brobyggnad genom prefabricering – en fallstudie



**Björn Johansson**  
**Sayle Shamun**

---

Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet, 2012

Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Box 118  
221 00 LUND

Department of Structural Engineering  
Lund Institute of Technology  
Box 118  
S-221 00 LUND  
Sweden

## **Effektiv brobyggnad genom prefabricering – en fallstudie**

Effective bridge building by prefabrication – a case study

Björn Johansson & Sayle Shamun

2012

Rapport TVBK-5206  
ISSN 0349-4969  
ISRN: LUTVDG/TVBK-12/5206+59p  
Examensarbete  
Handledare: Robert Larsson & Miklos Molnar  
Maj 2012

## **Förord**

Detta examensarbete har utförts på civilingenjörsutbildningen inom Väg – och vattenbyggnadsprogrammet vid Lunds tekniska högskola. Arbetet har skrivits i samarbete med avdelningen för konstruktionsteknik vid LTH.

Vi vill tacka våra handledare Robert Larsson, Cementa, och Miklós Molnár, LTH, för vägledning och stöd under examensarbetet. Vi vill också rikta ett stort tack till Mikael Hårskog, Trafikverket, Calle Hägglund, Skandinaviska Byggelement, Thomas Kamrad, Centerlöf & Holmberg, Lars-Olof Nilsson, Trafikverket och Jan Olausen, PEAB, som ställt upp på intervjuer och gjort detta arbete möjligt.

Slutligen vill vi även tacka familj och vänner för stöd under vår utbildning.

Lund, mars 2012

Björn Johansson & Sayle Shamun

## **Sammanfattning**

Att bygga betongbroar med inslag av prefabricering i Sverige är idag relativt ovanligt. Man vill gärna undvika obeprövade metoder för att hålla riskerna i projekten så låga som möjligt. Samtidigt har det prefabricerade byggandets potential att öka effektiviteten och därav också lönsamheten lett till att en del prefabricerade broar byggts. På senare tid har Trafikverket, den enskilt största beställaren av jobb inom brobranschen, genomfört en förändring där ett större antal av jobben går ut som totalentreprenader. Dessutom har de släppt på gestaltningskraven och uppmuntrar till innovation hos entreprenörerna. Dessa initiativ är något som ökar möjligheterna att bygga broar med inslag av prefab.

2011 byggde PEAB en helt ny typ av prefabricerad platttrambro i betong utanför Tenhult i Jönköpings län. Projektet var en del av ett större projekt som innefattade en omläggning av riksväg 31. Upphandlingsformen var totalentreprenad, där beställaren var Trafikverket. Förslaget till den prefabricerade bron utformning arbetades fram av PEAB tillsammans med Skandinaviska Byggelement. Förslaget var att man skulle tillverka en form av skalväggselement som skulle monteras och därefter gjutas ihop. I Skandinaviska Byggelements fabrik i Bjästa tillverkades samtliga 12 vingmurselement, 6 rambenselement och 3 plattbärlagselement.

Syftet med detta examensarbete är att identifiera de faktorer som är viktiga att ta i beaktning då man bygger broar med inslag av prefabricering. Syftet är också att ta fram förslag på hur arbetet kan effektiviseras och utvecklas.

I rapporten redovisas en översiktlig beskrivning och kartläggning av brobyggnadsprocessen. Dessutom presenteras en mer ingående beskrivning och kartläggning av aktiviteter vid själva monteringen av elementen. Resultaten bygger på ett antal intervjuer med personer som har arbetat i projektet, samt tillgängliga projektdokument som ritningar och mötesprotokoll. Monteringen av elementen dokumenterades även med en videokamera, vars färdigklippta version varit oss tillgängliga.

Resultaten visar på att det är av stor vikt att ha en god kommunikation och ett gott samarbete mellan de inblandade parterna för att projektet ska lyckas. Beställaren måste också göra det möjligt för entreprenören att genomföra en prefabricerad bro genom att inte låsa frihetsgrader i förfrågningsunderlaget som utesluter en prefablösning. Vidare visar resultaten att en del av de faktorer som är viktiga att ta i beaktning då man överväger att bygga en prefabbro är: betydelsen av byggtiden, platsen där bron ska uppföras, både med avseende på omgivande miljö samt avstånd till fabrik samt bronns geometri och utformning.

## **Abstract**

To build prefabricated concrete bridges in Sweden is a relatively uncommon method of building. As a contractor you want to keep the risks at a minimum by avoiding completely new methods of building. But the possibility of increased efficiency and hence increased profitability has led to a few prefabricated concrete bridges. The largest client of bridge construction projects in Sweden, Trafikverket, has recently decided to use turnkey contracts as the main way of contracting and to no longer specify the design of the bridge. They only specify the basic features, such as width and length. This type of initiative is something that greatly increases the possibility to build prefabricated concrete bridges.

In 2011, PEAB built a completely new type of prefabricated bridge outside Tenhult in Jönköping. The project was a part of a larger project which included several other bridges and 7.1 km new roadway. The purpose was to reduce the traffic flow in Tenhult centrum. Trafikverket was the client and the contract was a turnkey contract. PEAB and Skandinaviska Byggelement were in charge of the design. Initially they wanted to prefabricate a type of double wall elements, that later would be cast together with the foundation. All of the 21 concrete elements were manufactured in Skandinaviska Byggelements factory in Bjästa.

The main purpose of this thesis is to identify the factors which should be taken in consideration when building prefabricated concrete bridges. Another purpose is to compile suggestions on how to increase the efficiency and further develop the work of constructing prefabricated bridges.

In this thesis a panoramic description and mapping of the bridge construction process is presented. Further a more detailed description and mapping of the activities during the assembly of the elements is presented. The results are based on a number of interviews with relevant persons as well as available documentation of the project. The assembly was documented with a video camera and the edited version has been analysed.

The results indicate that good communication and ability to work together is vital for the projects success. The client must give the contractor certain degrees of freedom to allow prefabrication in the initial stages of the process. The results also point out a number of factors that are important to consider when prefabrication is used. These factors are: the importance of the building time, the environment around the bridge, the distance to the factory where the elements are manufactured and the geometry and general design of the bridge.

## **Innehållsförteckning**

<b>1 Inledning</b> .....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Syfte .....	1
1.3 Målsättning .....	2
1.4 Metod .....	2
1.5 Avgränsningar .....	3
<b>2 Prefabricerad brobyggnad</b> .....	5
2.1 Traditionell brobyggnad .....	5
2.2 Prefabricerade betongbroar .....	7
2.3 Tekniker som används idag .....	9
2.3.1 NCC .....	9
2.3.2 ABC-tekniken .....	12
<b>3 Beskrivning av studerat projekt</b> .....	17
3.1 Allmänt om projektet .....	17
3.2 Beskrivning av produktionsmetod för bro 6-1217-1 .....	19
3.2.1 Produktionsmetod för de prefabricerade elementen .....	19
3.2.2 Montering .....	20
3.2.3 Erfarenheter från tillverkning och arbetsplats .....	20
<b>4 Resultat</b> .....	23
4.1 Processkartläggning .....	23
4.2 Beskrivning av brobyggnad med inslag av prefabricering .....	23
4.2.1 Beställarens roll .....	23
4.2.2 Entreprenörens roll .....	25
4.2.3 Konstruktörens roll .....	27
4.2.4 Elementtillverkarens roll .....	28
4.3 Beskrivning av monteringsförloppet .....	29
<b>5 Analys och diskussion</b> .....	39
<b>6 Slutsatser</b> .....	43
<b>7 Referenser</b> .....	45
<b>Bilaga A: PROCESSKARTA</b> .....	49
<b>Bilaga B: FLÖDESSCHEMA</b> .....	53
<b>Bilaga C: INTERVJUFRÅGOR</b> .....	55

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

I byggbranschen, liksom många andra branscher, pågår ett ständigt arbete för att öka effektiviteten. Begreppet effektivitet anges ofta tillsammans med produktivitet och är ett mått på hur bra en organisation är på att omvandla resurser till tjänster och produkter (Helland & Österberg, 2012). En milstolpe i arbetet för att öka effektiviseringen inom byggbranschen i Sverige kom under 1920-talet, då ett antal sågverk i större skala började tillverka element för småhusbyggande. Strax innan andra världskriget, 1938, introducerades förspänd betong för den svenska byggnäringen och de första prefabricerade betongelementen började tillverkas. Dessa användes främst för skyddsrum (Strängbetong, 2012).

Idag är prefabricerade stomelement av betong ett vanligt inslag i bostadshus och industrilokaler. Den ökade användningen beror delvis till stor del på en hög effektivitet i byggandet, något som prefabricerade element möjliggör. Inom infrastrukturen, närmare bestämt brobyggnad, har prefabriceringen av betongelement inte slagit igenom fullt lika stort som för bostadsbyggande. Detta fenomen beror troligtvis på att två broar sällan ser likadana ut. Standardisering, som är kärnan i prefabricerat byggande, anses vara svårare att uppnå inom brobyggnad. Incitamenten och viljan finns dock där. En rad stora byggtreprenörer både i och utanför Sverige utvecklar egna metoder och brotyper för att kunna åstadkomma effektiviseringar med hjälp av prefabricering.

Utanför Tenhult färdigställdes 2011 på uppdrag av Trafikverket en typ av prefabricerad bro. Uppdraget utfördes av PEAB med hjälp av Skandinaviska Byggelement som leverantörer och Centerlöf & Holmberg som konstruktörer. Bron är en plattrambro i betong och utgörs av både prefabricerade betongelement och platsgjuten betong. Bron var den första i sitt slag i Sverige.

För betongindustrin är det viktigt att sträva efter att utveckla byggmetoder som bidrar till en effektivare byggprocess, inte minst inom byggandet av betongbroar. Mot denna bakgrund ser Cementa AB tillsammans med Skandinaviska Byggelement ett stort värde av att kartlägga och analysera den relativt unga marknaden för prefabricerat brobyggnad.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att kartlägga och analysera de processer som ingår i prefabricerat brobyggnad. Syftet är också att utvärdera resultaten och föreslå åtgärder och tillvägagångssätt som kan tänkas bidra till en effektivare brobyggnad.

**Frågeställningar som berörs i rapporten är följande:**

- Vilka metoder för prefabricerad brobyggnad finns idag?
- Hur ser uppförandefasen ut för en prefabricerad plattrambro i betong?
- Vilka faktorer bör vägas in då man överväger att bygga broar med hjälp av prefabricering?
- Hur kan man effektivisera och förbättra/förenkla processen vid prefabricerat brobyggnad?



## **1.3 Målsättning**

**Vår målsättning är att:**

- Beskriva processer för prefabricerade plattrambroar i betong med processkartor och beskrivningar av ingående aktiviteter.
- Analysera och föreslå åtgärder för hur delprocesser kan förbättras och bidra till en ökad effektivitet.

## **1.4 Metod**

Arbetet med att ta fram denna rapport har inletts med diverse litteraturstudier inom ämnena prefabricering av betongelement och brobyggnadsteknik. Dessutom har en fallstudie gjorts på ett utvalt objekt. Data i form av projektdokumentation, ritningar och artiklar har lästs och granskats. Montering av elementen dokumenterades med filmkamera. Filmen har efter färdigställande granskats av oss och har givit värdefull input av hur monteringen gått till. Utöver detta har det utförts platsbesök och intervjuer med aktörer som på olika sätt varit inblandade i det projekt som fallstudien avser. Samtliga intervjuer och platsbesök ägde rum i november 2011. Rapporten skrevs mellan januari och maj 2012.

**Arbetet har varit uppdelat enligt följande delmoment:**

### **1. Genomförandeplan**

I samråd med handledare skapades en genomförandeplan för hur examenarbetet skulle genomföras. Objekt för fallstudie beslutades. Personer som varit inblandade i projektet letades upp och kontaktades angående intervjuer.

### **2. Litteraturstudier**

Största delen av litteraturstudierna utfördes i den tidigare delen av arbetet, men har även fortgått fram till rapportens färdigställande. Ämnen som studerats är brobyggnadsteknik för plattrambroar, processer inom prefabriceringsindustrin och diverse rapporter om slöseri och lean thinking.

### **3. Planering av intervjuer**

En lista över intervjukandidater sammanställdes. Kandidaterna kontaktades och datum för intervjuer bokades. Resor bokades till fabriken där elementen tillverkades och till platsen där bron uppfördes. En unik intervjumall för varje person som skulle intervjuas skapades. Intervjumallen granskades av handledare och reviderades.

### **4. Intervjuer och platsbesök**

Under loppet av ca 4 veckor genomfördes alla intervjuer och platsbesök. I Bjästa besöktes fabriken där elementen tillverkades samtidigt som teknikansvarig för elementtillverkningen intervjuades. I Jönköping intervjuades en person som stod för tekniskt stöd hos beställaren, samt en projektledare hos beställaren. Samtidigt gjordes också ett besök till bron. I Lysekil intervjuades platschefen för bro och i Lund intervjuades konstruktören. När intervjuerna var klara transkriberades dessa i ett dokument.

### **5. Analys av resultaten**

Resultaten av insamlade data analyserades. Processkartor och beskrivningar av aktuella aktiviteter togs fram.

## 6. Slutsatser och rapportskrivning

Det sista som gjordes var att formulera slutsatser baserade på resultat från insamlade data och sammanställa allt i denna rapport.

### **1.5 Avgränsningar**

Arbetet har avgränsats till att endast avse prefabricering av brodelar i betong. Eftersom prefabricerade betongbroar är vanligast i mindre spann, samt att bron för fallstudien var en plattrambro avgränsades också arbetet till att endast avse plattrambroar. Kartläggningen av processer sker fram till att produkten överlämnas till beställaren. Underhåll och drift behandlas därav inte lika ingående som själva produktionen.



## 2 Prefabricerad brobyggnad

### 2.1 Traditionell brobyggnad

Det traditionella sättet att bygga betongbroar på i Sverige är att gjuta dem på plats. Uppförandet sker vanligtvis i följande ordning: grundläggning, ställningsbyggande, formsättning, armering, gjutning, form-och ställningsrivning, täckskikt och tilläggsmontering (Ehlorsson & Palmqvist, 2010).

#### **Grundläggning:**

Efter tillhandahållna resultat från den geotekniska utredningen bestäms lämpligt grundläggningssätt. Det är viktigt att ta hänsyn till typ av bro och anslutande väg för att få en säker konstruktion med så god funktion som möjligt.

De olika grundläggningssätten beror på olika faktorer som till exempel: grundförhållanden, brotyp och arbetsutförande. Ett av de sätt som förekommer för att grundlägga är *platta på berg*. Eftersom berg är hårt blir den dimensionerande bärförmågan stor, vilket i sin tur tillåter en mindre betongplatta. Denna metod, även kallad berggrundläggning, innebär egentligen att brostödet spänns in mycket styvt. *Platta på jord* är ett annat sätt att grundlägga en bro. Denna metod, precis som namnet antyder, innebär att en platta gjuts på ett jordlager. Om grunden består av måttlig eller mycket tjälfarlig jord, måste plattans underkant läggas på en tjälsäker nivå enligt de geotekniska föreskrifterna. Då jordlager som leror och silt överlagrar bra material för grundläggning med måttlig djup är det ekonomiskt att ersätta dessa med bättre material som exempelvis packad grus. *Pålade stöd* är ytterligare en grundläggningsmetod där slagna betongpålar är vanligast. Dock är grundläggning med pålar relativt dyrt.

I handboken *Plattgrundläggning* framgår krav och allmänna föreskrifter för de olika grundläggningssätten (Trafikverket, 2012).

#### **Ställning:**

Vid byggandet av en platsgjuten betongbro enligt den traditionella metoden är det nödvändigt att bygga formar där betongen tillåts att stelna. Dessa formar klarar dock inte av att bära den tunga, armerade betongen på egen hand utan behöver stöd av *formställningar*. Formställningarna är temporära och fungerar alltså som stöd för exempelvis nygjuten betong i form, som inte kan bära sin egen vikt i början. Beroende på vilken typ av bro, vilken geometri den har och var den byggs kan olika typer av formställningar användas (Davidsson & Furuholm, 2009).

I Sverige är den vanligaste typen av formställning, vid bygge av broar med kortare spann och lägre höjd, modulställningen. Den består av korsvis sammankopplade spiror, horisontaler och diagonaler. Modulställningens syfte är att föra ner krafter från gjutform till marken. Denna typ av ställning möjliggör arbete på flera brospann samtidigt, vilket i sin tur påskyndar byggtiden (Davidsson & Furuholm, 2009).

#### **Form – och formrivning:**

Huvudsyftet med att bygga och använda form vid byggnation av betongbroar är att ge betongen den form som sökes och att uppnå de krav som ställs på betongytan för att den ska hålla. Det finns två olika typer av formar: *bärande formar* och *stödjande formar* (ställningar). De tekniska krav som ställs på en form är att formen ska vara dimensionerad för att klara av de krafter som uppkommer vid gjutning av betongen, den måste vara tät samt vara lätt att riva (Davidsson & Furuholm, 2009). Rent generellt ligger kostnaderna för de temporära

konstruktionsdelarna kring 30 % av den totala kostnaden (Sundquist, 2009). Vid en tid- och kostnadsuppföljning av 10 redan byggda broar visade resultaten på att formbyggnad och formrivning står för lika många mantimmar som gjutning och armering tillsammans (Simonsson & Emborg, 2009).

Bärande formar består bland annat av formyta, regler och stämpar. Stämparna dimensioneras efter hur stor risk det finns för knäckning och har till uppgift att leda lasterna till marken. Huvuduppgiften för stödjande formar är att ta upp horisontella laster samt det hydrostatiska tryck som verkar innan betongen har härdat. När formarna är höga blir risken för vertikaltryck möjlig, som i sin tur kan leda till att formen lyfts.

Under kallare perioder och vintertider ställs det högre krav på gjutningen. Då kan en isolerad form användas för att säkerställa att betongen inte fryser under härdningsförloppet.

De vanligaste formtyperna är: *träform*, *storform* och *permanent form*. Eftersom träformar är relativt enkla att riva ner eller ta isär efter att betongen härdat är dessa de vanligaste i Sverige idag. Nackdelarna med användning av träformar är att användningstiden är begränsad. Formar förstörs vanligtvis redan efter första gjutningen eftersom identiska broar sällan byggs. För de fall där återanvändning är möjlig anses träformar obrukliga efter att de används runt 10-15 gånger. Storform består av en ram av stål eller aluminium, där dess gjutyta är beklädd med träskivor. Denna metod är därför dyrare och medför att de måste användas många fler gånger än träformar. Denna metod anses inte vara lönsam vid brobyggnad. Permanent form används vid broar över vatten eller med hög trafik. Dessa tas inte isär efter att betongen härdat och lämnas kvar som en del av brokonstruktionen (Davidsson & Furuholm, 2009).

### **Armering:**

Efter eller i samband med att ställningarna och formarna är ihopmonterade installeras erforderlig mängd armering. Armeringsmängden och dess dimensioner avgörs av faktorer som till exempel brotyp, brolängd, spännvidd och andra rådande förhållanden. Beroende på vilken del som ska armeras kan iläggingsfärdig armering eller rakstål användas. Ibland används även rullarmering för att armera delar av broar, men iläggingsfärdig armering är den vanligast förekommande armeringsmetoden vid brobyggnad (Caster & Deuschl, 2007).

### **Gjutning:**

Förloppet då cement reagerar med vatten är en så kallad exoterm reaktion. I praktiken innebär det att temperaturen i betongen ökar under härdningsförloppet. Innan betongen härdat bildas det ett hydrostatiskt tryck mot formen. Detta tryck övergår sedan till ett konstant formtryck eftersom betongen härdar. Man måste även se till att betongen pumpas ut på rätt sätt, alltså att pumpa ut betongen så jämt som möjligt över brokonstruktionen. I vissa fall är detta inte möjligt och hänsyn måste då tas redan vid uppförandet av broställningen. Hastigheten på pumpningen av betongen spelar också roll. Om betongen pumpas ut för fort och stöter kraftigt mot formen, kan det leda till formras. Vibrering av betongen är ett annat fenomen som kan leda till formras (Vägverket, 1996). Genom att använda så kallad vibreringsfri betong kan man undgå en potentiell rasrisk. Betongkvaliteten hos vibreringsfri betong har ökat i snabb takt de senaste åren (Simonsson & Emborg, 2009). Robustheten hos den färdiga konstruktionen är idag tillräckligt god för att användande av vibreringsfri betong bör beaktas vid val av betong.

De krav som ställs på betongen vid brobyggnad är att betongen ska vara frostbeständig, cementet ska vara av typen CEM I (Portlandcement) med tilläggskraven: begränsad värmeutveckling, sulfatresistent och lågalkaliskt (Fagerlund, 2008). Provtagning sker tidigast

7 dygn efter gjutning och antalet prov är minst ett varannan gjutetapp och minst 5 stycken för varje bro och betongsammansättning.

### **Brodetaljer –isolering, beläggning och avvattning**

Efter att betongen är på plats och formarna är borttagna är det dags för detaljer som *isolering* och *beläggning*. Dessutom är *avvattning* en viktig del att ta hänsyn till. Vatten och klorider har en negativ påverkan på armeringen i betongen, därför är det viktigt att isolera och belägga vägbanan längs bron. Trafiken är en annan faktor som bidrar till slitage av vägbanan.

På brobaneplattor av betong ställs det krav på isoleringen. De förekommer i tre olika former, bestående av två olika komponenter. Dessa är placerade antingen i ett eller flera lager och består av *asfaltmastix*, *isoleringsmatta* eller en kombination av båda.

Om det inte förekommer tölsalter och brobaneplattan är av betong kan undantag göras från de krav som ställs på isoleringen. Då använder man direktgjuten slitbetong på broplattan. Det finns olika typer av beläggningar, från isolering till slitlager, där dessa är delade i olika kvalitetsklasser och slitstyrka beroende på livslängdsklassen och trafikmängden.

Avvattning av isoleringen och beläggning är väldigt nödvändig, inte enbart för beständigheten av bron utan också för trafiksäkerheten. Det finns olika avlopp som har olika funktioner: ytavlopp och grundavlopp. Ytavlopp tar bort vatten från slitlagret och grundavlopp dränerar vatten från isoleringen (Vägverket, 1996).

## **2.2 Prefabricerade betongbroar**

### **Historia:**

De första prefabricerade betongbroarna byggdes redan på 1930-talet där en del av dessa står kvar och brukas än idag. Under 50- och 60-talet skedde en kraftig ökning av biltrafiken i de mest utvecklade länderna varpå byggandet av nya broar blev en nödvändighet. Under samma tidsperiod gjordes stora framsteg i spännarmeringstekniken, vilket innebar möjligheter till slankare och längre betongkonstruktioner. Följden av detta blev att prefabricerade broar började byggas mer frekvent.

I början var det vanligt med balkbroar av olika slag med platsgjuten brobana. Senare började man använda lådbalksbroar som byggdes upp av en stor balk eller flera mindre. En typ av lådbalksbro som utvecklades är *segmentbro*, där hela segment av balkbro och däck monteras ihop, se figur 1 nedan.



Figur 1: Segmentbro (Eriksson & Jakobson, 2009).

I bland annat Spanien och Nederländerna har det under de senaste 15 åren utvecklats olika metoder för att bygga svängda prefabricerade betongbroar, där man tillverkat lådbalkar med en krökningsradie på så lite som 120 meter (Eriksson & Jakobson, 2009).

1966 utvecklades ett system i Belgien, mellan prefabriceringsindustrin och myndigheterna, som baserade sig på förspända prefabricerade betongbalkar. Därefter tog myndigheterna över ansvaret för att bygga alla nya prefabricerade broar (Eriksson & Jakobson, 2009).

**Idag:**

I Sverige är det fortfarande relativt ovanligt med prefabricerade betongbroar. Utvecklingen inom området har inte kommit lika långt som det har gjort i andra länder som till exempel Nederländerna, Belgien, Italien, Spanien, Storbritannien och USA. I dessa länder är det vanligt att bygga broar med inslag av prefabelement. Gemensamt för dessa länder är också att detta sker genom ett samarbete mellan myndigheter och prefabriceringsindustrin. I Sverige är det vanligt att beställaren i stor utsträckning bestämmer gestaltning av bron, medan det i andra länder många gånger är elementtillverkaren som har den rollen. På så sätt har tillverkaren lättare kunnat bevisa för beställaren vad som kan göras, som i sin tur leder till snabbare utveckling (Eriksson & Jakobson, 2009).

**Forskning inom området:**

Den hårda konkurrensen inom prefabricerad brobyggnad har i Spanien bidragit till en snabb utveckling inom prefabriceringsindustrin. Till exempel har lådbalkssystem med spann upp till 90 meter uppförts. För snedkabelbroar har man utvecklat och uppfört spann på 260 meter.

**Fördelar:**

Fördelarna med att bygga broar i prefabricerad betong är att ställningar och formar inte är nödvändiga (Glans & Ronnebrant, 1996). Dessutom blir byggtiden kortare och avstängning av vägar minimeras, något som leder till mindre störningar i trafiken samt minskad risk för olyckor (Abetong, 2012). Dock måste en av ovan nämnda punkter vara avgörande för att det ska vara ekonomiskt lönsamt med en prefabblösning (Vägverket, 1996).

**2.3 Tekniker som används idag**

NCC är en av de entreprenörer på svenska marknaden som har utvecklat standardiserade metoder för byggnation av broar med prefabricerade element. En del av dessa metoder är välbeprövade och utgör idag en liten men betydande del av NCC:s brobyggande. I USA har en metod kallad ABC-metoden arbetats fram genom en gemensam satsning av broindustrin och den amerikanska motsvarigheten till vägverket, *American Association of State Highway and Transportation Officials*.

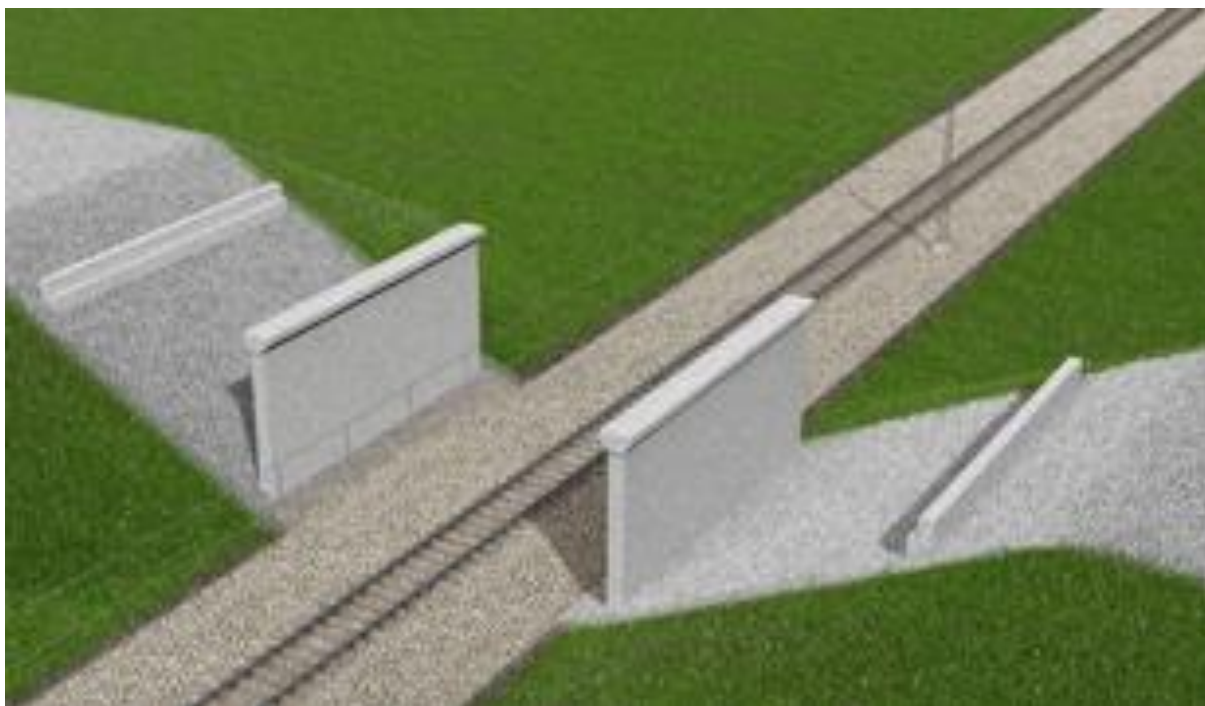
**2.3.1 NCC**

NCC:s standardmetod för att bygga broar med prefabricerade betongelement heter *NCC Montagebro*. Denna metod har utvecklats under 30 år och är idag en snabb metod som används över väg, järnväg och vattendrag, alltså i alla planskilda korsningar. Störningarna på kringgående trafik och områden är minimala på grund av den etablerade och industrialiserade processen. Dessutom är byggtiden minimal med en förenklad granskningsprocess. Detta bidrar i sin tur till bättre ekonomi.

**Byggordning:**

De delar av bron som är platsgjutna är brostöden med förtillverkade armeringskorgar och ändskärmar. Efter att brostöden är gjutna monteras och undergjuts gummilagren. Temporära upplagsanordningar monteras på stöden innan man lyfter på kantbalkarna (NCC, 2012). Se figur 2 nedan.





Figur 2: Platsgjutna brostöd och ändskärmar (NCC, 2012).

De prefabricerade kantbalkarna är förberedda för montage av belysningsstolpar. Räckena och skyddsplåtar är placerade på balkarna i förväg. Med hjälp av en kran lyfts och förankras balkarna i upplagsanordningarna. Formplattorna monteras på med fogmassa i en sträng. Den sammanlagda tiden för montage av balkar och formplattor per fack ligger mellan 6-10 timmar och beror på spännvidden. Detta innebär att undergående bil- eller tågtrafik inte störs av fortsatt arbete utan fortskrider som vanligt. Det fortsatta arbetet är säkert eftersom räckena och skyddsplåtar redan är på plats (NCC, 2012). Se figur 3 nedan.



Figur 3: Prefabricerade betongbalkar (NCC, 2012).

Sedan gjuter man tvärbalkar, ändskärmar, vingar och brobana i en etapp. Därefter sammanfogar man de prefabricerade balkarna och på så sätt får man en kontinuerlig konstruktion (NCC, 2012). Se figur 4 nedan.



Figur 4: Gjutning av balkar, ändskärmar, vingar och brobana (NCC, 2012).

Slitlager görs av antingen betong, gjutasfalt eller asfaltsmassa. Därefter målas vägmarkering på och övrig utrustning monteras (NCC, 2012). Se figur 5 nedan.



Figur 5: Färdig brokonstruktion (NCC, 2012).

### **2.3.2 ABC-tekniken**

Accelerated Bridge Construction, ABC, är en metod som används i USA vid byggnation av broar. I ABC inkluderas både förbättring och ersättning av gamla broar, samt nybyggnation (AASHTO, 2012). Arbetet inom ABC behandlar inte enbart utveckling av tekniska lösningar utan också effektivisering av projektering och produktion.

De tekniska lösningarna utgörs av följande punkter:

- Snabb grundläggning
- Konstruktion
- Placeringsmetoder
- Prefabricerade byggelement och system för broar.

De olika delarna som ingår i den sista punkten ovan är: överbyggnader som till exempel kompositelement och underbyggnader som till exempel pelare (Readperiodicals, 2012).

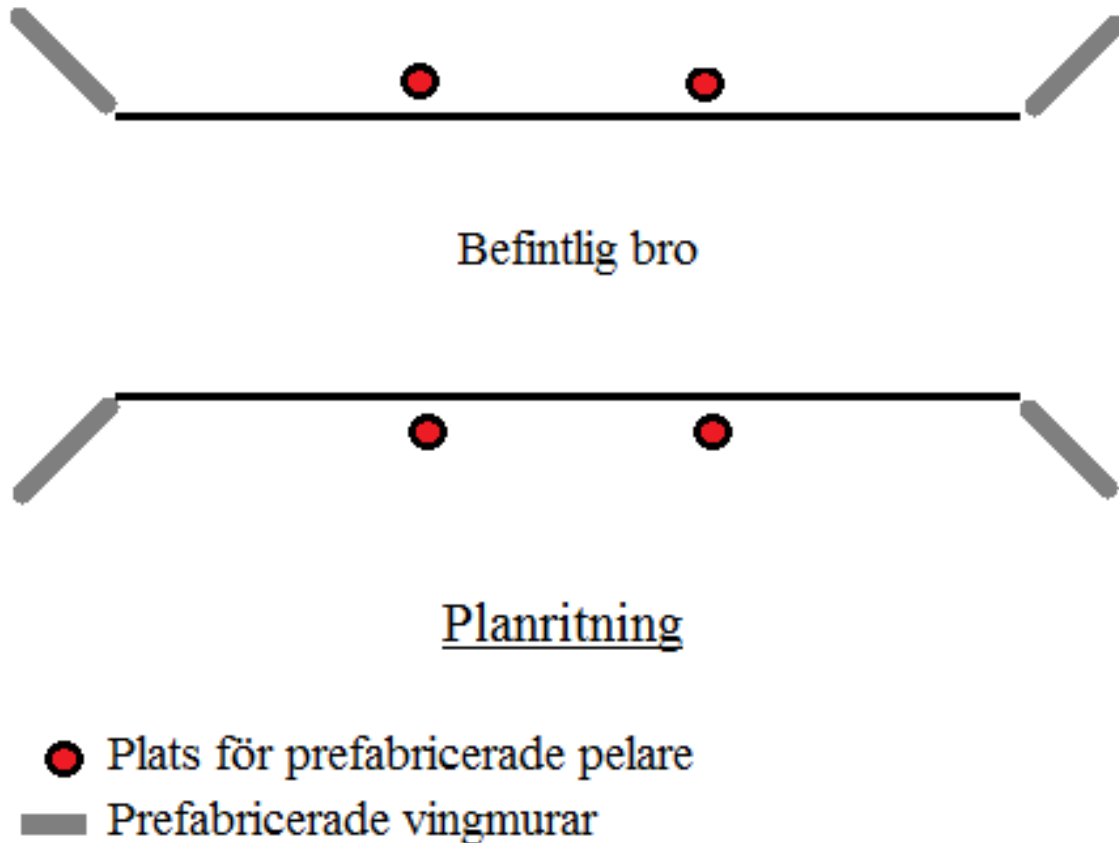
Motsvarande lösningar för projektering är:

- Steg för steg uppdelat konstruktionsförlopp
- Upphandling som innefattar incitament och viten
- Så kallade "lane rentals", som innebär att entreprenörer får betala en hyra för vägen under arbetet eftersom vägen då är avstängd och inte kan nyttjas av allmänheten (Readperiodicals, 2012).

Fördelarna med ABC är att trafikstörningar reduceras från månader till veckor och dagar. Personalen har en förbättrad och säkrare arbetsmiljö. Kontroll över miljö och tider blir enklare, som i sin tur leder till förbättrad kvalitet (AASHTO, 2012).

### Byggordning:

När en existerande bro ska ersättas med en ny bro längs en befintlig väg börjar man med att borra hål och göra plats för prefabricerade pelare på bronns båda sidor. Sedan är det dags att montera prefabricerade vingmurar vid bronns frontmurar (Sivakumar, 2011). Figur 6 nedan visar en principskiss av de borrade hålen och vingmurarna.



Figur 6: Steg ett enligt ABC.

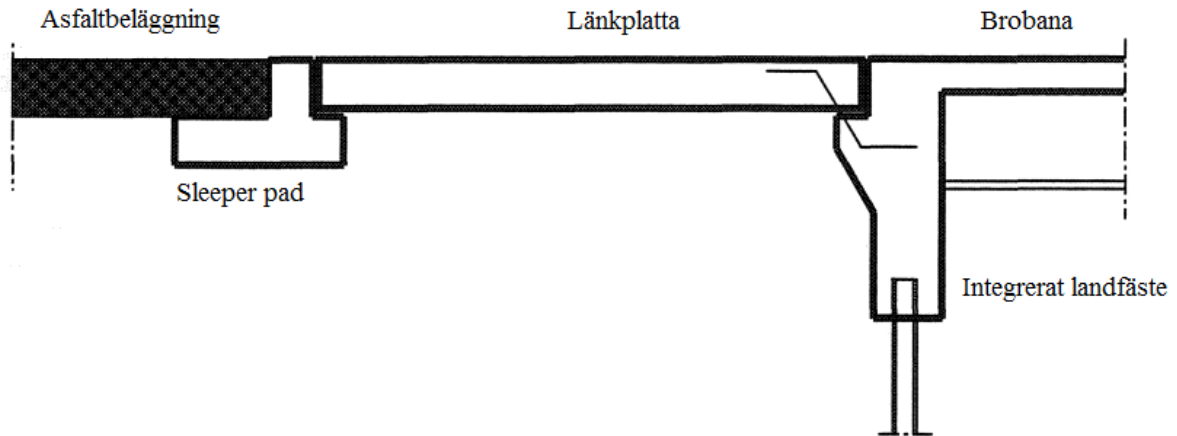
De prefabricerade vingmurarna som används i ABC kan ha olika utseenden beroende på bronns utformning. En variant av vingmurselement som man använder sig av i ABC visas i figur 7 nedan, där vingmurselementet är ihopsatt med H-balkar.



Figur 7: Exempel på prefabricerade vingmurar sammansatta med H-balkar (Sivakumar, 2011).

När vingmurarna är på plats är det dags att stänga av den befintliga bron som ska byggas om. För att minimera trafikstörningar leder man vanligtvis om trafiken genom att bygga en tillfällig bro. När den tillfälliga bron är klar för användning startar man rivning av den befintliga bron. Därefter monterar man de prefabricerade betongpelarna som då placeras vid stöden.

När pelarna är på plats monterar man landfästena, som vanligtvis är av typen *integrerade landfästen* (Sivakumar, 2011). Se figur 8 nedan för ett exempel på integrerade landfästen som är vanligt förekommande i USA. Största fördelen med dessa är att man inte behöver rullager mellan överbyggnad och landfästen vilket ger både kortare byggtid och billigare konstruktion (Olsson, 2009).



**Figur 8: Steg två enligt ABC (Pétursson, 2000).**

Därefter påbörjas monteringen av överbyggnaden där räcken och skyddsplåtar ingår. Avslutningsvis läggs beläggning på brobaneplattan. Efter att dessa moment är klara och samtliga prefabricerade element är på plats kan den ombyggda bron öppnas för trafik. Därmed är den 14 dagar långa ABC-perioden avslutad (Sivakumar, 2011).



## 3 Beskrivning av studerat projekt

### 3.1 Allmänt om projektet

Bro 6-1217-1, som i denna rapport använts som fallstudie, är en del av ett större ombyggnadsprojekt av riksväg 31. Projektet har varit aktuellt ända sedan 1980-talet men har av olika anledningar skjutits upp. Ombyggnationens huvudsakliga syfte var att öka framkomligheten på vägen och minska trafikflödet i Tenhults mer centrala delar, se figur 9. Totalt ingick 14 nya broar, 3 nya trafikplatser och 7.1 km ny vägsträcka i projektet (Trafikverket, 2012). Trafikverket var beställaren för detta projekt och upphandlingsformen var totalentreprenad.

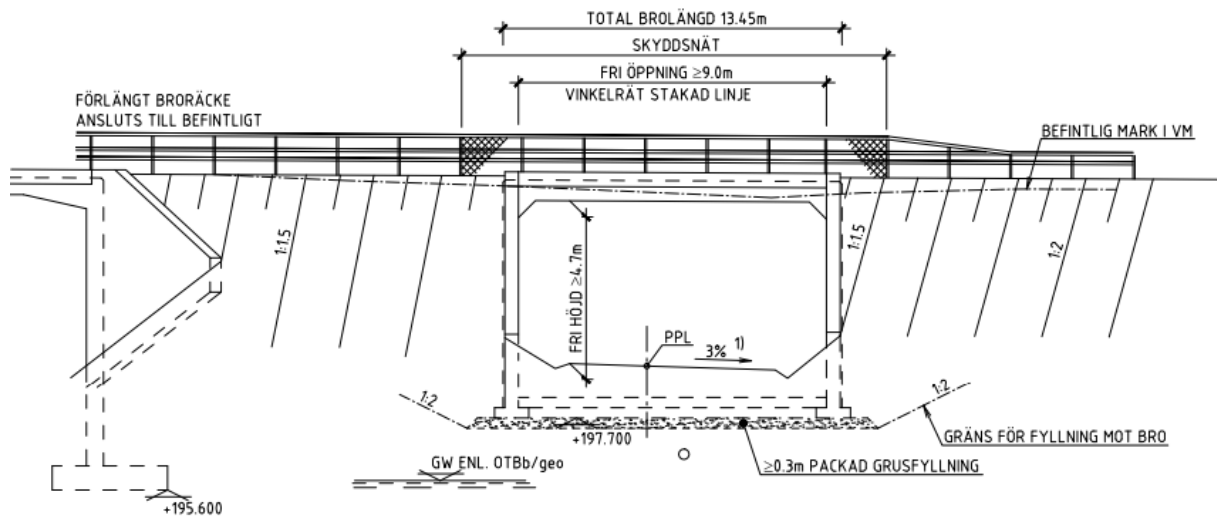


Figur 9: Den nya vägens sträckning (Trafikverket, 2012).

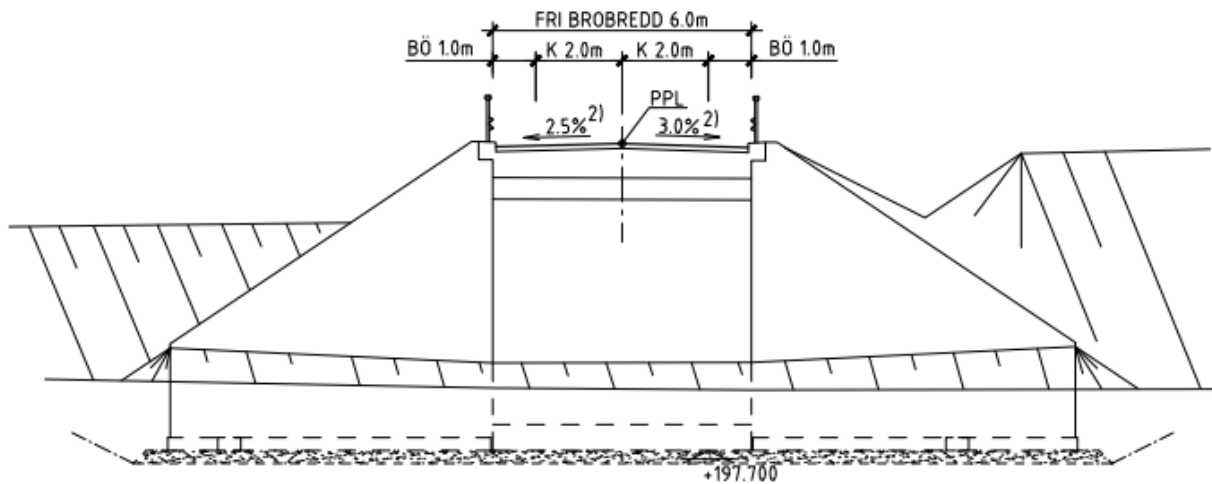
Då bro 6-1217-1 handlades upp gav Trafikverket endast ut en lista med funktionskrav, i enighet med deras nya satsning på främjande av innovativa och kreativa lösningar. Jobbet gick till PEAB som lämnade in ett förslag på en variant av en prefabricerad plattrambro, se figur 10 för elevation och figur 11 för sektion över bron. Skandinaviska Byggelement anlätades för att tillverka elementen och Centerlöf & Holmberg anlätades som konstruktörer. Parallellt med det huvudsakliga projektet pågick ett annat projekt som kallas utökad samverkan (Kamrad, 2011). Utökad samverkan är ett initiativ av organisationen FIA Sverige, *Förnyelse I Anläggningsbranschen*, och innebär att konstruktör, entreprenör och beställare



ska jobba ihop på ett bättre sätt för att kunna öka effektiviteten och förbättra resultaten i ett projekt.



Figur 10: Elevationsritning över bro 6-1217-1 utanför Tenhult (Kamrad, 2011).



Figur 11: Sektionsritning över bro 6-1217-1 utanför Tenhult (Kamrad, 2011).

### **3.2 Beskrivning av produktionsmetod för bro 6-1217-1**

Från början var bron tänkt att vara en kombination av en platsgjutning och prefabricerade delar. Man skulle prefabricera en form av skalväggselement till ramben och vingmurar. Dessa element skulle utgöra gjutformen för betongen som sedan skulle fyllas i dem. Plattbärlagen skulle prefabriceras helt och kantbalkarna gjutas till i efterhand. Enligt denna metod var inte formen statistiskt verksamt. Efterhand valde man dock att integrera formen för ramben och vingmurar i den bärande konstruktionen och göra dessa statistiskt verksamma. Detta kunde genomföras bland annat genom att öka elementens tjocklek, öka mängden armering både i elementen och mellan dem och genom att skarva ihop armeringen i elementen med uppstickande armering från bottenplattan. Denna ändring av elementens tjocklekar var en bidragande orsak till att elementtillverkningen flyttades från Katrineholm till Bjästa. I Bjästa är fabriken inte lika automatiserad som i Katrineholm, vilket ger större möjligheter till att modifiera elementens geometri. I Bjästa tillverkades alla 21 elementen till bron, 12 vingmurselement, 6 rambenselement och 3 stycken plattbärlag. Totalt användes ca 100 ton betong och 10 ton armering för att tillverka alla element (Hvitfeldt, 2011).

#### **3.2.1 Produktionsmetod för de prefabricerade elementen**

Det mest normala förfarandet för att tillverka prefabricerade betongelement i Bjästa är att man bygger en form på en gjutbädd, se figur 12, utifrån den ritning som erhållits från beställaren (Hägglund, 2011). När formen är klar läggs erforderlig mängd armering. Därefter kan man gjuta betongen och låta denna härda innan man formar av vid 50 % hållfasthet och gör önskade ytbehandlingar. Om betongen är gjord på vanligt byggcement tar en cykel 1 dygn och kräver ca 2 arbetare. Processen då elementen till bro 6-1217-1 tillverkades skiljer sig på flera punkter. Framför allt när vingmurar och ramben tillverkades.

Då man tillverkade elementen till bro 6-1217-1 användes anläggningscement. Detta cement härdar långsammare än vanligt byggcement, därför krävdes det en dag extra innan man kunde hantera elementen på önskat sätt. Varje cykel började med att man byggde en form enligt ritning. Sedan armerades och gjöts ena skivan, skiva 1, av skalväggselementet (Hägglund, 2011). Nästa dag lade man armeringen som skulle vara mellan skivorna, samt den armering som ingick i den andra skivan, skiva 2. Dagen efter all armering var på plats hade betongen i skiva 1 uppnått tillräcklig hållfasthet för att kunna lyftas. Hela elementet med all armering vändes och släpptes sedan ned i den betong som kom att utgöra skiva 2. Med hjälp av en upphängningsannordning kunde man justera armeringen så att armeringen i skiva 2 fick tillräckligt tjockt lager med täckande betong. På grund av att betongen tog längre tid att uppnå 50 % hållfasthet fick man jobba på flera bäddar samtidigt för att få en jämn produktion och hålla personalen sysselsatt. När man tillverkade vingmurar, vars kortsidor inte är parallella, kunde man på grund av symmetri i konstruktionen använda samma form för ett annat element (Hägglund, 2011). Vingmurselementen var alltså 12 till antalet, men utformades endast på 6 olika sätt. Denna något mer omständiga metod för att tillverka skalväggselementen valdes på grund av att det var mycket armering mellan skivorna, både armeringskorgar och armeringsstegar. Det var på grund av detta väldigt trångt att utföra armeringsarbetet.

Elementen levererades på överenskommen tid och anlände i samma ordning som monteringen skulle ske, det vill säga först ramben, sedan plattbärlag och slutligen vingmurar.



Figur 12: Gjutbädden som används hos Skandinaviska byggelement, Bjästa. Foto: Sayle Shamun

### **3.2.2 Montering**

Vid tidpunkten för monteringen var området relativt svåråtkomligt då omkringliggande vägar ej var färdigställda (Olausen, 2011). Detta ledde till att man var tvungen att göra ett par omlastningar innan man kunde påbörja montaget. Det första man monterade var de 6 rambenen. Elementen lyftes på plats med hjälp av en lyftkran. Varje rambein skulle passas in i den armering som stack upp ur grundplattan. När alla ramben var på plats började man montera plattbärlagen. Då plattbärlagen var mycket lättare än vingmurar och ramben valde man att försöka använda en mindre kran, en så kallad lastbilskran. Dess kapacitet visade sig dock vara otillräcklig då hävarmen blev för lång, på grund av att man inte kunde parkera lastbilen nära bron. Arbetet fick avbrytas och återupptas med en mobilkran med högre lyftkapacitet. Det sista som monterades var de 12 vingmurselementen. Efter att monteringen var klar kunde man gjuta betongen, göra kompletteringar på de prefabricerade elementen, lägga tätskiktet, gjuta kantbalkar, gjuta list på vingmurar, lägga fyllning mot ramben och vingmurar och göra övriga kompletteringar.

### **3.2.3 Erfarenheter från tillverkning och arbetsplats**

En av de stora praktiska svårigheterna i detta projekt fanns i den mängd armering i och mellan plattorna i vingmurar och ramben. Vid tillverkningen kunde man lösa detta genom att montera armeringen i förväg och sedan släppa ned det i betongen. Vid montaget var man tvungen att passa in den armering som stack upp från grundplattan och armeringen i elementen. Just detta moment beskrevs som svårt då armeringen från grundplattan lätt kröktes från elementens tyngd. En del av elementen fick lyftas upp och ned ett antal gånger innan man kunde passa rätt (Hvitfeldt, 2011).

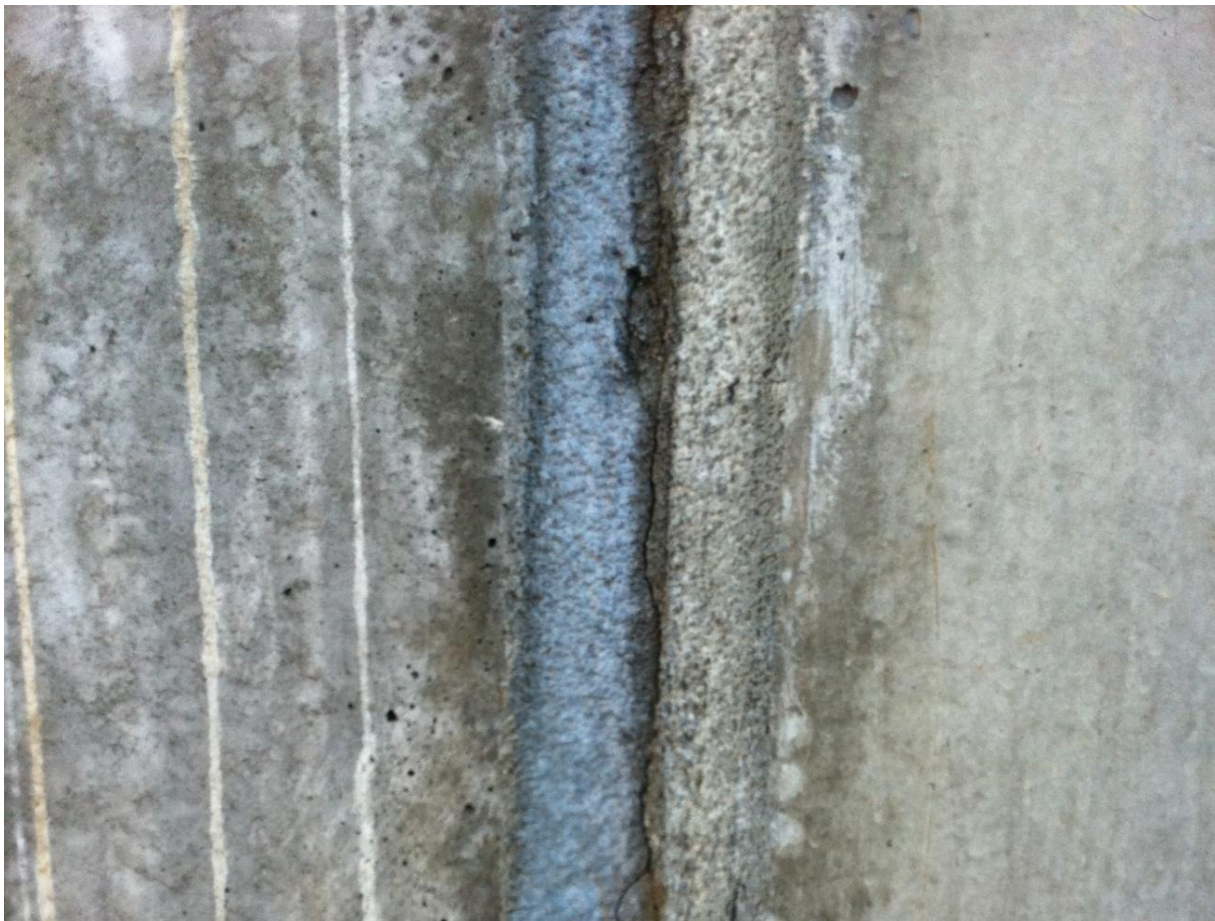
Ett annat problem var logistiken kring arbetsområdet. Då bron låg i ett djupt schakt, med järnväg och en annan bro i närheten, var det många gånger svårt att ta sig runt för mobilkranar

(Olausen, 2011). Detta försvårades ytterligare av att omkringliggande vägar ej var helt färdigställda.

Sett till de tekniska delarna av projektet stötte man också på problem med armering i elementen och grundplattan. Eftersom armeringen från grundplattan skulle skarvas med den redan ingjutna armeringen i elementen kom armeringen inte att ligga intill varandra, utan ovanpå varandra. Detta var något som inte behandlades i den svenska normen BBK 04 och man fick ansöka om avsteg från BBK 04 och istället använda sig av den gamla tyska normen DIN 1045.

Så som konstruktionen utformades, med skalväggar och gjutning emellan dessa, får man gjutfogar på flera olika punkter i bron (Kamrad, 2011). Då skjuvflöden i dessa punkter måste räknas ut uppstår ett omfattande och tidsödande arbete för konstruktören.

Ett av kraven som beställaren ställde var att ha en kontrollerad sprickbildning. För att uppnå detta krav lades en form av spånskivor mellan vingmurselementen, se figur 13 nedan. Detta gjorde det enklare att beräkna sprickbildningen men minskade dock konstruktionens robusthet (Kamrad, 2011). Detta är något som kan komma att påverka framtida drift och underhåll av bron samt försämrar den estetiska kvaliteten.



Figur 13: Spånskivor mellan skalväggarna. Foto: Björn Johansson

Vid montaget av vingmurarna passades elementen in mot uppstickande armering. När sista elementet lyftes på plats upptäckte man att elementen monterats i fel ordning. Detta ledde till att man fick lyfta bort alla element och placera om dem enligt ritning.

Ett annat av de problem som uppstod inträffade under besiktningen. Då man skulle ta provkärnor på betongkvaliteten i konstruktionen upptäcktes att ingen märkning för armeringsfria punkter fanns utmärkta. Detta ledde till extra arbete innan man tillslut kunde ta ut borrkärnor och därmed godkänna betongkvaliteten.

## 4 Resultat

### 4.1 Processkartläggning

Definitionen av en process är en serie aktiviteter som upprepas i tiden, med syftet att skapa ett värde åt en intern eller extern kund (Ecotech, 2012). Att jobba med processer har en rad olika fördelar som till exempel bättre kvalitet på produkt och/eller resultat, ökad fokus på kundnyttan och bättre helhetssyn över den egna organisationens verksamhet.

När man gör en processkartläggning är det huvudsakliga syftet att lyfta fram eventuella brister i en given process. Bristerna kan sedan åtgärdas för att öka effektiviteten i processen. Ett vanligt förfarande vid en processkartläggning är att göra en så kallad nulägesanalys. En nulägesanalys visar på hur en aktuell process fungerar idag. Processen kan, om så behövs, delas upp i olika delprocesser för att behålla en överblickbarhet. Processen, eller delprocesserna delas sedan upp i ingående aktiviteter. Dessa aktiviteter är sedan utgångspunkt för vidare arbete med effektiviseringspotential i en process.

En annan metod att göra en processkartläggning är att utgå ifrån hur man vill att processen ska se ut. Denna metod kallas ibland för idealmodellsmetod.

När nedan redovisade processkartor har tagits fram har nulägesanalys använts. Resultaten bygger på data från byggnationen av bro 6-1217-1 utanför Tenhult. Först redovisas en processkarta över hela förloppet då man bygger en ny bro med prefabricerade element. Därefter studeras delprocesserna förarbete, montering och efterarbete närmare.

Värt att notera är att nybyggnad av broar många gånger är delar av större infrastrukturprojekt och att broarna då kan betraktas som delprojekt. Processerna kring projektet kan se annorlunda ut för denna typ av projekt, jämfört med till exempel nybyggnad av bro längs befintlig vägsträckning. Studerad bro utanför Tenhult var en del av ett större projekt som gick ut på att lägga om riksväg 31 utanför Tenhult.

### 4.2 Beskrivning av brobyggnad med inslag av prefabricering

#### 4.2.1 Beställarens roll

##### Behov

Det första steget i en byggprocess, vare sig det rör sig om en bro eller ett bostadshus, är att ett behov uppstår. Behovet av till exempel en ny bro delges berörd beslutsfattande församling eller förvaltningsmyndighet. Inom infrastruktur- och brobyggnadsindustrin i Sverige är det oftast kommunfullmäktige eller Trafikverket som har denna roll.

##### Initiering

Då behovet har delgivits relevant part initieras projektet. Projektmål formuleras, en översiktlig tidplan bestäms, resurser säkerställs och projektet delas vid behov upp.

##### Förstudie

När behovet är framfört och projektarbetet initierat görs en förstudie på projektet i sin helhet, eller delar av detta för de fall då projektet delas upp. Förstudien syftar till att minska osäkerheterna kring projektet. En förstudie behandlar bland annat möjlighet till att genomföra projektet, tid och kostnad för projektet och om dessa är i linje med den förväntade nyttan. Vanligtvis formulerar man en frågeställning med relevanta frågor om huruvida projektet kan genomföras. Frågeställningen besvaras i den resulterande förstudierapporten (Tonnquist,

2008). Rapporten innehåller oftast en översiktlig plan för hur projektet är tänkt att genomföras. En väl genomförd förstudie kan ibland resultera i att ett projekt läggs ned innan det ens har startat.

Vid brobyggnad kan, beroende på planerad upphandlingsform, en del av förstudien bestå av en geoteknisk undersökning för den ungefärliga plats där bron är tänkt att uppföras. En annan del av förstudien kan vara att kartlägga intressenter, som boenden i närheten och markägare. Dessutom är det viktigt att klarlägga kraven för vad som förväntas av projektet.

### **Beslut**

Med förstudien som grund fattas ett beslut om projektet ska genomföras. Ibland måste man göra betydande ändringar i projektet, vilket leder till att en ny förstudie inleds (Tonquist, 2008). Om projektet ska genomföras går man vidare och gör en vägutredning.

### **Vägutredning**

När beslut om projektets genomförande fattats görs en vägutredning. Vägutredningens syfte är att titta mer specifikt på hur planerad vägsträcka bör dras och vilka tänkbara brolösningar som finns beroende på hur vägen dras. Möjliga trafikplatser studeras om sådana är aktuella. I detta skede behandlas också miljökonsekvensbeskrivningar. Utredningen resulterar i ett antal förslag på hur vägar och broar kan utformas och tillhörande kostnader och längder (Vägverket, 1996). Vägutredningen utgör underlag för arbetsplanen.

### **Arbetsplan**

I arbetsplanen görs en första skiss på hur vägsträckan ska dras. Man bestämmer en konkret linjesträckning och bestämmer också höjdläget på vägen samt vägens bredd (Nilsson, 2011). Denna information används sedan för att bestämma arbetsområdet och få en överblick över hur möjligheten till markåtkomst ser ut. Vid byggande av allmän väg har byggherren enligt väglagen rätt att ta erforderlig mark i anspråk för att möjliggöra projektet.

I arbetsplanen ingår också uppgifter om koordinatsystem, geotekniska förutsättningar, väglinje, brobredd och fri öppning, brons tvär- och normalsektioner, typ av beläggning, befintliga marknivåer, befintliga ledningar och hinder, planerade ledningar i och under bron samt belysning (Eriksson & Jakobson, 2009). Om bron går över eller i närheten av vattendrag kan även en vattendom behövas. Från det att arbetsplanen fastslagits måste arbetet påbörjas inom fem år.

### **Förfrågningsunderlag**

Ett förfrågningsunderlag utgör det underlag som entreprenören använder för att räkna fram sina anbud. Köp som görs av myndigheter och andra organisationer som är finansierade med allmänna medel ska ske enligt LOU, *Lagen om Offentlig Upphandling*. Lagen är till för att eliminera barriärer inom handel och utbyte av tjänster mellan olika länder inom EU (Olander, 2012). I LOU klargörs vid vilka belopp som upphandlingar måste dokumenteras och när de kan göras utan föregående annonsering.

Trafikverket, som är en av Sveriges största bygherrar (Trafikverket, 2012), har på senare tid gjort en satsning för att öka entreprenörernas möjligheter till att själva välja gestaltning och utformning av broar. Detta möjliggörs genom att i förfrågningsunderlaget endast specificera funktionskrav och tekniska krav som ställs på konstruktionen. Utöver detta gäller också regelverket BRO 2004 (Hårskog, 2011). Bron utanför Tenhult är ett exempel på ett sådant projekt.

Beroende på vad beställaren föreskriver i sitt förfrågningsunderlag samt på hur entreprenören vill arbeta, är det i denna del av processen det beslutas om bron kommer vara en prefabricerad bro eller ej.

### **Projektledning och tekniskt stöd**

Parallellt med entreprenörens arbete under produktionsstadiet arbetar beställaren vanligtvis med projektledning och tekniskt stöd. Projektledare på beställarsidan ansvarar för att tidsramar hålls, att kostnaden är inom fastställd budget samt att produkten kommer uppfylla de krav på kvalitet som angivits i upphandlingen (Hårrskog, 2011). Projektledarna sitter med på byggmöten och är med och fattar beslut som för arbetet framåt. De sitter också med på projekteringsmöten då dessa hålls. Om entreprenadformen är totalentreprenad så ansvarar entreprenören för projekteringen och som projektledare på beställarsidan har man då en lite mer passiv roll där man kan komma med synpunkter, men inte lägger sig i detaljfrågor (Hårrskog, 2011).

Trafikverket, om det är dem som är beställare, tillhandahåller också tekniskt stöd i projektet. Den eller de personer som ansvarar för detta ser bland annat till att de förslag som entreprenören lägger fram fungerar rent tekniskt. Då prefabricerade broars verkningssätt skiljer sig från platsgjutna broar på flera punkter, är det tekniska stödet hos beställaren en viktig länk till att kunna tolka in och anpassa arbete så att ställda krav kan uppfyllas.

### **Drift och underhåll**

Då produkten är klar och besiktigad överläts denna till beställaren och det åligger då beställaren att svara för drift och underhåll om inte annat föreskrivits i upphandlingen. För mindre broar är det vanligtvis så att den som svarar för drift och underhåll över bron är densamme som svarar för drift och underhåll av anslutande vägar. På senare tid har det blivit allt vanligare med drift- och underhållsåtagande för entreprenören vid totalentreprenad.

Drift och underhåll innebär att hålla vägar i ett sådant skick att de är framkomliga och säkra året om (Trafikverket, 2012). I drift av broar ingår bland annat snöplogning, halkbekämpning, lagning av mindre beläggningsskador, borttagning av klotter och röjning av vägslänter och konar. Underhåll av broar är mer långsiktiga åtgärder som syftar till att bron bevarar sin funktion. Det kan exempelvis handla om byten av kantbalkar, räcken och beläggning.

För prefabricerade betongbroar skiljer sig inte kraven på drift och underhåll jämfört med övriga betongbroar. Vid vissa åtgärder måste dock typ av bro tas i beaktning. Ett exempel kan vara att man vid byte av kantbalkar bör beakta gjutfog mellan plattbärlag och kantbalk om sådan finns.

## **4.2.2 Entreprenörens roll**

### **Anbud**

Entreprenörens roll börjar då ett förfrågningsunderlag erhålls av beställaren eller hämtas ut ur en anbudspool. Om ett så kallat ramavtal har ingåtts mellan beställare och en entreprenör kan beställaren under ramavtalets giltighetstid avropa tjänster utan att göra en egen upphandling (Kammarkollegiet, 2012). I avtalet regleras vilka priser och villkor som gäller.

Förfrågningsunderlaget eller bygghandlingen används för att beräkna pris på jobbet. Ett anbud är bindande, till skillnad från prispförslag. Beställaren samlar alla anbud och väljer ut det som anses bäst och accepterar detta. Ett avtal sluts därmed mellan beställare och entreprenör. Om beställaren har synpunkter på anbudet och vill ändra delar av detta måste entreprenören godta ändringarna innan avtalet är slutet.



Om beställaren önskar en prefabricerad bro är det skrivet i förfrågningsunderlaget. Om beställaren inte definierat konstruktionen närmare, utan endast listat de funktionskrav som ställs på den färdiga produkten, är det upp till entreprenören att välja hur denne vill utforma konstruktionen. Vid en totalentreprenad med ett förfrågningsunderlag bestående av funktionskrav utan krav på gestaltning och utformning är det beställaren som måste godta entreprenörens förslag på bygghandlingar då dessa inte är definierade i förfrågningsunderlaget.

När den prefabricerade bron utanför Tenhult handlades upp fanns det en expert på Trafikverket som granskade och godkände PEABs förslag på brons utformning. Denna expert agerade genom hela produktionen som tekniskt stöd åt entreprenör och konstruktör och säkerhetsställde att konstruktionen uppfyllde de krav som förelåg i funktionskraven och TK Bro.

### **Anlita underentreprenörer**

Då entreprenören fått jobbet och entreprenören inte ska utföra jobbet själv, anlitar denne underentreprenörer som ska svara för brons uppförande. Om upphandlingsformen är totalentreprenad och projekteringen inte sköts internt av entreprenören anlitas även en konsult som svarar för projekteringen. Om bron kommer att vara prefabricerad måste även materialleverantörer handlas upp. Entreprenören skickar då ut förfrågningsunderlag till konsulter och materialtillverkare och avtal sluts.

### **Förarbete**

Då projekteringen är klar eller delvis klar inleds förarbetet. Förarbetet är den första delen i produktionen eller ”uppförandet” och består av aktiviteter som innefattar schaktningsarbeten, grundläggning och gjutning av de grundplattor som de prefabricerade byggelementen senare monteras på. I projekt där endast en bro ska uppföras ingår även upprättandet av själva arbetsplatsen, med staket, bodar, förråd och strömförsörjning. I större projekt, som det vid Tenhult, kan denna del anses tillhöra det större projektet som innefattar alla broar, vägar och trafikplatser.

Produktionsskedet studeras mer i detalj i avsnitt 4.3 *Beskrivning av monteringsförloppet*.

### **Montering**

När första elementen har levererats och förarbetena med grundplattan är klara kan monteringen påbörjas. Beroende på hur arbetsplatsen ser ut och var elementen placerats kan en omlastning vara nödvändig innan man kan påbörja montaget. När man uppför en plattrambro börjar man med att montera ramben, därefter plattbärlagen och slutligen vingmurarna. Vid montaget passades hela tiden befintlig armering från grundplattan in i vingmurar och ramben. Utöver detta lades också armeringskorgar ned i elementen tillsammans med den redan befintliga och delvis ingjutna armeringen.

Tenhultsbron var utformad på så sätt att vingmurslister och kantbalkar ej var prefabricerade. På vingmurarnas överkant placerades istället najsade armeringskorgar. Runt detta byggdes sedan form och vingmurslisterna gjöts. Kantbalkarna skapades på samma sätt, det vill säga genom att armera, bygga form och gjuta dem.

### **Efterarbete**

Till efterarbeten räknas allt arbete som infaller efter monteringen. Gjutning av kantbalkar är en sådan aktivitet. Beläggning, räckesmontering, motfyllning på vingmurar och montering av grundavlopp är andra exempel. Dessa aktiviteter skiljer sig inte nämnvärt från om

konstruktionen hade varit platsgjuten. Som tidigare nämnts är gjutning av kantbalkar en typ av aktivitet där det kan behöva tas i beaktning att konstruktionen delvis är prefabricerad.

### **Besiktning**

Innan projektet kan avslutas och produkten överlämnas måste den besiktigas. Det är vid besiktningen, den så kallade slutbesiktningen, som garantitiden börjar löpa. Om fel upptäcks i konstruktionen inom garantitiden och felet inte beror på ett konstruktionsfel, är det entreprenörens ansvar att utan extra kostnad åtgärda dessa. Om det upptäcks fel efter garantitidens utgång och dessa fel är uppsåtliga eller om de orsakats av grov vårdslöshet av entreprenören anses entreprenören ansvarig (Ågren, 2012).

Garantitiden är, om inte annat föreskrivs i upphandlingen, fem år för entreprenörens arbetsprestation och två år för material och varor. Om upphandlingsformen är sådan att entreprenören ansvarar för drift och underhåll efter trafiköppning brukar det vid åtagandets utgång ej föreligga någon garantitid.

### **4.2.3 Konstruktörens roll**

#### **Projektering**

Ansvaret för projektering kan ligga hos flera olika parter i ett projekt. Om beställaren svarar för projektering blir det en så kallad utförandeentreprenad. Beställaren tar fram färdiga bygghandlingar och upphandlar en entreprenör som utför arbetet enligt handlingarna. Om entreprenören i sin tur anlitar underentreprenörer kallas denne oftast generalentreprenör.

Om beställaren lägger över ansvaret för projektering på en entreprenör kallas det istället totalentreprenad. Entreprenören utgår då från enklare handlingar tillhandahållna av beställaren bestående av krav på produkten. Standardavtalet som gäller vid totalentreprenader är ABT, *Allmänna bestämmelser för totalentreprenader avseende byggnads-, anläggnings-, och installationsarbeten*. Tenhultsbron var en totalentreprenad där entreprenören anlidade en konsult som utförde projekteringen. Samma konsult ansvarade också för dimensioneringen.

Vid projektering av prefabricerade broar skapas, i likhet med projektering av platsgjutna broar, en teknisk beskrivning, en mängdbeskrivning och tillhörande ritningar. I den tekniska beskrivningen redovisas hur arbetet ska utföras. Då bron är prefabricerad skiljer sig tillvägagångssättet vid uppförandet något från traditionella platsgjutna broar och det är något som behandlas i den tekniska beskrivningen.

#### **Dimensionering**

Konstruktörens uppgift är att säkerhetsställa att konstruktionen uppnår erforderlig livslängd och klarar ställda lastkrav i brottgräns- och bruksgränstillståndet. I TRVK Bro 11, som nyligen ersatt TK Bro, anges de krav som Trafikverket ställer vid dimensionering och utformning av broar (Trafikverket, 2012).

Dimensioneringsarbetet när man bygger med prefabricerade element försvåras på grund av att de normer som idag gäller i Sverige är avsedda för platsgjutna konstruktioner (Kamrad, 2011). Det är samma krav som ska uppfyllas, men då utformningen är annorlunda vid prefabricering uppstår vissa svårigheter. Ett exempel på detta är det sprickriskkrav som säger att största tillåtna täckande betongskikt inte får vara större än 75 mm.

På grund av Tenhultsbrons utformning blev dimensioneringsprocessen mer tidskrävande än en traditionell platsgjuten bro och man var vid ett tillfälle tvungen att frångå den svenska

bronormen och hämta underlag från den tyska normen för att kunna genomföra dimensioneringen (Kamrad, 2011).

De ritningar som konstruktören tar fram är inte lämpade till att bygga elementen efter. Elementleverantören måste ta fram tillverkningsritningar för att kunna bygga elementen. Under detta skedet är det viktigt att kommunikationen mellan konstruktör och elementleverantör är god för att säkerställa att inga fel begås då ritningarna ritas om.

#### **4.2.4 Elementtillverkarens roll**

##### **Projektering**

Då en beställning av ett antal element gjorts börjar elementtillverkaren med att projektera. Ritningar som elementen kan byggas efter måste tas fram och vid behov måste arbetsbeskrivningar bifogas kunden. Arbetsbeskrivningarna innehåller anvisningar om montering och gjutning samt information om montageförberedelser, montagetillbehör och lyftanvisningar.

##### **Tillverkning**

Tillverkningen av elementen sker enligt de tillverkningsritningar som tagits fram under tillverkarens projektering. Beroende på hur elementen ser ut är tillverkningsprocessen något varierande, men följer i grova drag nedanstående ordningsföljd:

1. Formbygge
2. Armering
3. Gjutning
4. Ytbehandling
5. Formrivning
6. Övriga kompletteringar

Då betongen har en hållfasthet på minst 50 % och då eventuella kompletteringar är utförda placeras elementen på lager fram till det är dags för leverans. Innan leverans ska betongens hållfasthet uppgå till minst 70 % (Hägglund, 2011). Under tillverkningen pågår det en löpande kvalitetskontroll.

När man tillverkade elementen för Tenhultsbron delade man upp elementen i två gjutningssteg. Först armerade man ena delen av skalväggen och göt denna. Nästa dag gjordes resterande armering färdig. När betongen uppnått erforderlig hållfasthet vändes elementen och passades in i en form, varpå man göt andra delen av skalväggen.

##### **Transport**

När samtliga element tillhörande en viss del av konstruktionen är klara kan dessa levereras. I normala fall levereras dem med hjälp av lastbilar. Om elementen är bredare än fyra meter blir den totala höjden på ekipaget inklusive bockar så hög att man inte kan använda sig av vanliga lastbilar på grund av vägportarna.

När elementen anländer till byggarbetsplatsen lastas de av och monteras enligt bifogade anvisningar.

### **4.3 Beskrivning av monteringsförloppet**

Bro 6-1217-1 är som tidigare nämnts inte enbart bestående av prefabricerade element, utan har också platsgjutna delar. Arbetsföljden för bygget av bron beskrevs i kravspecifikationen.

Till att börja med gjordes en del schaktning av överflödigt material. Därefter grundlade man med platsgjutna betongplattor. Efter det monterades samtliga prefabricerade element. När elementen var på plats göts kantbalkar och vingmurslist. Sedan avslutade man med kompletteringar (Kamrad, Kravspecifikation, 2010).

En mer djupgående beskrivning för varje aktivitet följer nedan. Bilaga A visar en processkarta över uppförandet och monteringsförloppet av Tenhultsbron. Monteringen av de prefabricerade elementen i bron tog sammanlagt fyra dagar, men skedde osammanhängande och pågick därför över en längre tidsperiod.

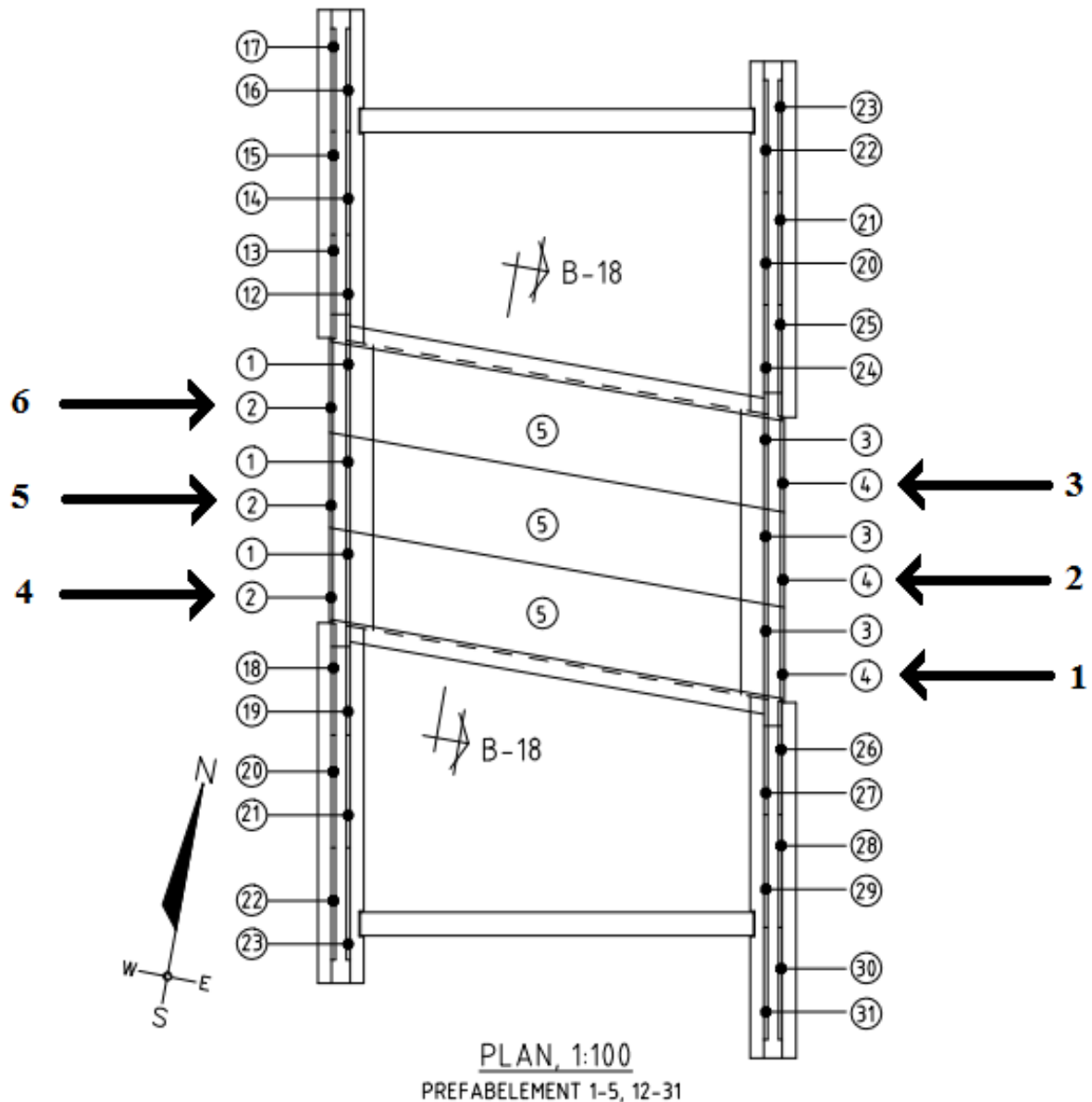
#### **Grundläggning**

Grundläggningen för bro 6-1217-1 utfördes enligt Bro 2004. Bron låg under uppförandet i ett relativt djupt schakt. För att kunna använda plattgrundläggning som grundläggningsmetod schaktades överflödigt material bort med grävmaskin (Olausen, 2011). Ett av de ställda kraven i Bro 2004 är att arbetet ska ske under torra förhållanden, både under schaktning och också gjutning av bottenplattorna. Dessutom ska grundvattennivån sänkas till minst 0.5 meter under lägsta schaktbotten.

De platsgjutna betongplattorna vilar på ett 0.3 meter tjockt lager av packad grusfyllning. Under dessa två lager finns även ett 0.2 meter tjockt lager samkross, som fungerar som ett materialskiljande lager (C&H, Ritn. 2 43K20 12, 2010). Bottenplattor för bron, rambenen och vingmurarna är platsgjutna. En konsol i brons bottenplatta stödjer vingmurarnas bottenplatta, där även extra stöd utgörs av en strävbalk. Strävbalken göts också på plats. Formar för bottenplattorna byggdes och kontrollerades. Därefter placerade man ut erforderlig armering i dem. När detta var gjort göt man betongen (Kamrad, Kravspecifikation, 2010).

#### **Ramben – dag 1**

Bro 6-1217-1 består av sex stycken prefabricerade rambenselement. Varje element är 5.2 meter högt och 2 meter brett. Tjockleken är 82 millimeter (Hvitfeldt, 2011). Figur 14 nedan visar monteringsordningen av de sex elementen.



Figur 14: Placeringordning av de prefabricerade rambenen (Hvitfeldt, 2011).

När monteringen av elementen skulle påbörjas, var elementen felplacerade. En omlastning var då nödvändig för att kranbilen skulle ha bästa position för lyftning och montering av elementen. Beräknad tid för omlastning av samtliga element uppgick till ca 35 minuter.

Vid inpassning av de två första rambenen, se figur 14 ovan, på bottenplattan uppstod komplikationer med det prefabricerade elementets armering, armeringen från bottenplattan och ställisten. Dessa passade inte ihop på en gång. Efter justering av både armering från bottenplattan och inpassning av ställisten på insidan av elementen, placerades de utan större problem. Den totala tiden för inpassning, exklusive lyftning, för samtliga element uppskattas till ca 50 minuter. Tiden inkluderar inte heller montering av strävor (Hvitfeldt, 2011). Tabell 1 nedan visar tiderna för varje aktivitet och element. Tiderna är hämtade från den inspelade filmen av monteringen.

Tabell 1: Ungefärlig tid varje aktivitet har tagit för varje element (Hvitfeldt, 2011).

Ramben				
Ungefärlig tid för varje aktivitet i minuter				
Element	Omlastning totalt	Lyftning och inpassning	Väggstag	Armering totalt
1	35	13	24	9
2		21	11	
3		11	19	
4		21	9	
5		14	11	
6		11	16	

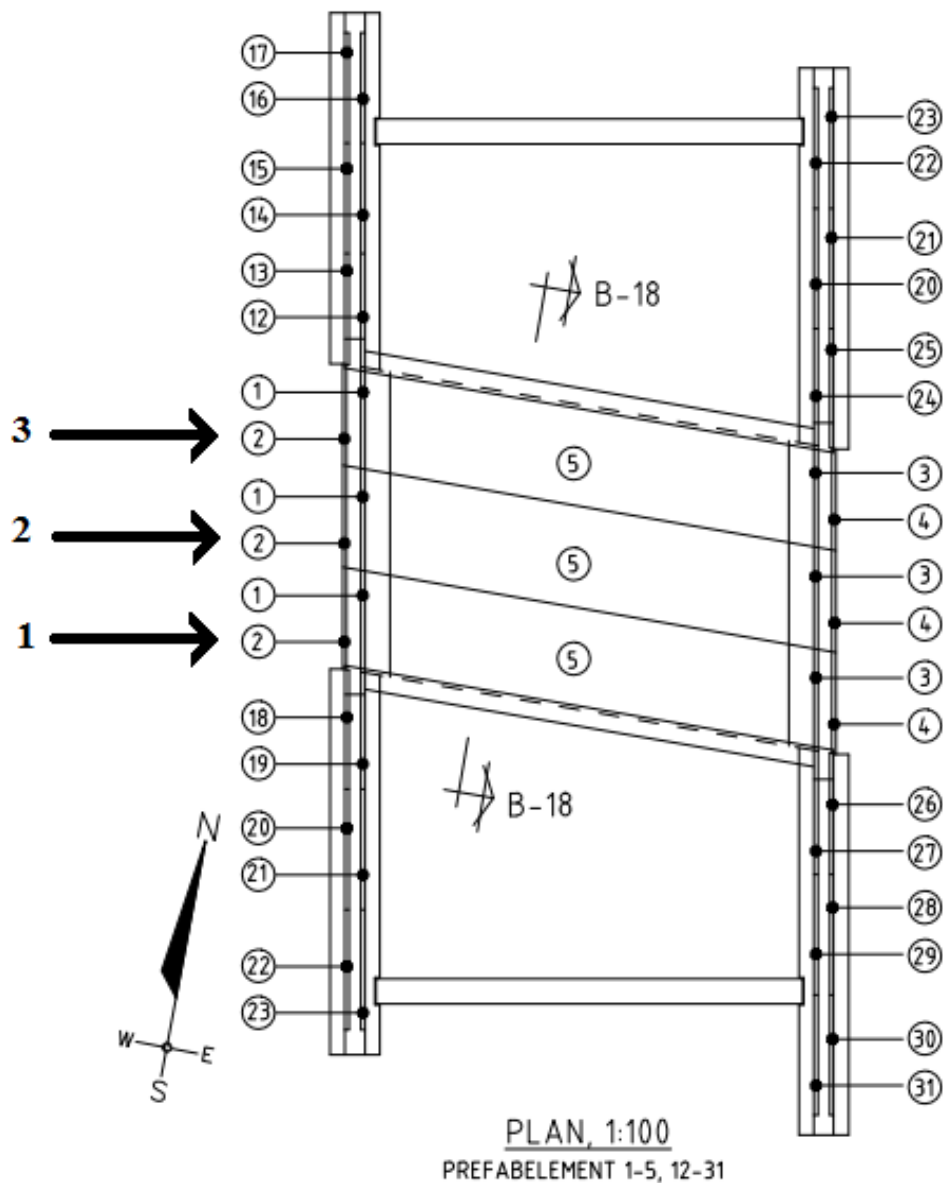
Generellt är antal stag per element fyra stycken för höjder större än eller lika med 3.6 meter och två stycken för höjder mindre än 3.6 meter (C&H, Ritn. 2 43K20 31, 2010).

På grund av höjden på rambenen för bro 6-1217-1 var fyra stycken väggstag per element nödvändigt för att kraven ska uppfyllas. De två högre placerade stagen monterades på innan inpassningen. De två lägre placerade stagen monterades på när elementet var på plats. Därefter fästes samtliga väggstag på platsgjutna betongklossar.

Enligt ritningarna skulle armeringskorgar placeras centriskt mellan elementens skalväggar (C&H, Ritn. 2 43K20 22, 2010). Detta skedde efter att samtliga element var på plats (Hvitfeldt, 2011). Fyllning och platsgjutning av rambenen gjordes samtidigt som gjutning av plattbärlagen (Olausen, 2011).

### Plattbärlag – dag 2

Totalt användes det tre stycken plattbärlag i bro 6-1217-1, där varje element var 2 meter brett. Den totala längden var 8 meter på grund av bronns sneda utformning. Dessa element utgör den bärande konstruktionsdelen, vars undersida är armerad betong. Plattbärlagen utgör alltså valvets undersida, medan översidan av plattbärlagen utgör grunden på vilken man senare gjuter betong som sedan täcks med beläggning. Figur 15 nedan visar monteringsordningen av de tre elementen.



Figur 15: Placeringsordningen av de prefabricerade plattbärlagen (Hvitfeldt, 2011).

Innan inpassningen kunde påbörjas, skedde även här en omlastning där tiden för ett element uppskattades till ca 24 minuter. Omlastningen här innebar att lyfta ett plattbärlag, placera det på en lastbil, köra ner intill bro 6-1217-1 och sedan placera det på färdigmonterade ramben. Tabell 2 nedan visar ungefärlig tid för varje aktivitet och element.

Tabell 2: Ungefärlig tid varje aktivitet har tagit för varje element (Hvitfeldt, 2011).

Plattbärlag			
Ungefärlig tid i minuter			
Element	Omlastning/element	Lyftning och inpassning	Armering totalt
1	24	3 <sup>1</sup>	-
2	-	-	-
3	-	-	-

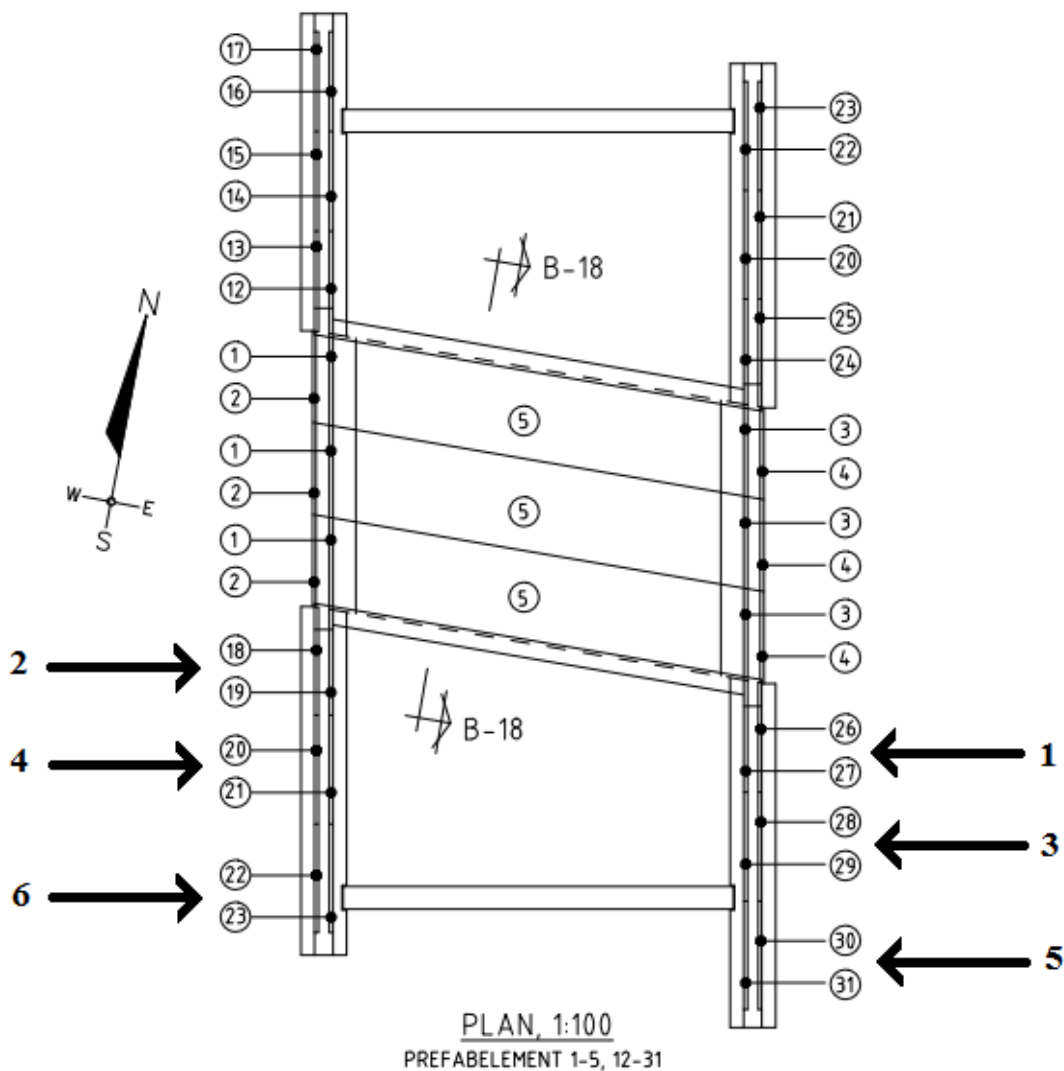
<sup>1</sup>Monteringen avbryts pga. ej tillräcklig kranbil. Den totala monterings tiden blir då ca 2.5 timmar.

Vid omlastningen av första plattbärlaget kunde lastbilen inte lyfta elementet tillräckligt för att placera det i rätt position och på rätt sätt (Hvitfeldt, 2011). Detta berodde främst på brist på plats för 50-tonnaren på grund av brons läge och intilliggande broar, både den gamla vid järnvägen och den nya som var under konstruktion. Monteringen fick avbrytas. Mobilkranens kapacitet ökades från 50-ton till 80-ton, trots att 50-tonnaren egentligen hade varit tillräcklig (Olausen, 2011). Den nya lyftkranen hämtades samma dag och monteringen fortsatte. Spilltiden är tyvärr inte känd eftersom fotografen inte meddelades direkt. Dock är det givet att det tog ca 2.5 timmar att montera samtliga plattbärlag efter att mobilkranen anlät (Hvitfeldt, 2011)

Efter att varje element passades in och sattes på plats armerades det. Därefter göts och fylldes både plattbärlagen och rambenen (Olausen, 2011).

### Vingmur – dag 3

För bro 6-1217-1 användes det totalt 12 stycken vingmurselement. Varje ving består av tre stycken element vars sammanlagda vikt går upp till 13.7 ton. Höjderna på dessa varierade mellan 6.1–3.6 meter (Kamrad, Kravspecifikation, 2010). Figur 16 nedan visar monteringsordningen av de sex första elementen under monteringsdag tre.



Figur 16: Placeringsordningen av de prefabricerade vingmurarna, monteringsdag 3 (Hvitfeldt, 2011).



Under monteringsdag tre skedde ingen omlastning av elementen. De lyftes direkt från transportfordonet, från intilliggande bro, för att passas in.

Vid inpassning av element 1, se figur 16 ovan, uppstod komplikationer då vingmuren inte var rätt placerad. I kombination med att fästa de två övre väggstagen kunde man justera och rätta till placeringen av elementet. Tid för lyftning och inpassning var kring 25 minuter. Felplacering av elementet ledde till ett nytt försök, där denna tog ungefär 28 minuter (Hvitfeldt, 2011). Tabell 3 nedan visar ungefärlig tid för varje aktivitet och element.

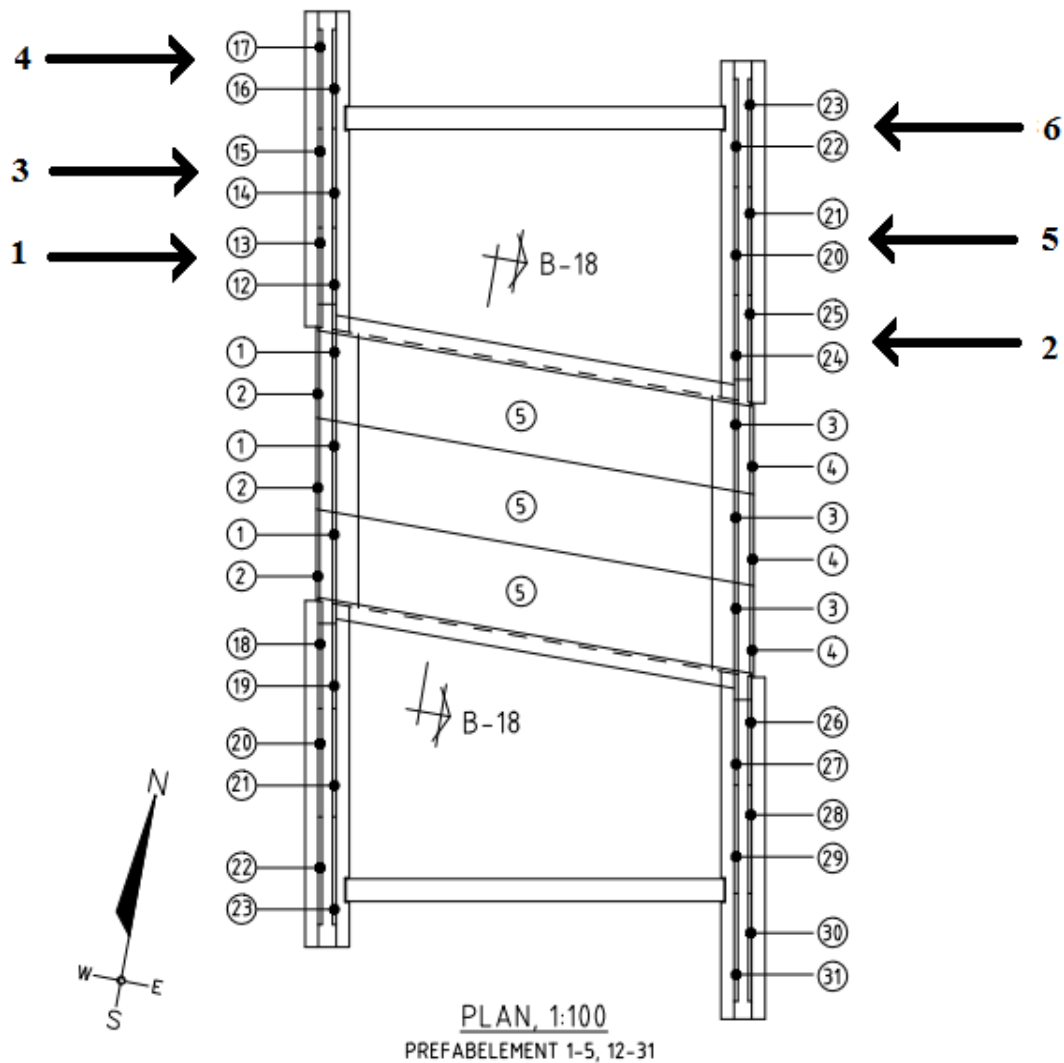
Tabell 3: Ungefärlig tid för montering av vingmur, monteringsdag 3 (Hvitfeldt, 2011).

Vingmur				
Ungefärlig tid för varje aktivitet i minuter				
Element	Omlastning/element	Lyftning och inpassning	Väggstag	Armeringskorgar
1		25+28= 53	10	20
2		27	13	
3	18	25	9	
4		11	9	
5		12	6	
6		8	7	

Vid lyftning av element 3, se figur 16 ovan, uppstod en del komplikationer då lyftkedjorna inte var korrekt placerade i elementet. Detta ledde till en omlastning och bidrog inte till några skador av elementet. Man fick lyfta och placera elementet vid transportfordonet och rätta till lyftkedjornas längd. Därefter kunde man lyfta elementet på ett korrekt sätt, lyfta ner det till bron och montera de två övre väggstagen. Den sammanlagda tiden för omlastning, lyftning och inpassning av element 3 var ungefär 43 minuter (Hvitfeldt, 2011). Se tabell 3 ovan.

#### Vingmur - dag 4

Under monteringsdag fyra monterades de sex resterande elementen som bildar vingmuren på andra sidan bron. Figur 17 nedan visar monteringsordningen av de sex elementen under monteringsdag fyra.



Figur 17: Placeringsordningen av de prefabricerade vingmurarna, monteringsdag 4 (Hvitfeldt, 2011).

Lyftningen av element 4 avbröts för att korrigerig av inpassningen av element 3 gjordes. Detta tog 7 minuter.

När man sedan lyfte element 4 och skulle placera det på plats, insågs att elementet låg utanför grundplattan. Se figur 18 nedan. Elementet passades ändå in på plats och väggstagen fästes. Man gick igenom ritningar och insåg att elementen var monterade i fel ordning. Tiden för lyftning och inpassning av element 4 samt fästning av väggstag hittas i tabell 4 nedan.



Figur 18: Felplacering av element 4 (Hvitfeldt, 2011).

Samtliga element som redan monterats demonterades och lades åt sidan. Därefter skedde en omlastning av de resterande elementen som var kvar på lastbilen. Den totala tiden för demontering och omlastning av övriga element tog ungefär 40 minuter.

Tabell 4: Ungefärlig tid för varje aktivitet för montering av vingmur, monteringsdag 4, felmontage (Hvitfeldt, 2011).

Vingmur					
Ungefärlig tid för varje aktivitet i minuter					
Element	Omlastning /element	Lyftning och inpassning	Väggstag	Armering totalt	Demontering och omlastning
1	12			-	40
2	9	10	9		
3	15	15+7 = 22 <sup>1</sup>	6		
4	8	54 <sup>2</sup>	19 <sup>3</sup>		
5	-	-	-		
6	-	-	-		
<sup>1</sup> ) Justering av element 3 innan lyftning och inpassning av element 4. Därför tillkommer 7 minuter. <sup>2</sup> )Element 4 är utanför grundplattan. <sup>3</sup> )Montering, demontering och borrning av infästningspunkterna på andra sidan av elementen.					

När samtliga element låg åt sidan började man monteringen på nytt. Ingen omlastning var nu nödvändig då det redan hade gjorts.

Stagbalken som väggstagen skulle fästas i var inte tillräckligt stabil. En betongkloss placerades då på denna som extra tyngd för att elementet och stagen skulle hållas på plats.

När element 5 lyftes och skulle placeras på plats gjordes, samtidigt som inpassningen, hål för infästningspunkterna för väggstagen. Detta ledde till en längre tid och tog ungefär 20 minuter.

Vid stagnering av element 6, korrigerades inpassningen som inte var helt korrekt. Ungefärliga tider för de övriga aktiviteterna kan man se i tabell 5 nedan.

Tabell 5: Ungefärlig tid för varje aktivitet för ommontering av vingmur, monteringsdag 4 (Hvitfeldt, 2011).

Vingmur				
Ungefärlig tid för varje aktivitet i minuter				
Element	Omlastning/element	Lyftning och inpassning	Väggstag	Armeringskorgar
1		16	21	19
2		7	13	
3		13	5	
4		8	26 <sup>1</sup>	
5		20 <sup>2</sup>	15	
6		8	19 <sup>3</sup>	
1) Lyftning och placering av en betongkloss. 2) Infästning av väggstag på plattan. 3) Korrigering av inpassningen.				

### Vingmurslist

Enligt kravspecifikationen monteras de prefabricerade vingmurarna. Sedan ska en komplettering av armering utföras på plats. När elementen är på plats ska armering, prefabricerade armeringskorgar och form byggas längs vingmurarnas överkant och vid sidan av elementen. Därefter gjuts betongen (Kamrad, Kravspecifikation, 2010).

När de 6 första vingmurarna var i rätt position monterades en armeringskorg på vingmurarnas överkant. Tiden för montering av de två första sidorna var ungefär 20 minuter. Därefter var det formuppsättning. När formen byggdes klart kontrollerades den innan gjutning. När betongen härdade, revs formarna och betongskiktet ytbehandlades.

Samma ordning gällde för de 6 övriga elementen, dock skiljde sig armeringstiden med en minut, och uppgick till 19 minuter.

### Kantbalkar

Precis som vingmurslisten börjar man också med att bygga formen för kantbalkarna, kontrollera dem, armera och därefter gjuta betongen. Installationer tas i beaktning. Efter att betongen har härdat river man formarna och behandlar ytan. Sedan monteras räcken. Kantbalkarna ska kunna bytas ut vid behov utan att man behöver göra ingrepp i huvudkonstruktionen (Thomas Kamrad, Protokollmöte, 2010).

### Färdigställande

Efter det att kantbalkarna var färdiggjutna och formarna var rivna började man med att lägga ut motfyllning mot vingmurarna. Därefter kopplade man samman vägbanan med befintlig väg och lade vägbeläggning. De slutliga installationerna som till exempel belysning monterades upp och bron blev färdigställd.



## 5 Analys och diskussion

Genomgående för hela brobranschen är att möjligheten till att bygga med hjälp av prefabricering till stora delar styrs av beställarens krav på produkten. Som beställare kan man tidigt i projektprocessen styra möjligheterna till att använda olika tekniska lösningar för att produkten ska uppnå önskat resultat. För Tenhultsbron var det Trafikverkets beslut att ej låsa frihetsgrader genom att inte specificera bronns gestaltning som möjliggjorde projektet. Dessutom uppmuntrades innovativa förslag i anbudsskedet, något som också öppnade upp för en prefab-lösning.

Platsgjutna betongbroar är betydligt mer vanliga än prefabricerade betongbroar. En följd av detta är att regelverk som exempelvis TRVK Bro 11 inte behandlar alla situationer som kan uppkomma då man bygger med prefab. Ett exempel på detta i projektet med Tenhultsbron är problemet med skarvning av ingjuten armering, då man var tvungen att frångå BBK 04 och istället använda sig av den gamla tyska bronnormen DIN 1045.

Om kraven från beställarna tillåter så är det upp till entreprenören att besluta om byggmetod. En förutsättning för att prefabricering ska kunna konkurrera med traditionellt byggda betongbroar är att det är fördelaktigt med avseende på byggtid, kostnad och/eller kvalitet. Praktiska saker som avstånd mellan fabrik och byggarbetsplats såväl som bronns läge är parametrar som bör beaktas för att uppnå en så hög effektivitet som möjligt.

Det är viktigt för entreprenören att ha en kontinuerlig kommunikation med konstruktör och elementtillverkaren för att säkerställa leverans och montering av elementen. När man uppförde Tenhultsbron var det en del brister i kommunikationen mellan de som monterade bron och övriga parter. Detta ledde som tidigare nämnts till att delar av vingmurselementen monterades i fel ordning.

Konstruktören, vars arbetsuppgift är att säkerställa att konstruktionen uppfyller ställda tekniska krav, bör ha en löpande kontakt med elementtillverkaren och beställaren då deras arbeten påverkas av varandra. Som konstruktör för en prefabricerad bro krävs erfarenhet och samarbete med inblandade parter för att projektet ska kunna genomföras. Detta är något som fungerat väldigt bra när Tenhultsbron konstruerades. För konstruktören innebar dock utformningen av Tenhultsbron en del svårigheter i beräkningsskedet, då det existerar flera plan där platsgjuten och prefabricerad betong möts och skjuvkrafter måste räknas ut. Själva dimensionerings- och projekteringsarbetet är något som blir effektivare ju fler liknande projekt som genomförs. Man talar vanligtvis om ett så kallat inläringstal vars innebörd är att den tid som krävs för att utföra en viss aktivitet avtar exponentiellt med antalet upprepningar. Det är således mycket troligt att om samma konstruktör konstruerade en liknande bro en gång till så skulle det ta avsevärt mycket mindre tid.

Som elementtillverkare ansvarar man för att elementen har god kvalitet och att dem levereras på utsatt tid. Då man tillverkar element i fabrik krävs så kallade tillverkningsritningar. Dessa är ej detsamma som de armeringsritningar som konstruktören tar fram. Då tillverkningsritningar för Tenhultsbron togs fram ansåg man att det gav upphov till en potentiell felkälla. Därför gjordes ett platsbesök i fabrik för att säkerställa att så inte var fallet. Denna typ av extra arbete är något som är typiskt för ett projekt som genomförs för första gången.

Då man använder betong i ett byggnadsverk tas normalt prover på betongen för att försäkra sig om att betongen har erforderlig kvalitet. Då detta skulle göras på Tenhultsbron uppstod en

del komplikationer eftersom elementtillverkarna glömt att markera ut armeringsfria zoner där det var möjligt att ta en borrkärna. Detta är ett exempel på hur viktigt det är med en god kommunikation mellan alla inblandade parter.

Om en liknande bro som den i Tenhult skulle göras kan man, enligt ansvarig person hos elementtillverkaren, göra elementen större utan att transporten av elementen skulle klassas som bred last. Detta är något som skulle kunna få ner tiden för montaget och leda till en effektivare montageprocess. Däremot skulle tyngden på elementen öka och en större kran eventuellt behövas.

Under själva monteringsprocessen uppstod en del olika problem som alla på sitt sätt minskade effektiviteten av projektet. Viktigt att inse är att det i praktiken alltid finns aktiviteter som kan effektiviseras och att en aktivitet kan vara utförd på ett bra sätt även då aktiviteten i sig inte är optimerad med avseende på effektivitet.

Vid montering av rambenen, som bestod av 6 stycken element, var en omlastning nödvändig. Denna omlastning berodde på att elementen var felplacerade och låg för långt bort för att kranbilen skulle kunna lyfta dem och placera dem på plats. Detta berodde antagligen på kommunikationsfel eller brist på plats då dessa element levererades fram. För att undvika de tidsförluster som uppstår i samband med en omlastning är det viktigt att ha framförhållning och en genomtänkt planering av arbetsområdet. Dessutom måste förarna av transportfordonen meddelas om var bästa plats för avlastning är.

Även vid montering av plattbärlagen var en omlastning nödvändig, där samtliga tre element var placerade uppe på en intilliggande bro. När det första elementet lastades på lastbilskranen och kördes ner till Tenhultsbron för att monteras, insåg man att kranen var för liten. Därför avbröt man monteringen, vilket resulterade i flera timmars extra arbete. De faktorer som bidrog till denna omlastning var dels att bron var belägen i ett schakt, att intilliggande broar och vägar ej var färdigställda och därför inte kunde utnyttjas. Enligt platschefen på PEAB hade det räckt med en kran med 50-tons lyftkapacitet för att montera plattbärlagen, men på grund av rådande omständigheter var man alltså tvungen att gå upp i dimension till en kran med 80-tons lyftkapacitet. Detta hade kunnat undvikas om man under planeringsskedet tog hänsyn till dessa faktorer.

En omlastning av vingmurselement nummer tre var också här nödvändig på grund av att lyftkedjorna initieellt placerades på ett felaktigt sätt. Detta hade kunnat undvikas till exempel genom att man mer detaljerat följde angivna anvisningar på lyftning av elementen.

Felmonteringen av vingmurselement nummer 4 berodde främst på felöversättningen av bifogade ritningar då elementen inte var helt identiska. Att det talades tre språk under projektets gång kan också vara en anledning till missförstånd av ritningarna, då de översattes från svenska till engelska och slutligen till polska. Dålig kommunikation kan lätt uppstå i sådana situationer och leda till fel som till exempel felplacering av element. Dessutom kan tillvägagångssätt och arbetstraditioner skilja sig från land till land. Därför hade det varit till fördel att ha översatta och tydliga dokument och ritningar så att anställda underentreprenörer, som till exempel montörerna av Tenhultsbron, kan läsa av ritningar på rätt sätt och undvika fel.

Det var svårt att passa in en del prefabricerade element till den platsgjutna grundplattan. Detta berodde främst på små utrymmen mellan armeringen som stack upp från plattan och armeringen som var ingjuten i elementen. Om kraven i normerna revideras och anpassas för

prefabricerat brobyggande undviker man fall som leder till överarmerade prefabricerade konstruktioner som Tenhultsbron.

Beträffande tid och kostnad för Tenhultsbron i förhållande till den på förhand bestämda tidplan och budget, så saknas tyvärr vital information kring detta. Hela projektet med omläggning av riksväg 31 kunde levereras i tid, men om just bro 6-1217-1 tog mer eller mindre tid än beräknat är dock svårt att uppskatta på grund av omständigheterna. Dels uppfördes bron innan detta examensarbete startat, varpå vi endast kunnat ta del av en film av själva montaget, men inte uppförandet i sin helhet. Om vi kunnat vara på plats hade vi kunnat få en bättre överblick för hela arbetet gång och ett mer exakt utfall hade kunnat uppskattas. Kostnad för bron i förhållande till budget är också svårt att uppskatta då vi saknat tillgång till de kalkyler som behandlar detta.

Tid och kostnad för Tenhultsbron jämfört med en traditionell platsgjuten bro är även det svårt att uppskatta. En del av de ingående arbetsmoment vet vi har tagit längre tid än för en platsgjuten bro, till exempel dimensioneringen. Men samtidigt så är inte eventuella tidsvinster vid prefabricerat byggande jämt fördelade över alla ingående aktiviteter, utan är istället fördelade på sådant sätt att vissa aktiviteter tar längre tid än vid en platsgjuten bro, medan andra tar mindre tid, som exempelvis formbygge. Den totala tidsåtgången är det som är relevant ur effektivitetssynpunkt och då vi ej haft tillgång till projektdokumentationen kan inte ett träffsäkert resultat ges. Sett till ekonomin så har Tenhultsbron sannolikt kostat mer än dess platsgjutna motsvarighet. En del siffror pekar på att det rört sig om runt dubbelt eller till och med tre gånger så mycket, men osäkerheten i dessa uppskattningar kan vara stor. Att Tenhultsbron kostat mer var också att vänta eftersom det är första gången en bro av sådant slag uppförts. Kostnaderna skulle sannolikt vara mindre om man gjort en liknande bro en gång till, då man kan utnyttja erfarenheter från det tidigare projektet.

### **Förslag till hur konceptet kan utvecklas:**

Sverige är, som tidigare nämnts, inte något av de länder som ligger längst fram i användandet av prefabricering inom brobyggnad. De senaste åren har man dock kunnat se något av ett trendbrott. På den årliga brobyggardagen i januari 2012 var flera av de projekten som redovisades just prefabricerade betongbroar. Konceptet har helt klart en framtid men vissa saker måste utvecklas för att tilltala beställare och entreprenörer.

Historiskt sett så är det inom en organisation ofta ett motstånd mot nya sätt att göra saker på, då det handlar om något okänt och oberäkneligt för berörda personer. Platschefer, projektledare och personer med liknande befattning ska visa vinst redan första gången man genomför ett innovativt projekt som Tenhultsbron. Om sådana projekt istället betalades centralt, eller fick stöd genom någon typ av innovationsbidrag skulle detta motstånd i organisationen förebyggas och utvecklingen främjas.

En av fördelarna med att bygga med hjälp av prefabricering är att man slipper den många gånger omständliga formbyggnationen. Ser man till just den metod som användes när man byggde Tenhultsbron så var man ändå tvungen att bygga en gjutform för att kunna gjuta kantbalkarna eftersom dessa inte ingick i plattbärlagselementen. Detta är, enligt platschefen, i princip lika mycket jobb som att bygga form för hela brodäcket. Man tappar alltså en av de största fördelarna med att bygga med prefabricerade element. Ett av kraven för Tenhultsbron var dock att kantbalken skulle kunna bytas utan ingrepp i huvudkonstruktionen. Om man till exempel prefabricerade kantbalkar med färdigmonterade räckeshållare och mätanordning för elektrokemisk potential och dessutom skulle kunna montera och byta dem utan ingrepp i övriga brodäcket skulle prefabricerade betongbroar bli mer konkurrenskraftiga.



En annan viktig fördel med att använda prefab är att själva byggtiden minskas. I just brosammanhang är detta en viktig parameter, då trafikomledningar under långa perioder är ett relativt stort samhällsekonomiskt störningsmoment. Om man använder prefabricerade broar på platser där mycket trafik passerar minskas dessa störningar, på grund av den potentiellt kortare byggtiden.

Själva läget på bron är en annan viktig parameter som bör beaktas då man bestämmer typ av bro. Är det över tågspår, vattendrag eller en gång- och cykelväg? När en bro går över till exempel en järnväg så påverkas även spårtrafiken under bron. Går bron över ett vattendrag så minskar en prefabricerad bro risken för att påverka omkringliggande miljö, då tillverkningen av elementen sker på annan plats. Om bron dessutom ligger långt utanför ett samhälle är det av intresse för byggarbetarna att minska på byggtiden då det minimerar behovet av arbetsstugor under längre tidsperioder.

En av nackdelarna och tillika flaskhals med prefabricerade betongelement är transporten av elementen. Om elementen är så pass lång att speciell transport erfordras, blir det en större kostnad. Det är av den anledningen ogynnsamt att använda prefabricerade betongelement i större brokonstruktioner.

En annan nackdel som uppdagats under arbetet med Tenhultsbron var att de beräkningskrav som ställs i normer föranledde en något överarmerad konstruktion. Dessutom valde man att, på grund av krav på kontrollerad sprickbildning, placera ut lister av träskivor i elementskarvarna och sedan spackla över dessa med cementbruk. Listerna fyller då en funktions som en form av rörelsefogar. Detta är något som framför allt försämrar den estetiska kvaliteten hos bron.

## 6 Slutsatser

Resultatet av detta examensarbete visar på att det finns vissa faktorer som har större betydelse än andra då man överväger att bygga en betongbro med hjälp av prefabricering. Byggtiden är en av dessa faktorer. Ligger bron på en högtrafikerad sträcka är prefabricering ett bra alternativ för att minimera trafikstörningar. Är bron belägen långt från tätbebyggelse minskar etableringens omfattning då man bygger med prefab. Byggarbetsplatsens läge i förhållande till fabriken där elementen tillverkas är också en faktor som bör tas i beaktning. Är fabriken för långt bort blir transporten dyrare. Om elementen dessutom tillverkas med stora dimensioner måste eventuellt leveransen gå som bred transport, vilket ökar kostnaderna ytterligare. En annan faktor som är viktig är hur platsen där bron ska uppföras ser ut. Vid uppförandet av Tenhultsbron var bron belägen på ett olämpligt och svåråtkomligt ställe. Detta ledde till att större och dyrare utrustning erfordrades. Dessutom drog arbetet ut en aning på tiden, då man inte förutåg detta i planeringen. Vid själva monteringskedet är erfarenheten hos entreprenören en betydande faktor. Har denne utfört liknande projekt tidigare kan eventuella problem förutses och lösas snabbt. Dessutom arbetar entreprenören effektivare för varje upprepning. Erfarenhet hos konstruktör och elementleverantör, samt samarbetet mellan dessa är också en avgörande faktor. Den absolut viktigaste faktorn är att intresset för att använda prefabricering är stort hos beställaren. Beställaren bör åtminstone inte låsa den tekniska lösningen redan i förfrågningsunderlaget. Detta är en grundförutsättning för att man ska kunna använda och vidareutveckla konceptet prefabricerade betongbroar.

Vidare visar detta examensarbete på följande fördelar och nackdelar då man bygger betongbroar med inslag av prefabricering jämfört med traditionellt platsgjutna betongbroar:

### **Fördelar:**

Kortare byggtid och mindre trafikstörningar  
Tillverkning i en kontrollerad miljö  
Minskar på antalet formbyggnationer  
Kräver en mindre etablering  
Stor effektiviseringspotential

### **Nackdelar:**

Mindre variation på broarnas utseende  
Begränsad spännvidd  
Förutsätter enkel geometri  
Större ekonomisk risk  
Ett visst motstånd mot konceptet

### **Förslag till fortsatt arbete inom ämnet**

För att utveckla kunskapen kring prefabricerat brobyggande i betong föreslår vi att man tittar på andra brotyper. Prefabricerade balkbroar av betong, med betongfarbana är en typ av bro som kan vara intressant att studera närmare. Dessa kan tillverkas i ett stycke och bör lämpa sig bra som kortare broar över bäckar och liknande hinder. Det kan också vara av intresse att jämföra prefabricerade betongbroar med trä- och stålbroar, samt att se till hela brons livscykel.



## 7 Referenser

### Böcker

Sundquist, Håkan. (2009) *Infrastructure Structures*. Stockholm: KTH Div. for Structural Design & Bridges.

Tonnquist, Bo. (2008) *Projektledning*. Stockholm: Bonnier Utbildning AB.

Vägverket. (1996) *Broprojektering- en handbok*. Borlänge: Vägverkets tryckeri.

### Internet

AASHTO. (2012) *highways.transportation.org*

Hämtat från: <http://highways.transportation.org/Documents/AASHTOHandOut.pdf>

2012-02-23

Abetong. (2012) *www.heidelbergcement.com*

Hämtat från: [http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/0587BD3D-749A-4813-898A-A07276D51A3B/0/AbetongTunnlarochbroar\\_1%C3%A5g.pdf](http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/0587BD3D-749A-4813-898A-A07276D51A3B/0/AbetongTunnlarochbroar_1%C3%A5g.pdf)

2012-02-23

Ecotech. (2012) *www.ecotech.se*

Hämtat från: <http://www.ecotech.se/category/tjanster/miljo/processkartlaggning>

2012-03-06

Kammarkollegiet. (2012) *www.kammarkollegiet.se*

Hämtat från: <http://www.kammarkollegiet.se/inkopscentralen/ramavtal>

2012-03-15

NCC. (2012) *www.ncc.se*

Hämtat från: <http://ncc.se/sv/Infrastruktur/Broar-och-tunnlar/Montagebro/>

2012-02-13

Readperiodicals. (2012) *readperiodicals.com*

Hämtat från: <http://readperiodicals.com/201111/2549674041.html>

2012-02-13

Strängbetong. (2012) *www.strangbetong.se*

Hämtat från: <http://www.strangbetong.se/om-strangbetong/fakta/historia/>

2012-02-22

Trafikverket. (2012) *publikationswebbutik.vv.se*

Hämtat från: [http://publikationswebbutik.vv.se/shopping/ShowItem\\_4303.aspx](http://publikationswebbutik.vv.se/shopping/ShowItem_4303.aspx)

2012-03-16

Trafikverket. (2012) *www.trafikverket.se*

Hämtat från: <http://www.trafikverket.se/Jobb-och-framtid/Jobba-hos-oss/Traineer/Flikar/Aktuellt/Tjanster/Projektledare-Underhall/>

2012-03-15

Trafikverket. (2012) [www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se)

Hämtat från: [http://publikationswebbutik.vv.se/upload/5437/89309\\_nu\\_bygger vi-vag\\_31\\_forbi\\_tenhult.pdf](http://publikationswebbutik.vv.se/upload/5437/89309_nu_bygger_vi-vag_31_forbi_tenhult.pdf)

2012-02-10

Trafikverket. (2012) [www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se)

Hämtat från: <http://www.trafikverket.se/Foretag/Bygga-och-underhalla/Vag/Drift-och-underhall/Om-drift-och-underhall/>

2012-03-15

## Kurser

Föreläsning 2012-02-19; Olander, Stefan.

*Upphandling*. VBEA10 Byggprocessen, Lunds Tekniska Högskola.

Hämtad från: <http://www.bekon.lth.se/fileadmin/byggnadsekonomi/Upphandling.pdf>

2012-03-15

Föreläsning 2012-02-23; Ågren, Robert.

*Entreprenadjuridik*. VBEA10 Byggprocessen, Lunds Tekniska Högskola.

Hämtad från: [http://prezi.com/ge3s0rx\\_apjd/entreprenadjuridik/?auth\\_key=71110a05e9435c955948d334eb01963a018189f3](http://prezi.com/ge3s0rx_apjd/entreprenadjuridik/?auth_key=71110a05e9435c955948d334eb01963a018189f3)

2012-03-15

## Rapporter

Caster, Rickard, & Deuschl, Gustav. (2007) *Armeringsmetoder för att uppnå ett effektivt industrialiserat platsbyggande*. Göteborg: Institutionen för bygg- och miljöteknik.

Davidsson, Niklas, & Furuholm, Hannes. (2009) *Formsättning för broar- Tillfälliga konstruktioner vid brobyggnad*. Göteborg: Chalmers University of Technology.

Ehlorsson, Viktor, & Palmqvist, Victor. (2010) *Prefabricerade betongbroar- är det möjligt?* Halmstad: Högskolan i Halmstad.

Eriksson, David, & Jakobson, Hannes. (2009) *Prefabricerade betongbroar- ett lönsamt koncept?* Lund: KFS AB.

Fagerlund, Göran. (2008) *Krav på frostbeständighet hos svensk betong åren 1994-2008*. Lund: Avdelningen för byggnadsmaterial.

Helland, Henriette, & Osterberg, Sonja. (2012) *Produktivitet som mätinstrument*. Göteborg: Handelshögskolan vid Göteborgs Universitet.

Olsson, Peter. (2009) *3D FE Analys av korttidsmätningar hos samverkansbro med integrerade landfästen över Leduån*. Luleå: Luleås Tekniska Universitet.

Pétursson, Hans (2000). *Broar med integrerade landfästen*. Luleå: Luleås Tekniska Högskola.

Simonsson, Peter, & Emborg, Mats. (2009) *Industrialized construction: benefits using SCC in cast in-situ construction*. Nordic Concrete Research.

Sivakumar, Bala. (2011). *Iowa accelerated bridge construction- demonstration project*. New York.

## **Handlingar**

Centerlöv & Holmberg. (2010) Ritn. 2 43K20 12. *Bygghandling, relationsritning* . Malmö.

Centerlöv & Holmberg. (2010) Ritn. 2 43K20 22. *Bygghandling, relationsritning* . Malmö.

Centerlöv & Holmberg. (2010) Ritn. 2 43K20 31. *Bygghandling, relationsritning* . Malmö.

Kamrad, Thomas. (2010) *Kravspecifikation*. Malmö: Centerlöv & Holmberg.

Kamrad, Thomas, & Larsson Rabi, Anna. (2010) Ritn. 2 43K20 11. *Bygghandling, relationsritning*. Malmö: Centerlöv & Holmberg.

## **Intervjuer**

Hårskog, Mikael. (den 11 November 2011). (B. Johansson, Intervjuare)

Hägglund, Calle. (den 7 November 2011). (S. Shamun, Intervjuare)

Kamrad, Thomas. (den 30 November 2011). (B. Johansson, Intervjuare)

Nilsson, Lars-Olof. (den 11 November 2011). (B. Johansson, & S. Shamun, Intervjuare)

Olausen, Jan. (den 18 11 2011). (B. Johansson, Intervjuare)

## **Film**

Hvitfeldt, Tommy. (2011) *Montage av prefabricerade betongelement; Bro vid Tenhult-Riksväg 31*. Hvitfeldt produktion.

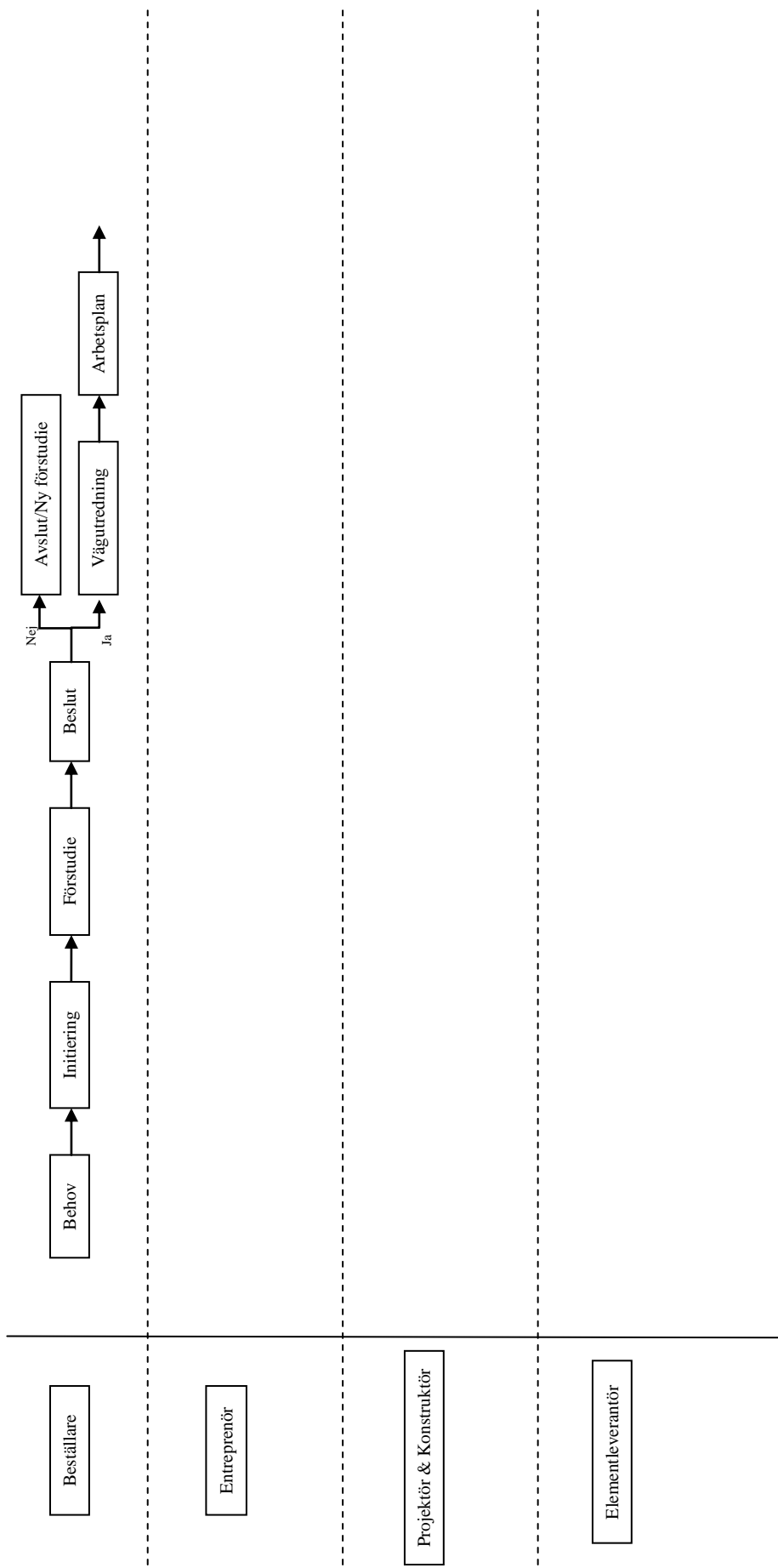
## **Foton**

Johansson, Björn. LTH, Jönköping.

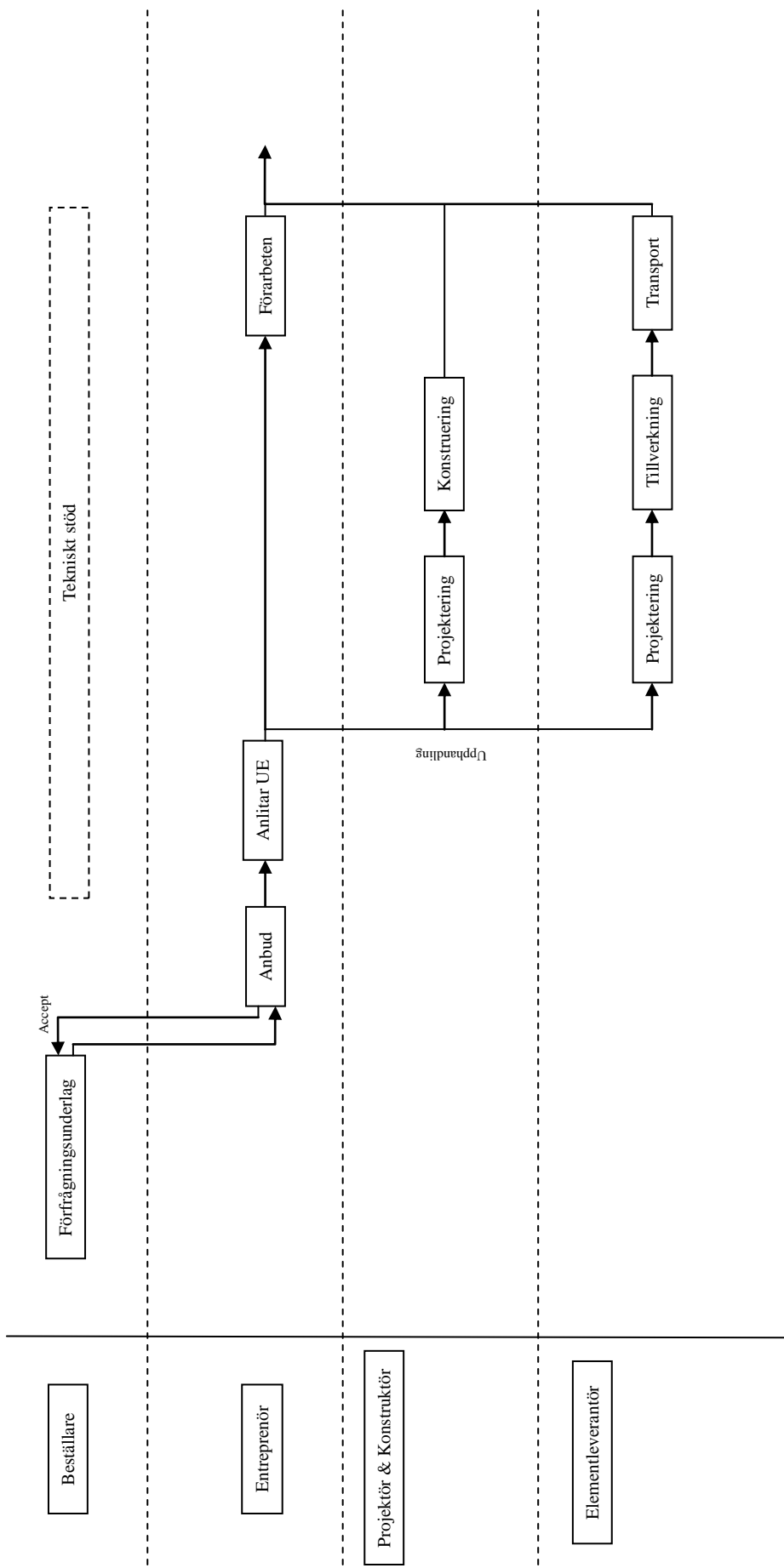
Shamun, Sayle. LTH, Bjästa.

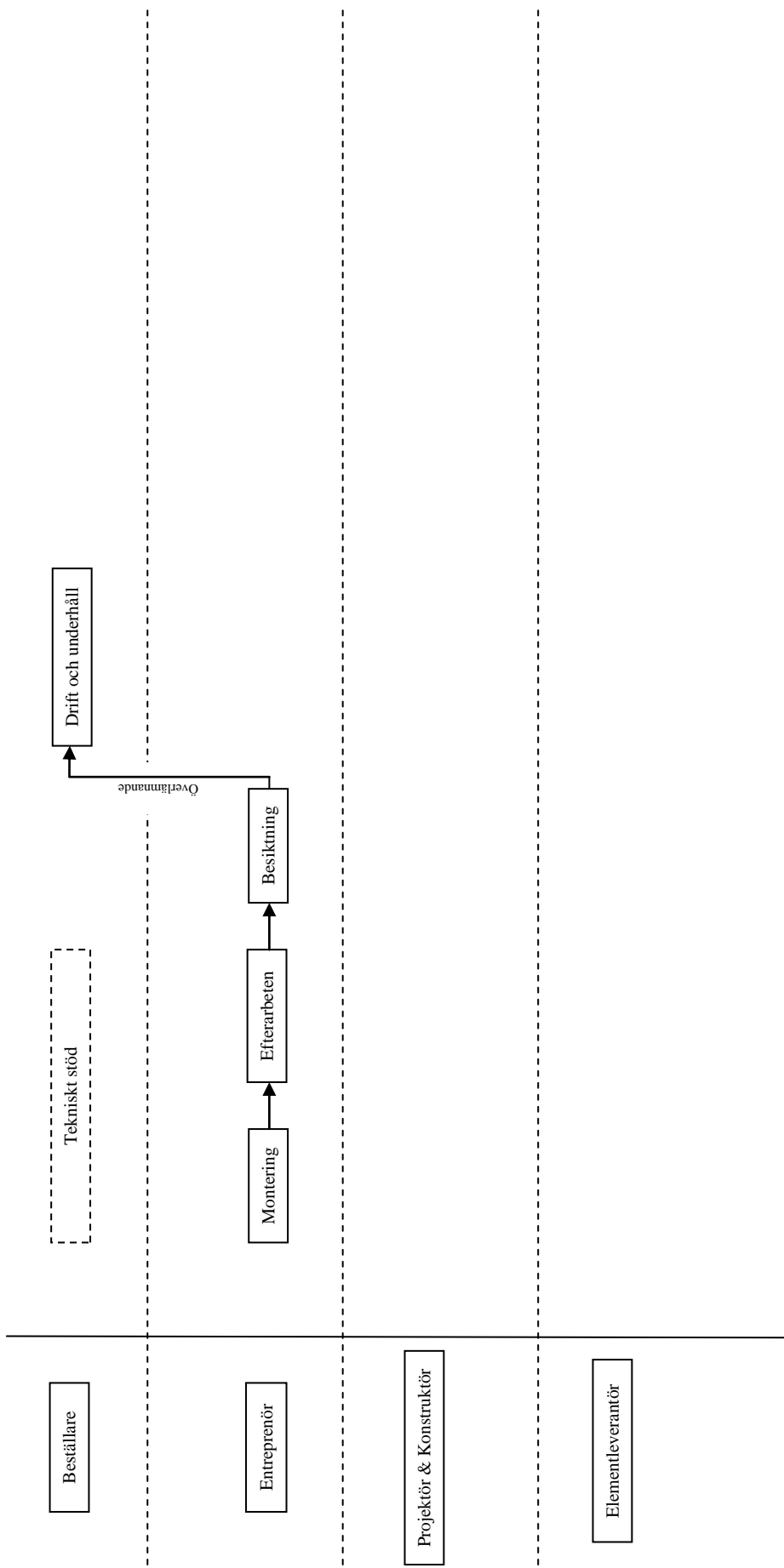


# Bilaga A: PROCESSKARTA



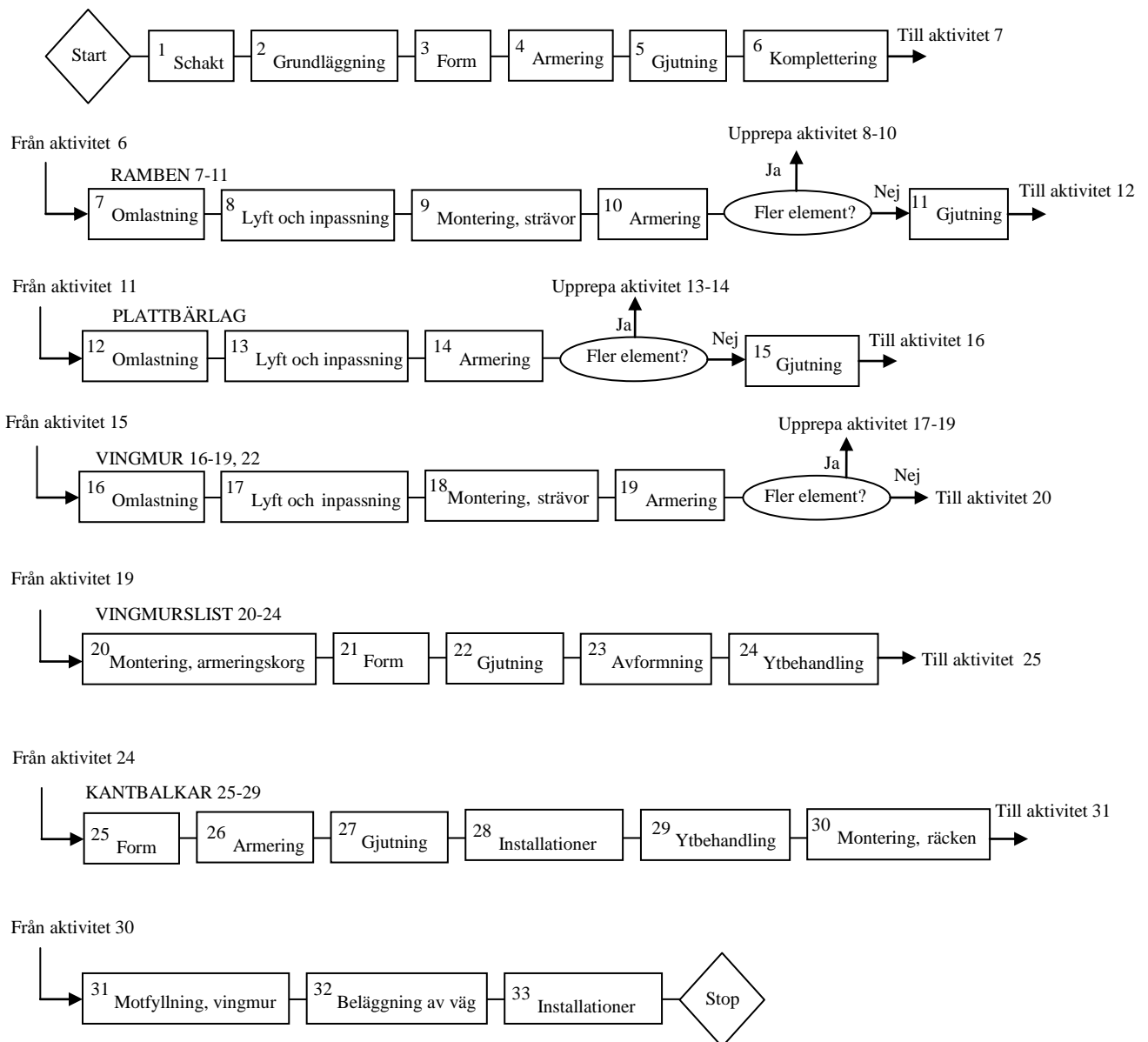








# Bilaga B: FLÖDESSCHEMA





## Bilaga C: INTERVJUFRÅGOR

### Skandinaviska Byggelement (Calle Hägglund – Teknikansvarig hos elementtillverkaren)

- Vad var din roll i detta projekt?
- Kan du beskriva tillverkningsprocessen för prefabelement allmänt?
- Skiljde sig något i tillverkningsprocessen när ni tillverkade elementen till Tenhultsbron?
- Kan du beskriva varje delsteg i processen, vilka resurser som används?
- Låg elementen på lager innan leverans? Om ”JA”, hur länge?
- Hur levererades elementen (alla på samma gång vid samma tillfälle)?
- När levererades elementen i förhållande till när de behövdes (förseningar)?
- Vad har ni för kvalitetskontroller i de olika stegen?
- Vilka begränsningar finns i er verksamhet?
- Hur har kommunikationen gått till mellan er och PEAB?
- Har du stött på några svårigheter eller hinder i arbetet med att ta fram elementen till Tenhultsbron?
- Tror du att detta koncept har en framtid? (motivera)

### **PEAB (Jan Olaussen – Platschef bro)**

- Vad var din roll i projektet? (Funktion och ansvar)
- Hur var arbetet på platsen organiserat? (Vem ansvarade för vad etc.)
- Kan du berätta övergripande om tidplan och budget för projektet?
- Vilka delmoment ingick i byggandet av bron? (grundläggningsarbete, montage av prefab-element, kompletterande armering, formning, ingjutningsgods m.m.)
- Vilka resurser användes i form av material, personal och maskiner för dessa delmoment?
- Fanns det ledtider/tidsglapp mellan dessa aktiviteter? (Framst i anknytning till montage av elementen, men även anslutande arbete)
- Hur har samordning mellan inblandade UE gått till?
- Varför valdes en prefablösning?
- Vilket underlag användes för att ta fram produktionskalkyl för prefab-metoden?
- Vilka risker vägdes in i samband med kalkylering m.h.t. valet av prefab?
- Gjordes någon anpassning av resursbehovet?
- Hur var den kalkylerade produktionskostnaden jämfört med traditionell metod?
- Hur planerades brobygget? (indelning i etapper)
- Hur påverkades övriga arbeten av att prefab-element användes?
- Uppskattningsvis, hur påverkades byggtiden av att man valde en prefab-lösning jämför med om man använd traditionell metod?
- När avropades element från fabrik? Kom alla samtidigt eller var de uppdelade efter typ eller montageetapp?
- Hur gick monteringen av elementen? (eventuella problem)
- Hölls produktionstidplan och budget? Om inte, hur och varför?
- Vad ser du för fördelar med denna metod jämfört med traditionell metod?
- Vad ser du för nackdelar med denna metod jämfört med traditionell metod?
- Vad tror du behöver förbättras för att det ska bli en etablerad metod?
- Finns det något som måste förändras på arbetsplatsen för att man bättre ska kunna dra nytta av ”prefab-metoden”?
- Tror du att detta koncept har en framtid? (motivera)

### **Trafikverket (Lars-Olof Nilsson – Teknikstöd i projektet)**

- Vad var din roll i projektet? (funktion och ansvar)
- Kan du beskriva processen för detta projekt övergripligt? När ”kopplades” du in?
- Vad var det för upphandlingsform? (entreprenadform)
- Hur har kommunikationen gått till mellan er (TV) och andra inblandade entreprenörer(PEAB, SB, C&H)?
- Vilka tekniska aspekter är viktiga för trafikverket vid val av byggmetod?
- Vilka av dessa är specifikt viktiga då prefab-element används?
- Har det varit några svårigheter från entreprenörens sida att uppfylla kraven i TK Bro till följd av att man valde att bygga med prefab?
- Har valet av denna byggmetod inneburit ändrade arbetsrutiner? (kontroller, extra detaljanalyser m.m.)
- Tror du att valet av byggmetod kommer påverka framtida underhåll av bron? På vilket sätt?
- Har du i ditt arbete med detta projekt mött några specifika svårigheter?
- Vad ser du för för- och nackdelar med prefab som byggmetod vid brobyggnad?
- Vilka möjligheter och begränsningar ser du i konceptet?
- Vad tycker du behöver förändras och förbättras för att konceptet ska kunna etableras på marknaden? (vem måste göra ev. förändringar?)



### **Trafikverket (Mikael Hårrskog – Beställarens projektledare)**

- Vad var din roll i projektet? (funktion och ansvar)
- Kan du översiktligt beskriva processen inom trafikverket för nybyggnation av bro?
- När i hela byggprocessen fattas normal beslut om val av byggmetod?
- Vilka aspekter är viktiga vid val av byggmetod?
- Vilka var viktigast i detta projekt?
- Vilka ledtider har Trafikverket för beslut, granskning och kontroller?
- Hur har kommunikationen varit mellan er (TF) och de inblandade entreprenörerna (PEAB, C&H, SB)?
- Hur har projektets ekonomi påverkats av att man valt att bygga med prefab? (har budget hållits?)
- Hur har projektets tidplan påverkats av att man valt att bygga med prefab? (har tidplan hållits?)
- Vilka fördelar ser du med prefabricering av broar jämfört med traditionellt byggda broar, sett till trafikverket, samhället och entreprenörer?
- Vilka nackdelar finns?
- Har du i ditt arbete med detta projekt stött på några specifika svårigheter?
- Hur tycker du att använd byggmetod har fungerat?
- Vilka möjligheter och begränsningar ser du i konceptet?
- Vad tycker du behöver förändras och förbättras för att konceptet ska kunna etableras på marknaden? (vem måste göra ev. förändringar?)
- Tror du att detta koncept har en framtid? (motivera)

### **Centerlöf & Holmberg (Thomas Kamrad – Konstruktör)**

- Vad var din roll i projektet? (funktion och ansvar)
- Kan du beskriva hur ansvarsfördelningen varit bland olika parter gällande dimensionering och projektering?
- Vilka tekniska krav måste du som konstruktör beakta? (bärförmåga, beständighet, byggbarhet m.m.)
- Har det varit några av dessa krav som har varit svåra att uppfylla då prefab-element har använts?
- Har användningen av prefab påverkat dimensioneringen av bron? På vilket sätt? (mer komplexa beräkningar?)
- Har användningen av prefab påverkat projekteringen av bron? På vilket sätt?
- Hur har du i ditt arbete fått ta hänsyn till krav gällande tillverkning och montage?
- Hur har kommunikationen varit mellan er, beställaren och elementleverantören?
- Upplever du att ni någon gång saknat information från andra parter (PEAB, SB, TV) som försvårat eller försenat ert arbete?
- Har du i ditt arbete med detta projekt stött på några specifika svårigheter?
- Vilka möjligheter ser du i konceptet? (standardisering i dimensionering)
- Vilka begränsningar ser du i konceptet?
- Vad tycker du behöver förändras och förbättras för att konceptet ska kunna etableras på marknaden? (vem måste göra ev. förändringar?)
- Tror du att detta koncept har en framtid? (motivera)