



Träbroar för Järnvägstrafik

Slutrapport

Peter Jacobsson

Martinsons Träbroar AB

Organisation: TräCentrum Norr	Författare: Peter Jacobsson	Utgåva: 1	
Dokumenttyp: Slutrapport	Filnamn: 2009-05-04 Träbroar för Järnvägstrafik Slutrapport	Datum 2009-05-04	Sida: 1 (13)

1. FÖRORD.....	2
2. SAMMANFATTNING	2
3. PROJEKTARBETE	3
3.1 Examensarbete	3
3.2 Beräkningar med elastisk idealplastisk ortotrop modell.	6
3.3 Laboratorieförsök och beräkning	7
4. SLUTSATSER	9
5. ÖVRIG PROJEKTDOKUMENTATION.....	11

1. FÖRORD

Slutrapporten är en sammanställning av det arbete som bedrivits i projektet Träbroar för järnvägstrafik. Arbetet har finansierats av Trä Centrum Norr och drivits av Martinsons Träbroar AB.

Ett tack till er som medverkat och bidragit till projektets genomförande.

Banverket - Lars Gustavsson, Anders Kronborg samt övriga från Banverket som bidragit till enkätsvaren.

Flygfältsbyrå - Tomas Svensson

LTU - Mats Ekevad och Helena Johnsson

SP Träteknik - Anders Gustafsson och Göran Forsberg

Examensarbetare från Chalmers - David Lehtonen och Anna Hallberg

Martinsons Träbroar AB - Peter Östlund och Stefan Sundqvist

Skellefteå, Maj 2009

Peter Jacobsson, Martinsons Träbroar AB

2. SAMMANFATTNING

Syftet med projektet har varit att undersöka om träbroar för järnvägstrafik kan bli ett konkurrenskraftigt alternativ till befintliga konstruktioner som i huvudsak utförs i betong eller stål.

Marknadsmässiga och tekniska förutsättningar har studerats. En bra bild av Banverkets krav och önskemål har framkommit genom enkätundersökning och intervjuer.

Projektet har genererat resultat i form av ett förslag till utförande på träbroar för Järnvägstrafik för längder under 10 m och hastigheter under 200 km/h. Förslaget är en tvärsänd platta med ballastbädd samt tätskikt uppbyggt av isoleringsmatta och gjutasfalt. Brobredd är 7 m vid nyproduktion alternativt brobredd 4,5 m med gångbryggor på upphängda konsoler vid utbyte av överbyggnad på befintliga landfästen.

Den frågeställning som krävt mest resurser av projektet har varit att hitta en beräkningsmetod för dimensionering av erforderlig kraft i de tvärgående spännstagen. I projektet har en avancerad beräkningsmodell ursprungligen avsedd för beräkning av fuktbetingade deformationer i trä använts. Utifrån den har erforderlig spännkraft kunna beräknas på ett bra sätt. Ett fullskaleprov av en broplatta har utförts för att uppskatta beräkningsmodellens överensstämmelse vilken visade sig vara god.

Organisation: TräCentrum Norr	Författare: Peter Jacobsson	Utgåva: 1	
Dokumenttyp: Slutrapport	Filnamn: 2009-05-04 Träbroar för Järnvägstrafik Slutrapport	Datum 2009-05-04	Sida: 3 (13)

Rekommenderat fortsatt arbete är

- att få acceptans för utförandeförslaget hos Banverket
- att utföra en kostnadsjämförelse mot konkurrerande material i ett skarpt projekt.
- att arbeta fram ett produktionsanpassat beräkningsverktyg
- ta nästa steg och titta på längder över 10 m och/eller hastigheter över 200 km/h .

3. PROJEKTARBETE

Nedan beskrivs genomförande och resultat från olika delar av projektet

3.1 Examensarbete

Ett examensarbete [1] på 2x20 veckors heltidsarbete (2x20 poäng) har utförts inom ramen för projektet där marknadsmässiga och tekniska förutsättningar för Träbroar för Järnvägstrafik har studerats.

Marknadsundersökningen har gjorts framförallt genom enkätundersökningar och uppföljande telefonintervjuer mot Banverkets tidigare fem regioner, Västra, Östra, Mellersta, Södra och Norra banregionerna. Enkäterna har riktats dels mot investeringsdivisionen samt mot avd. expertstöd. I tabellen nedan presenteras Banverkets bestånd av järnvägsbroar i Sverige. Fördelningen mellan broarna med avseende på material är 80% betong, 16% stål och 4% sten. Samverkansbroar av stål och betong hör då till gruppen stålbroar. Anledningen till den stora andelen betongbroar anser man vara betongkonstruktionernas enkelhet, robusthet och goda beständighet.

Region	Antal järnvägsbroar
BV-Mellersta	662
BV-Norra	390
BV Södra	863
BV-Västra	914
BV-Östra	832
Totalt	3661

Medellängden för ett spann ligger runt 13-14m. Över 10% av det totala beståndet av järnvägsbroar är kortare än 3 m. Marknaden för järnvägsbroar bedöms som stabil.

Ur marknadsundersökningen har det framkommit att beståndet av järnvägsbroar har ett eftersatt underhåll p.g.a. att en stor del av underhållsbudgeten används till att åtgärda akuta skador. Detta kan i förlängningen leda till att fler broar behöver bytas ut i förtid. På fler och fler sträckor höjs krav på axellaster och hastigheter. Idag behöver fler broar bytas ut varje år än vad som verkligen sker. I snitt byts 10-15 järnvägsbroar ut per år. Räknar man på en medellivslängd på 120 år som de dimensioneras för så borde antalet utbytta vara 30st och räknar man på 70 år som de ofta byts efter så blir det 52st av det totala antalet på 3661 broar.

Organisation: TräCentrum Norr	Författare: Peter Jacobsson	Utgåva: 1
Dokumenttyp: Slutrapport	Filnamn: 2009-05-04 Träbroar för Järnvägstrafik Slutrapport	Datum 2009-05-04
		Sida: 4 (13)

Därutöver dras nya järnvägssträckor och nya broar planeras. Ökade krav på järnvägen innefattar högre laster och snabbare tåg, Genom att bygga rakare spår förbättras förutsättningarna för höghastighetståg. Då hinder måste korsas istället för att undvikas ger det i kuperad terräng fler broar. Vid dubbelspår föredrar man enkelspårsbroar för att underlätta underhåll då en i taget kan stängas av.

Kostnadsjämförelse var också planerat i examensarbetet men då alla broprojekt har så olika förutsättningar så bedömdes svårighetsgraden så stor att denna del inte kunde motiveras när uppskattad arbetsinsats vägdades mot uppskattat utfall.

Banverkets tankar om träbroar har också framkommit i marknadsundersökningen. Frågeställningar rör brand, tätskiktets livslängd, beständighet utifrån erfarenheter från slipers, utmattningsbrott, omfattande underhållet för befintliga broar, dynamiska krav för höghastighetståg.

Tekniska förutsättningar som har framkommit:

Vid val av konstruktionslösning prioriteras underhållsbehovet särskilt högt. Man vill ha en robust konstruktion som helst inte kräver några insatser under dess livslängd. God detaljutformning är viktigt.

Snabba montage är också något som är extra viktigt för järnvägsbroar då avstängningar av tågtrafiken är svåra. Totalstopp måste undvikas vilket medför att montage på högtrafikerade sträckor ska ske inom ett par timmar. Totalstop över en helg kan vara möjligt men kräver planering i god tid, normalt 1,5 – 2 år i förväg.

Moderna järnvägsbroar utförs idag uteslutande med ballastråg vilket är en lösning som är bra ur underhållssynpunkt och det sätt Banverket vill att broarna skall var utförda med. Syftet med ballastbädden är att ge tågtrafiken en tyst och jämn gång, utjämna styvhetsskillnader längs banan, möjliggöra ett mekaniskt spårunderhåll och underlätta spårjusteringar i såväl höjd som sidled. Ballastdjupet skall vara 600 mm.

Tätskiktet är en viktig detalj som ligger mellan broplatta och ballast. Slitaget från ballasten på dess underlag kan vara relativt intensivt. Att byta ut ett tätskikt är ett omfattande ingrepp på en järnvägsbro och ska i största mån undvikas. Ett gediget utförande på tätskikt som maximerar livslängden är av stor betydelse.

Järnvägsbroar utförs med räcken som arbetarskydd.

Järnvägsbroar utförs med gångbanor antingen av ballast eller gallerdurk. Gångbanornas syfte är att ge plats för arbete i spåret samt plats för ev. utrymning av tåg.

Vid ny produktion görs broarna med bredden 7. Många gamla broar hade bredden 4,5m varför den bredden också kan bli aktuell för nya överbyggnader på befintliga landfästen. Vid dessa tillfällen utformas lämpligen gångbanor med gallerdurk eller trädäck som läggs på konsoler som hängs på brosidan.

Organisation: TräCentrum Norr	Författare: Peter Jacobsson	Utgåva: 1
Dokumenttyp: Slutrapport	Filnamn: 2009-05-04 Träbroar för Järnvägstrafik Slutrapport	Datum 2009-05-04
		Sida: 5 (13)

Vid dimensionering av järnvägsbroar beaktas bl.a. hållfasthet, utmattning och deformationer. Nedböjningskravet är dubbelt så stort för järnvägsbroar jämfört med vägbroar, L/800 respektive L/400.

Avgränsningar i projektet:

Den särskilda utvärdering av brons dynamiska uppförande som skall utföras för tågtrafik med hastighet större än 200 km/h har inte studerats.

Endast spännvidder mellan 3-9 m har studerats då bromskrafter inte behöver tas om hand av överbyggnaden för brolängder mindre än 10 m.

Resultat och slutsatser från examensarbete:

Intressant och potentiell marknad för träbron bedöms från medellängden på 13-14 meter och neråt där det stora antalet broar finns.

Tvårspänd platta bedöms som den lämpligaste konstruktionstypen.

Förenklad dimensionering av tvårspänd platta har gjorts för spv 3 och 9 m där man tänker sig brobredden lika stor som lastbredden, balkteori. Den visar att utmattning och nedböjning ger högst utnyttjande för 3 respektive 9 m:s spännvidd. Bygghöjd blir 315 mm för spv 3 m och 855 mm för spv 9 m. När broplattan är tvårspänd och bredden är 7m så finns en mängd material utanför plattan som också bär last. Bygghöjden kommer att bli lägre när den materialandelen också beaktas. Beräkning görs lämpligen med finita element program. Ren elastisk FE beräkning ger dock lokalt stora skjuvspänningar i friktionsplanet mellan limträbalkar som visar på en erforderlig spännkraft i brons tvärled som blir praktiskt ogenomförbar. Betydelsen av den lokalt höga skjuvspänningens inverkan på bärförmågan är svårbedömd. Hur stor lokal överbelastning som man kan tillåta innan brons totala bärförmåga överskrids är okänt.

För det så viktiga tätskiktet föreslås en lösning med SBS polymermodifierad bitumenmatta, 5 mm tjock, som klistras till plattans överyta. Samma som oftast används på vägbroar. Viktigt att isoleringsarbetet blir omsorgsfullt utfört vid broplattans randzoner. För att ballasten inte skall nöta direkt på tätskiktet så läggs ett 50 mm tjockt lager av gjutasfalt på det. Gjutasfalt är slitstarkt och vattentätt och tillsammans med mattan så får man ett tätskit som blir underhållsfritt och har lång livslängd. Problem på vägbroar med isoleringsmatta och gjutasfalt kan vara blåbildning som främst orsakas av solstrålningen, uppvärmning av plattans överyta. Detta bör inte bli ett problem då det finns 600 mm ballast som framförallt hindrar solen att verka direkt på gjutasfalten och dessutom ger en stor tyngd som håller tillbaka eventuella blåsor.

Avvattning av bro åstadkoms genom att alltid bygga den med längslutning. Vattnet släpps då ned på baksidan av det lägre grusskiftet. Detta ger något varierande tjocklek på ballasten på bron vilket inte har någon betydelse enligt Banverket.

Organisation: TräCentrum Norr	Författare: Peter Jacobsson	Utgåva: 1
Dokumenttyp: Slutrapport	Filnamn: 2009-05-04 Träbroar för Järnvägstrafik Slutrapport	Datum 2009-05-04
		Sida: 6 (13)

Träbron kommer att erhålla en relativt låg vikt, en bråkdel av betongen vilket gör att det så betydelsefulla montagearbetet förenklas.

En tvärspäand platta med tätskikt enligt ovan bör vara gynnsam ur underhållssynpunkt. Det underhåll som bedöms bli aktuellt är dels inspektioner som bör göras för alla broar oavsett material. Det som kontrolleras vid inspektioner är spännkrafter i stag, ytbehandling, räcke och fuktkvoter i träet. Alla dessa delar kan kontrolleras från sidor och undersida av bron. Ev. kontroller eller åtgärder på övre delar av räcke kan innebära arbete från ovansidan men är ju då ute vid brokant. Inspektioner och underhåll kan således utföras med liten eller ingen störning på tågtrafiken.

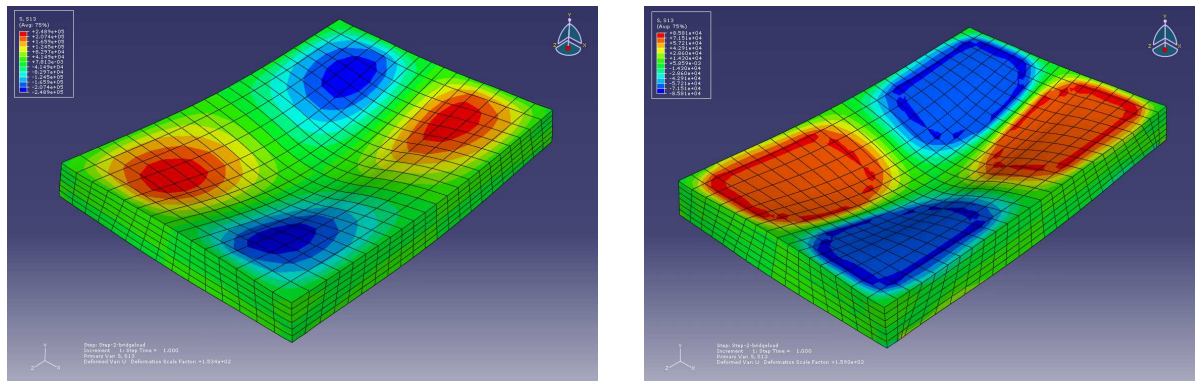
3.2 Beräkningar med elastisk idealplastisk ortotrop modell.

Olösta svårigheter efter ovanstående utförda examensarbete var framförallt beräkningsmodell, hur uppskattas betydelsen av de stora skjuvspänningar som erhålls vid elastisk FE beräkning?

För att besvara den frågan så bedömdes att en beräkningsmodell som hanterar plasticering behövs. Ett samarbete med Mats Ekevad LTU, Institutionen i Skellefteå, inleddes. Han har i sitt tidigare forskningsarbete tagit fram en elastisk idealplastisk ortotrop materialmodell för simuleringar av fuktbeängade deformationar i trä. Bedömningen gjordes att den skulle kunna användas för att simulera glidning, plasticering mellan limträbalkarna. Beräkningar [3] utfördes med syfte att prova modellens allmänna funktion för denna tillämpning och att utröna om glidning mellan limträbalkarna är något som kan inträffa i praktiken och vid vilka förspänningar i så fall.

Resultat indikerar att modellens allmänna funktion är god. Beräkningsresultat visar att vid förspänning 0,4 MPa så erhålls ingen plasticering för tåglasten. Vid förspänningsnivån mindre än 0,4 och större än 0,25 MPa så erhålls plasticering, d.v.s. en bestående nedböjning, vid avlastning efter första pålastning och därefter ett elastiskt uppträdande. Under 0,25 MPa förspänningsnivå så sker upprepad plasticering efter andra och tredje pålastning och avlastning. När bron återplasticeras vid upprepade på och avlastningar så är det inte acceptabelt och skulle kunna betraktas som ett brottgränstillstånd.

Ovanstående beräkning som beaktar plasticering i friktionsplanen mellan balkar visar tydligt att broplattan kan ta betydligt mer last även om den lokalt höga skjuvspänningen i friktionsplanet från en elastisk modell överskrids. En hel del lokal glidning kan tillåtas innan det visar sig som bestående nedböjningar.



Figur 1. Jämförelse mellan spänningsstorlek och utbredning för elastisk respektive plastisk beräkning. Vänster figur visar vridskjuvspänning från elastisk beräkning med max och minspänning = 0,249 MPa. Höger figur visar max och min vridskjuvspänning på 0,086 MPa från plastisk beräkning.

3.3 Laborieförsök och beräkning

Utifrån de positiva resultaten från ovanstående gjorda beräkningar blev det intressant att gå vidare med laborieförsök och ytterligare beräkningar för att bedöma beräkningsmodellens överensstämmelse med verkligheten.

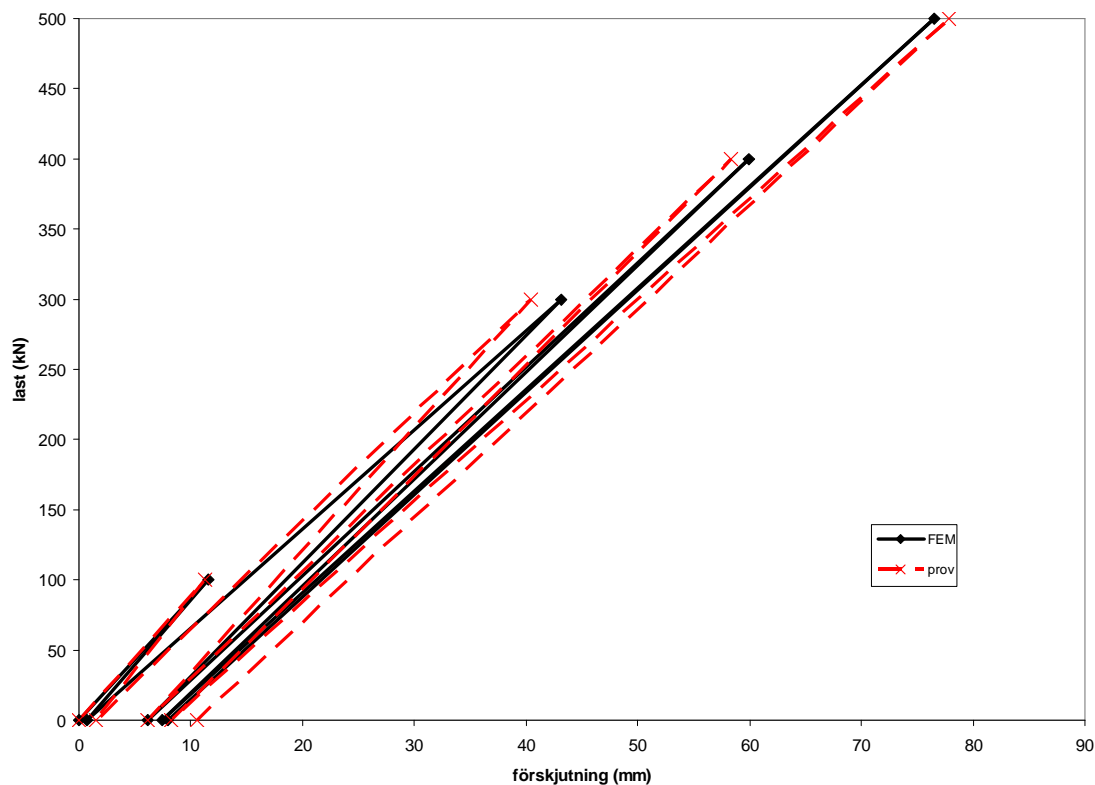
Ett fullskaleförsök på en broplatta 5,035 m bred och 10,0 m spännvidd har utförts på SP Träteknik Skellefteå [5]. Inför försöken utfördes en elastisk FE-beräkning av Tomas Svensson, Flygfältsbyrån [4], med syfte att bedöma erforderlig brottlast och placering av deformationsgivare. För att med relativt låg last erhålla höga vridskjuvspänningar placerades en punktlast mitt på spännvidden förskjuten mot ena brokanten. Deformationer har mätts dels vertikalt mitt på spännvidden och vid upplag. Deformationer, horisontella glidningar mellan två intilliggande balkar har också mätts. Dessa givare placerades där de största skjuvspänningarna beräknats.

Förutom att påförd last mätts så har också kraft i 2 stag mätts. Last har påförts till samma nivå i fem cykler med början på nivån 100 kN, 300 kN, 400 kN och 500 kN. Vid nästa nivå på 600 kN så uppstod ett brott i cykel två och vid kraften 582 kN. Brottet uppkom av en vertikal glidning mellan limträbalkarna intill punktlasten som i sin tur resulterade i ett böjbrott i broplattans 6 yttersta balkar.



Bild 1: Försöksuppställning inför fullskaleprov.

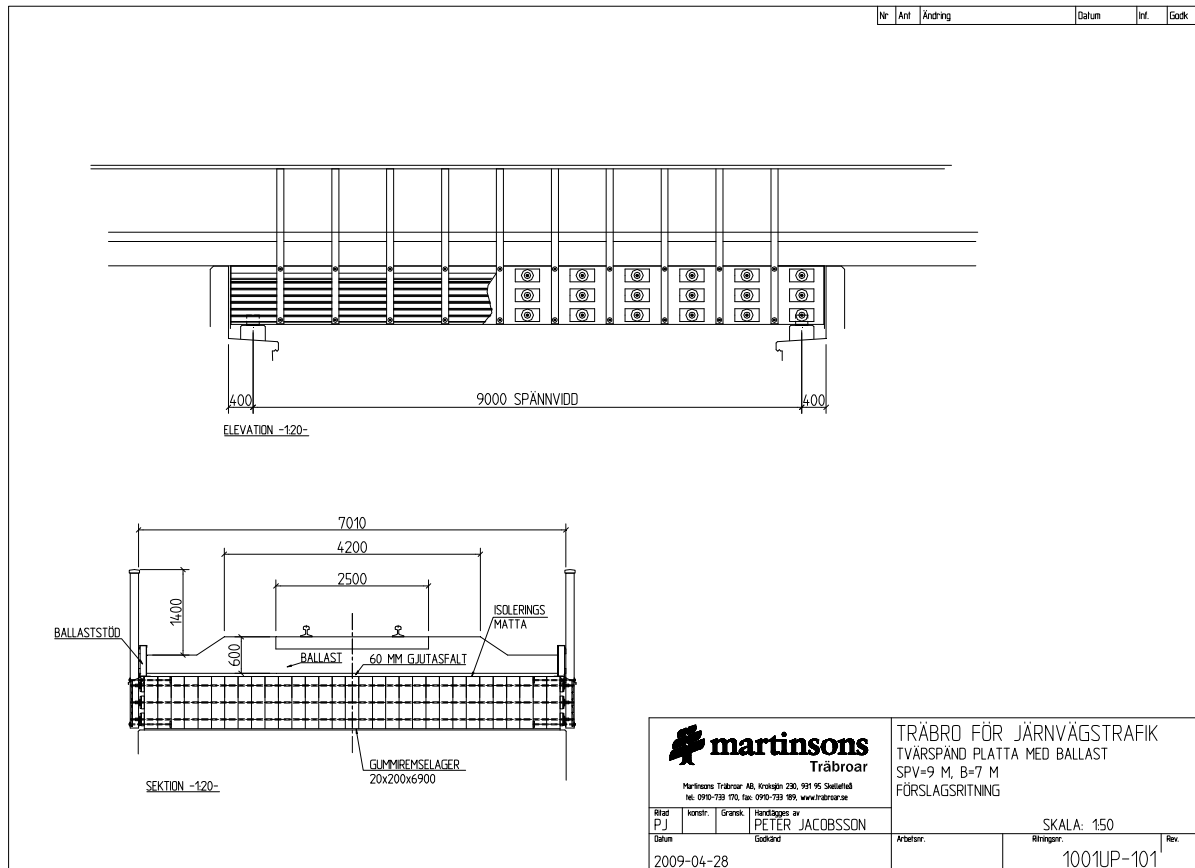
Efter försök har en jämförande FE-simulering [6] av fullskaleförsöket gjorts med den ovan beskrivna beräkningsmodellen som beaktar glidning. God överensstämmelse mellan försök och beräkning har erhållits, se figur nedan. Utifrån det så är bedömningen att beräkning [3] av erforderlig förspänningskraft på järnvägsbron med spännvidd 9 m har god tillförlitlighet.



Figur 2. Last-förskjutningsdiagram vid cyklisk lastpåläggning. Sista 5:e lastcykeln i varje lastnivå från provet jämfört med sista 2:a lastcykeln i varje lastnivå från FE-simuleringen. Endast räta linjer mellan nollast och fullast visas.

4. SLUTSATSER

Projektet har genererat mycket kunskap, från beställarens krav till förslag på utförande av en träbro för järnvägstrafik. För det område vi valt att studera, d.v.s. hastigheter under 200 km/h och längder under 10 m så ser vi inga hinder med Träbroar för Järnvägstrafik. Vi har ett förslag som är kontrollerat med avseende på flera krav som nedböjning, brott och utmattning. Lösningförslag på flera olika viktiga detaljer som tätskikt, avvattning och lager finns. Arbete kommer nu att fortsätta med att förankra projektresultaten hos Banverket.



Figur 3. Förslag till utförande av träbro för järnvägstrafik, spv 9 m.

Dimensionering av erforderlig bygghöjd kan göras på ett rationellt sätt med balkteori, detta ger dock sämre materialutnyttjande, högre bygghöjd, än om man tillgodoräknar sig plattverkan via friktion mellan balkarna och utnyttjar material utanför lastbredden. Som ett resultat av detta projekt så kan järnvägsbroar utförd som tvärsjäpad platta i trä som samverkar med friktion dimensioneras med ett avancerat beräkningsverktyg. Dock har vi inte kommit så långt att vi har en produktionsanpassat beräkningsverktyg. Inom detta område pågår nu ett doktorandprojekt på Chalmers där beräkningsmodell för tvärsjäpada broplattor studeras.

Någon ingående bedömning av den prismässiga konkurrenskraften har inte gjorts inom projektet. Med vetskapen om att vägbroar i trä konkurrerar prismässigt och att viktiga faktorer som snabbt montage är betydelsefullt för järnvägsbroar så indikerar det att den ekonomiska konkurrenskraften bör vara god även för järnvägsbroar. Arbete med uppskattning av prismässiga konkurrenskraften kommer att vara ett fortsatt arbete efter projektet.

Organisation: TräCentrum Norr	Författare: Peter Jacobsson	Utgåva: 1	
Dokumenttyp: Slutrapport	Filnamn: 2009-05-04 Träbroar för Järnvägstrafik Slutrapport	Datum 2009-05-04	Sida: 11 (13)

5. ÖVRIG PROJEKTDOKUMENTATION.

[1] David Lehtonen och Anna Hallberg, Examensarbete 2007:126 Chalmers, Träbroar för Järnvägstrafik.

[2] Tomas Svensson, Flygfältsbyrån, FE beräkning broplatta spv 9 m, 2007-09-23.

[3] Mats Ekevad, LTU, FE-simulering av glidning mellan limträbalkar i en förspänd plattbro 2008-04-16,

[4] Tomas Svensson , Flygfältsbyrån, Beräkning fullskaleprov 2008-06-26

[5] Göran Forsberg, SP Träteknik, Provningsrapport av broplatta 10,6x5 m, Provningsrapport P803586

[6] Mats Ekevad, LTU, Förspänd plattbro fullskaleprov och FE simulering, 2008-10-21

Organisation: TräCentrum Norr	Författare: Peter Jacobsson	Utgåva: 1	
Dokumenttyp: Slutrapport	Filnamn: 2009-05-04 Träbroar för Järnvägstrafik Slutrapport	Datum 2009-05-04	Sida: 12 (13)

Om TräCentrum Norr

TräCentrum Norr finansieras av de deltagande parterna tillsammans med medel från Europeiska Utvecklingsfonden (Mål 2) och Länsstyrelserna i Västerbottens och Norrbottens län.

Deltagande parter i TräCentrum Norr är: Holmen Skog, Lindbäcks Bygg AB, Luleå tekniska universitet, Martinsons Group AB, Norra Skogsägarna, Finndomo AB, SCA Forest Products AB, Setra Group AB, Skellefteå kommun, Sveaskog AB, SÅGAB, Sågverken Mellansverige och SP Trätek.

Mer information om TräCentrum Norr finns på:
www.ltu.se/ske/tcn

En investering för framtiden



EUROPEISKA
UNIONEN
Europeiska
regionala
utvecklingsfonden