
Snabba brobyten och brobyggnationer

Svensk sammanfattning

SBUF-projekt

Rapport nr: 12691

Alexander Mathern / Tobias Larsson, NCC Teknik
2013-01-31

Förord

Detta SBUF-projekt har studerat innovativa lösningar med avsikt att snabba upp brobyten samt minska byggtider. Arbetet har utförts genom litteraturstudier samt intervjuer med beställare och entreprenörer. Projektet genomfördes med avsikten att bidra till kunskapsuppbyggnaden i EU-projektet Pantura. Med anledning av detta är huvudrapporten skriven på engelska och denna kortare sammanfattning av huvudrapporten skrivs på svenska.

Ytterligare ett EU-projekt med fokus på broar och snabba brobyten upptäcktes löpa parallellt med Pantura, nämligen Mainline, vilket främst studerar järnvägsbroar i Europa. Information från båda projekten ligger till grund för denna rapport.

Med tanke på de pengar som tilldelas de ovan nämnda projekten från EU och beställarorganisationer, så inses vikten av att hitta innovativa lösningar och tekniker för att effektivisera brobyggande. Innovativa brolösningar är speciellt viktiga för områden i stadsmiljö eller järnvägssträckor där tider för brobyten är korta.

Arbetet med denna SBUF-rapport har utförts av Alexandre Mathern & Tobias Larsson, NCC Teknik, Göteborg.

I referensgruppen för projektet Snabba brobyten brobyggnationer har följande personer och företag medverkat:

- Magnus Alfredsson NCC Construction AB
- Anders Carolin Trafikverket
- Magnus Knutsson SEKO
- Johan Lundblad NCC Construction AB
- Jan Olofsson SKANSKA

Ett stort tack till er i referensgruppen som ställt upp med tid samt de uppslag ni kommit med under projektets gång.

Finansiering för genomförande kommer från SBUF, NCC, Trafikverket, SKANSKA, SEKO.

Göteborg, januari 2013.

Tobias Larsson, projektledare.

Innehållsförteckning

Förord	2
Inledning	4
Bakgrund	4
Syftet	4
Genomförande	4
ABC Accelerated Bridge Construction	5
Prefabricerade broelement	6
Stålbalkar med överfläns av betong- Preco-beams.	6
I-balkar bestående av höghållfast fiberbetong	6
Balkar bestående av kolfiber	6
En bro i en ryggsäck	7
Hybrid komposit balk	7
Tvärspännda trädäck	7
Förtillverkade brodäck av betong typ I	8
Förtillverkade brodäck av betong typ II	8
Betongdäck uppbyggda av höghållfast betong	8
Brodäck av FRP (fiber reinforced polymers)	9
Fixering av betongelement	9
Transport och installation	10
Horisontell lansering	10
Sidolansering	10
Pråm eller flytteknik	11
Rotering	11
Span by span metoden	12
Brobytarvagn	12
SPMT, Self-Propelled-Modular-Transporters	12
Fritt frambyggd-bro	13
Bro använd som en som en tillfälligkran	13
Arbetsmetoder för brobyggnationer och byten	14
Rotebro	14
Tillfälliga balkar som används i slutliga bron	14
Bro över Åby älv	15
Motalabron	15
NCC Montagebro	15
Persontågs-viadukten	16
Slutsats	17

Inledning

Bakgrund

En betydande del av dagens brobestånd, framförallt på järnvägssidan är föråldrat och behöver antingen bytas ut eller repareras [1], [2]. Med en allt mer tilltagande belastning på väg och järnvägsnätet så ökar även känsligheten för störningar och relaterade kostnader.

I storstadsregionerna är oftast utrymmet för arbetsplatser begränsat, där dessutom avstängning eller omledning av trafik inte enkelt medges. Detta medför att behovet för att utveckla lösningar för broproduktion och konstruktion där störning av trafik minimeras är en nödvändighet för en ökad effektivitet och lönsamhet.

Prefabricering av delar eller hela broar kan vara ett sätt att snabba upp brobyten eller byggnationer.

Syftet

Syftet med SBUF-projekt 12691 "Snabba brobyten och brobyggnationer" är att utföra en kartläggning av arbetsmetoder för brobyten eller forcerande arbetsmetoder med avsikt att minska tiden för färdigställandet av broar. I arbete avses även transporter, lyftmetoder och montering av broar att studeras likväl konstruktivutformning med avseende på viktreducering, sammanfogning samt användandet av nya material för att underlätta brobyggnationer.

Projektet ämnar bland annat sammanställa lösningar som användas vid arbetsplatser med sparsamt med utrymme, stadsmiljö, eller där det är högt ställda krav på minimerade störningar på trafik och omgivning.

Tanken är att projektet ska ge uppslag på använda lösningar för effektivt brobyggande till nytta för såväl entreprenörer, underkonsulter, konstruktörer och beställare. De studerade lösningarna ska verka för minskade konstruktionstider och ökad lönsamhet, samt minimera trafikstörningar och förbättra säkerheten för resenärer och byggarbetare. Delar av arbetet är en del av kunskapsuppbyggandet i pågående EU-projekt Pantura.

Genomförande

Arbetet har genomförts genom litteraturstudie där kartläggning av projekt med samma fokus har identifierats i och utanför Sverige. Dessutom har intervjuer med myndighet och arbetsplatser utförts för att fånga viktiga aspekter ur deras synvinkel.

ABC Accelerated Bridge Construction

ABC eller snabbt brobyggande är ett koncept som används i USA för brobyggnad som använder sig av innovativ planering, konstruktionsutformning, användandet av material samt produktionsmetoder. Syftet med ABC är att minska kostnader, tiden för uppförandet samt att bygga säkert.

I materialet Accelerated Bridge Construction framgår det att ett antal undersökningar är utförda beträffande brobyggnad inom USA med fokus på ABC. Dessutom är kartläggningar av olika byggtekniker i Europa och Japan utförda för att utveckla den refererade manualen Accelerated Bridge Construction.

I manualen framförs de största framgångsfaktorerna för snabbt brobyggande att vara att producera broar med prefabricerade element eller hela broar "off-site". Dessa delar eller hela broar transporteras sedan till broläget för montering, exempel på detta visas i Figur 1 & Figur 2.



Figur 1. Friberg bron, består av stålbalkar med ett kolfiberdäck, lyfts till sin slutliga position efter transport till broläget.



Figur 2. Montering av prefabricerade betong element som lyfts på plats och därmed snabbar upp byggprocessen och säkerställer en hög kvalitet på ingående komponenter.

Prefabricerade broelement

Nedan ges en kort exposé av studerade lösningar för att snabba upp brobyten eller byggnationen av broar. Några korta kommentarer ges till varje teknik, för att få en mer utförlig beskrivning hänvisas till huvudrapporten.

Stålbalkar med överfläns av betong- Preco-beams.

Preco-Beam konceptet
från ArcelorMittal



Kapning av I-balkar för att
tillhandahålla
underflänsen av stål.



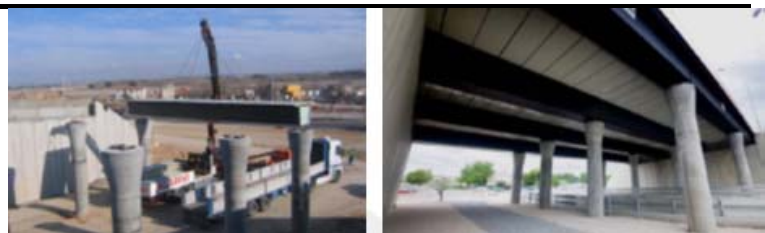
I-balkar bestående av höghållfast fiberbetong

Bilder från Setras
brobygge av Pinelbron.



Balkar bestående av kolfiber

Kolfiberbalkar användes
vid byggnationen av broar
över motorväg M11 mot
Madrid.



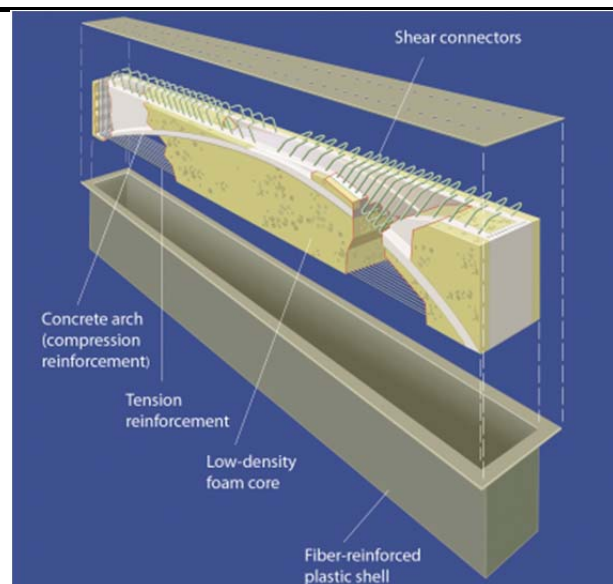
En bro som får plats i en ryggsäck

Ett system som utvecklats av universitetet i Maine i början av 2000-talet. Brokonceptet består av kolfibertuber som fylls med betong. Tuberna av kolfiber bildar därmed både en form under härdningen av betongen, samt blir de en del av det bärande systemet i den färdiga bron.



Hybrid komposit balk

Balksystem utvecklat av John Hillman och består av betong, spännlinor av stål och ett skal av kolfiber. Håligheterna i balken fylls ut med ett skummaterial. Genom detta upplägg kan vikten på balken bli 90 % lättare än en motsvarande betongbalk.



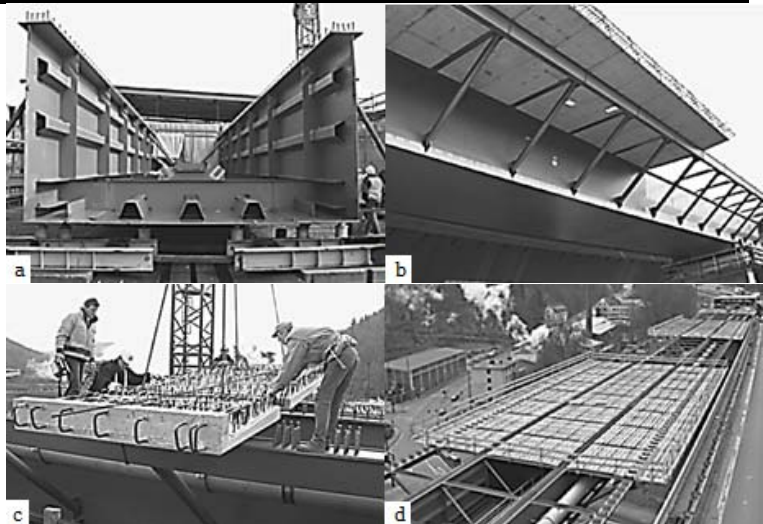
Tvärspända träfarbanor

Intresset att bygga i trä har ökat de senaste åren. Tvärspända träfarbanor kan användas vid uppförande av nya broar likväl för att erhålla ett lättare däck på en befintlig bro.



Förtillverkade brodäck av betong typ I

Betongelement används som form och därmed undviks tillfälliga konstruktioner (formbräder och stämp etc.) inför för gjutningen av farbanan. Efter att elementen placeras på sin rätta position, armeras farbanan och slutligen gjuts en kontinuerligfarbana.



Förtillverkade brodäck av betong typ II

Kompleta betongelement beträffande armering och betong. Elementen sammanfogas med varandra, antingen med läsmekanismer eller genom gjutning av betong mellan skarvarna, och underliggande balkar till en integrerad betong farbana.



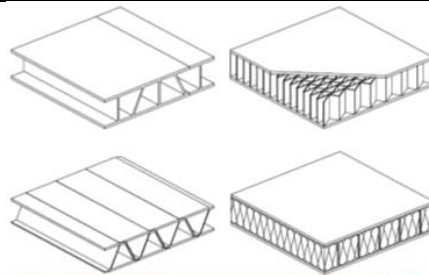
Betongdäck uppbyggda av höghållfast betong

Betongelementen utformas som en "väffla" för att spara vikt samt för att utnyttja den höga betongkvaliteten på ett effektivt sätt.



Brodäck av FRP (fiber reinforced polymers)

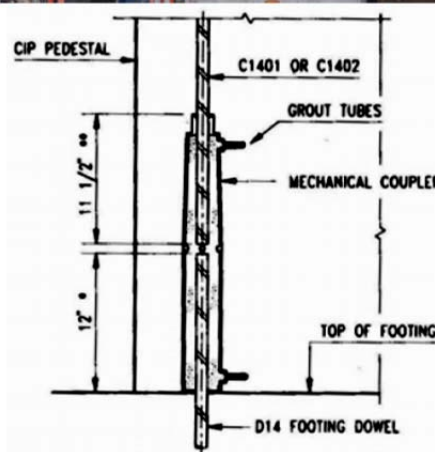
Kolfiber, en variant av FRP, kan användas för att erhålla en lätt och beständig broförfarban. Användningsområden är både vid nybyggnation samt utbyte av befintligt betongdäck.



Fixering av betongelement

För att möjliggöra kraftöverföring mellan prefabricerade betongelement på ett tillfredställande sätt har system på bilden nedan utvecklats för att förankra armering.

Armering från pelaren förs in i balken (se bild nedan) där förankring/fixeringen av armeringen sker. När elementen är på plats injekteras ett betongbruk in i hålutrymmet runt armering, detta gör att anordningen ska kunna uppta 150 % av kraften som kan uppkomma i armeringen.



Transport och installation

Nedan redovisas några av de tekniker som påträffats för transport och installation av broar. De uppvisade teknikerna är långt från alla som finns på marknaden, de som presenteras har valts utifrån att de kan underlätta eller påskynda uppförandet av broar eller minska störningar för trafikanter.

Horisontell lansering

Horisontell lansering används för att skjuta broar över dalgångar eller vägar där kranar inte kan placeras på grund av höjden eller platsutrymme.



Sidolansering

Sidolansering möjliggör byggnation bredvid brons slutgiltiga position. Arbetet på byggarbetsplatsen kan ske utan att det påverkar trafik på intilliggande väg.

Broarna på bilderna uppfördes vid Boissy-Saint-Léger i Frankrike. Två olika lanseringsmetoder utvecklades för att få broarna till deras rätta positioner.



Pråm eller flytteknik

Om tillgång till vatten finns och markförhållandena är de rätta kan utnyttjande av pråmar vara ett alternativ till lansering eller kranar.



Rotering

Rotering av broar till deras slutgiltiga position kan vara en fördelaktig produktionsmetod. Broarna uppförs på ett avskilt område där de inte påverkar trafik, vilket även har en positiv inverkan på arbetsmiljön.

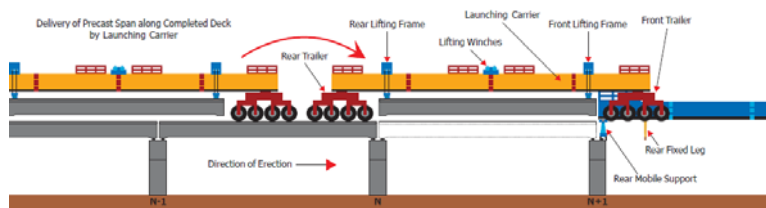
Tekniken har använts på broar med span på 100 meter.



Span by span metoden

Metoden bygger på att tillfälligt broelement används för att överbrygga mellanrummet av två upplag.

När väl den tillfälliga konstruktionen är på plats transporteras de permanenta brodelarna ut och sänks ned till sin rätta position. Den tillfälliga konstruktion flyttas till nästa span, vilket möjliggör för nästa konstruktionsdel att fraktas ut och installeras.



Brobytarvagn

Tekniken med att använda brobytarvagn är något som används ofta för att utföra brobyten med korta tågstopp. Metoden liknar den som är beskriven ovan.



SPMT, Self-Propelled-Modular-Transporters

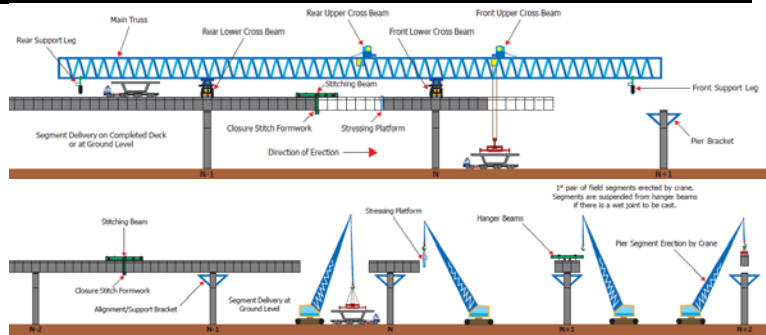
SPMT kan beskrivas som ett transportfordon med stort antal axlar. Varje axel kan vridas 360 grader och är utrustad med ett eget drivsystem. Detta gör att fordonet kan flytta stora laster och fördela ut tyngden effektivt på de många hjulparen. SPMT används oftast för att transportera hela broar från byggarbetsplatsen till det slutliga broläget.



Fritt frambyggd-bro

Fritt frambyggd bro kan antingen byggas med hjälp av kranar eller med en ställning som sträcker sig mellan pelarna.

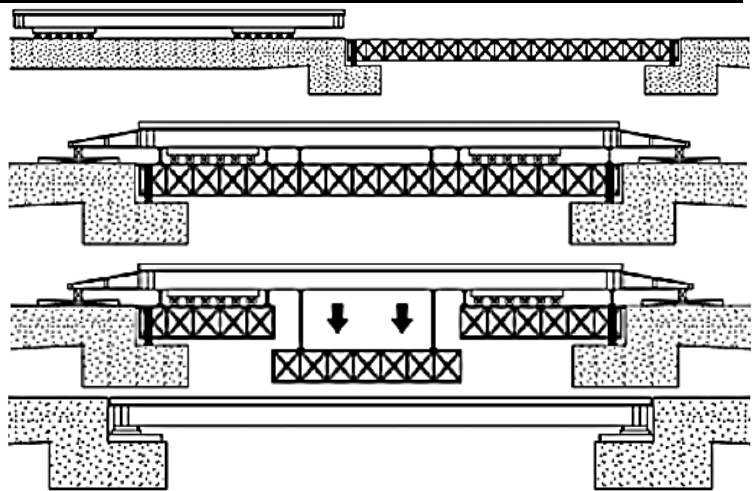
Metoden fordrar oftast tillgång till området under bron.



Bro använd som en som en tillfällig kran

För att kunna byta ut den befintliga bro används den nya bron som en kran eller travers vid nedmonteringen av den befintliga bron.

Utfördes på ett järnvägsspår i Frankrike.



Arbetsmetoder för brobyggnationer och byten

En handfull projekt presenteras, där några av de ovan nämnda tekniker används för att minimera störningar för trafikanter eller med fokus att minska byggtiden. Projekten som belyses i rapporten är:

Rotebro

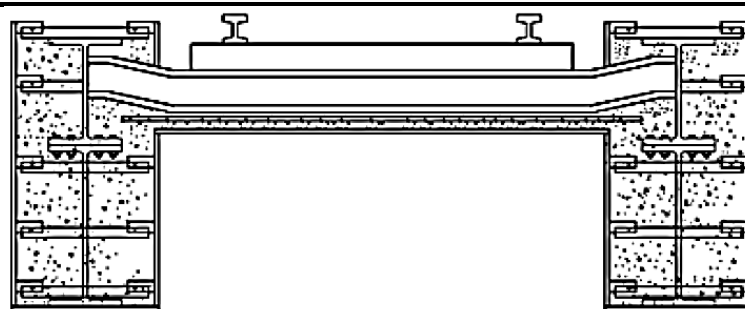
Byte av två stycken 325 meter långa motorvägsbroar på E4, Stockholm Sverige.

Projektet genomförs med bibehållen trafikkapacitet. Både horisontell- och sidolansering används för brobytena.



Tillfälliga balksegment, en del av den slutliga brokonstruktionen

Tillfälliga balksegment används för att leda om spårtrafiken under rivningsarbetet av den befintliga bron. De tillfälliga balksegmenten utnyttjas även som en komponent i den slutliga brokonstruktionen.



Projekt genomfördes för en järnvägs bro i Japan.

Bro över Åby älv

Byte av järnvägsbro mellan Skellefteå och Piteå, Sverige.

Arbetet utfördes under ett tågstopp på 34 timmar. Tekniker som bl.a. användes var kranar för lyft av bron samt sidolansering.



Motalabron

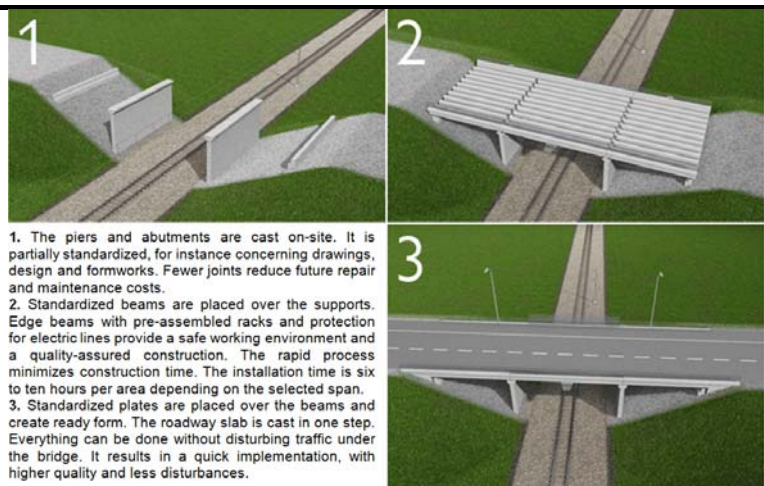
Två formvagnar används för att få ett effektivare produktionsförlopp.

Den första formvagnen gjuter mitten av farbanan medan den andra konsolerna. Projektet är beläget i Motala, Sverige.



NCC Montagebro

Ett koncept med prefabricerade element som används för en minimerad tidsåtgång vid uppförandet av planfria korsningar.



1. The piers and abutments are cast on-site. It is partially standardized, for instance concerning drawings, design and formworks. Fewer joints reduce future repair and maintenance costs.
 2. Standardized beams are placed over the supports. Edge beams with pre-assembled racks and protection for electric lines provide a safe working environment and a quality-assured construction. The rapid process minimizes construction time. The installation time is six to ten hours per area depending on the selected span.
 3. Standardized plates are placed over the beams and create ready form. The roadway slab is cast in one step. Everything can be done without disturbing traffic under the bridge. It results in a quick implementation, with higher quality and less disturbances.

**Persontågs-
viadukten**

Ett projekt med ont om utrymme över väg och järnväg, där planering var nyckeln för att genomföra brobyterna.

Hela brosektioner lyftes på plats med kran. Göteborg, Sverige.



Slutsats

I projektet har ett antal olika tekniker och arbetsmetoder presenterats, en del mer välkända och beprövade än andra. De tekniker som presenteras i rapporten är långt från allt som finns tillgängligt, de som har valts ut är på grund av dess innovation eller förmåga att minska störningar på omgivningen. Vid en jämförelse mellan olika länders broproduktion framgår det att det finns både likheter och skillnader i att uppföra broar.

I litteraturstudien påträffades projektet ABC (Accelerated Bridge Construction) från USA. I ABC projektet framgick att en snabbare byggprocess var möjlig att uppnå för broar genom användandet av prefabricerade element som transporteras till broläget för installation istället för traditionellt platsbyggande. En nackdel med användningen av prefabricerade element kan vara att flexibiliteten minskar, samt att det krävs god planering för att uppnå ett jämt flöde av element till arbetsplatsen.

Något som tydligt framgår i projektet efter att utfört litteraturstudien samt intervjuer med arbetsplatser och beställare, är att det inte längre går att enbart fokusera på uppförandet av en bro. Många av de broar som byggs eller byts ut idag befinner sig i stadsmiljö eller på järnvägslinjer, där störningar inte accepteras och är likställda med stora viten. Broprojekt fokuserar mer och mer på att minimera störningar för trafikanter och boende i närområdet samt på effektiva transporter till och från byggarbetsplatsen.

Nyckeln till ett lyckat broprojekt är planering. Att använda nya tekniker och arbetsmetoder kan vara skillnaden för hur väl ett broprojekt lyckas.