

Bättre samverkansbroar på väg



Fig 4. Gallsäter

PETER COLLIN

Civ ing SVR, Scandiaconsult
Adj professor i Stållbyggnad
vid Luleå Tekniska Universitet

BERNT JOHANSSON

Civ ing SVR
Professor i Stållbyggnad vid Luleå
Tekniska Universitet

Fig 3. Alternativ design
föreslagen i SBI:s publika-
tion Stållbroar.

Samverkansbroar av stål och betong för vägtrafik har under 90-talet vunnit stora marknadsandelar. Denna artikel avser att belysa den utveckling som hela tiden pågår för balkbroar, vilka utgör merparten av samverkansbroarna

Inledning

De allra flesta stållbroar för vägtrafik i Sverige utförs med samverkande farbana av betong. Ett exempel på en sådan bro ses i figur 1.

I fält fungerar farbanan som överfläns för brotvärsnittet, så att påkänningarna i överflänsen i praktiken begränsas till de som uppstått innan betongen hårdnat. I mittstöd räknas betongen som sprucken, och endast armeringen får räknas med i samverkanstvärsnittet. Därav följer att överflänsen i mittstöd, till skillnad från fältpartierna, i princip är lika stor som underflänsen.

För en bro med 7 meters fri brobredd (två körfält) ligger balkarna typiskt med c/c 4 meter. Betongarean i farbanan ligger kring 2 m², och längsarmeringen är typiskt kring 1% av denna area i stöd, samt för längre spann 0,5% i fält. Denna styrs bland annat av den beräkningsmässiga sprickvidden över stöd. I tvärlängd uppgår armeringsmängden typiskt till 1,5 %, eller 120 kg/m³.

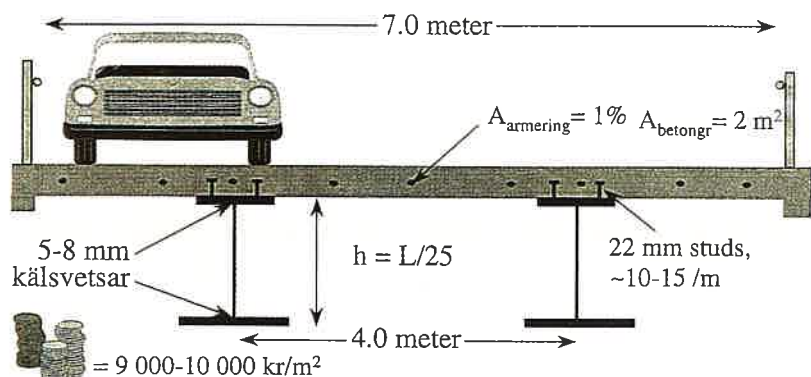
Kostnaden för grundläggningen respektive stållöverbyggnaden brukar ligga kring 3.000 kronor vardera per m², men detta varierar naturligtvis med spannvidder, grundläggningsförhållanden etc.

I priset för stållöverbyggnaden utgör materialpriset i sin tur cirka 1/4, resten är tillverkning av balkar, rostskydd, transport, skarvning, kontroll, lansering etc.

Vackrare broar

Förutom goda tekniska egenskaper såsom livslängd, bärförmåga samt möjlighet till underhåll, erbjuder stållbron ofta ett mer värde rent estetiskt. Möjligheten för beställaren att fritt välja färg på konstrukti-

Fig 1. Tvärsnitt genom typisk samverkansbro.



Typisk kostnad för samverkansbro

Grundläggning	3 000:-/m ²
Stållöverbyggnad	3 000:-/m ²
Farbana	1 500:-/m ²
Räcken, beläggning mm	2 500:-/m ²
Totalt Ca	10 000:-/m²

Tabell 1. Typisk kostnadsfördelning för en samverkansbro under 90-talet.



Fig 2. Konventionell snedbening
i betong

Fig 5. Gammböle



nen ger onekligen många valmöjligheter. Lika viktigt som färgen är betraktarens upplevelse av brons form – ett par lyckade exempel på detta ges nedan.

Stålbyggnadsinstitutet tog 1993 fram publikationen Stålbölar [1], där man i ett antal fall visade hur befintliga eller planerade broar kunde göras vackrare med ett genomtänkt sidoförslag i stål. Ett av de mest lyckade exemplen var när man lät en samverkansbåge ersätta den så vanliga snedbeningen i betong, för exempelvis väg över motorväg.

Arkitekterna var inte sena att prova konceptet på broarna i Höga Kusten projektet. I fig 4 och 5 ses resultatet för broarna över E4 vid Gallsäter respektive Gammböle.

Även om bågbenen får in sin last vid brons mitt, och statiskt sett alltså lika gärna kunde vara raka, så gör bågformen onekligen nytta vad gäller att förmedla ett spänstigt intryck. Intrycket förstärks ytterligare av de slanka dimensionerna hos stålet.

Ett annat lyckat exempel på hur bågformen förskönar en bro är Höga Kustenprojektets broar över Majorsviken (fig 6) respektive Storsjön. Genom att utforma balkarna voutade kommer underflänsen här att påminna om undersidan på en valvbro, även om den styckvis är rak mitt i brospannen. Stålets konstruktionshöjd är här 2,9 vid stöd samt 1,60 meter i fältmitt. Stor vikt har även lagts på betongstödens utformning.

Slutligen ett exempel från en annan Storsjö, nämligen bro över Vallsundet i Jämt-

land mellan Frösön och fastlandet. Bron, som utfördes som en ovoutad låda, har som främsta kännetecken den mjuka vertikalkurvan, samt de karakteristiska triangelstöden under brons puckel (se fig 7). Förutom att de upplevs som vackra underlättade de införandet av ett extra brett spann mitt i farleden.

Starkare stål

Under hela 1990-talet har stålverken gått i riktning mot starkare stålsorter. Främsta anledningen till detta är att stålverken för en liten penning kan leverera högre hållfastheter, utan att för den skull ge avkall på stålets seghet.

Omkring 1990 användes i princip stålsorterna SS2134 samt SS2144 i svenska stålbroar. Båda dessa var mikrolegerade finkornstål, där sträckgränsen 350 respektive 390 Mpa erhöles genom tillsats av legeringsämnen som ger en finkornigare struktur.

I takt med att stålverken blivit duktigare på att tillverka termomekaniskt valsat stål, där mikrostrukturen och den slutliga hållfastheten bl a styrs av temperaturen vid sista valsningen, har dessa gjort intåg i de svenska stålbroarna. I princip används i dag tre hållfasthetsnivåer i svenska stålbroar:

- S355J2G3 eller S355N
- S420M Termomekaniskt valsat finkornstål
- S460M Termomekaniskt valsat finkornstål

Stålen återfinns i de europeiska stålstandarderna EN10025 respektive EN10113, vilka finns utgivna i Sverige med svenskt Nationellt Anpassningsdokument (NAD).

Vanligt är att man blandar dessa stålsorter inom ett tvärsnitt, så att det starkare stålet återfinns i flänsarna, och det mindre starka i livplåtar. Livplåtarna styrs ju av buck-

Fig 6. Bro över Majorsviken



ling, och för att kunna minska deras tjocklek skulle snarare en höjning av E-modulen vara till nytta, än en höjning av sträckgränsen. Detta låter sig dock inte göras.

Blandade tvärsnitt av dessa slag benämns hybridbalkar, och finns även reglerade i BRO94. Här finns ett krav på att hållfastheten i flänsarna inte får överstiga den i livet med mer än 50%. Vid reduktion av livplåten med avseende på buckling av normalspänningar, används inte livets utan flänsens hållfasthet för att beräkna effektiva livtjocklekar.

1995 uppfördes även en bro med seghärdat stål i underflänsen, Z1017 i Härjedalen. Stålsorten som använts är S690 (varunamnet WELDOX 700), vilken återfinns i EN 10137. Se även fig 8, där en elementfarbana ligger upplagd på stål balkarna.

Stålentreprenören fick här räkna på tre alternativ, och kom fram till att alternativet med S690 i underfläns samt S460 i liv och överfläns blev billigast. Se även diagram 1. Det är inte lika bra affär att använda S690 i överflänsen, emedan den ofta styrs av buckling/vippning under gjutskedet.

För kontinuerliga broar gäller detsamma för fältpartierna, men för stödpartier är det tvärtom; drag i överflänsen respektive tryck i underflänsen. Där styrs underflänsen till stor del av vippning/buckling, så att en övergång från exempelvis S460 till S690 medför att flänsens bredd/tjockleksförhållande måste minska för att klara exempelvis tvärsnittsklass 2 enligt BSK99. Den smalare flänsen medför i sin tur att avstånden mellan tvärförbanden måste

minimeras kraftigt, för att förhindra sidoknäckning av underflänsen (vippning). Överflänsen i stöd är däremot dragen, men ett utnyttjande av stål S690 skulle medföra för stora spänningar i armeringen, samt för stora sprickvidder enligt BBK94.

En orsak till att konceptet inte använts i någon större utsträckning för fritt upplagda broar samt för fältbalkarna på kontinuerliga broar, är att leveranstiderna för den seghärdade plåten är avsevärt längre än för termomekaniskt valsat stål. Med ständigt pressade tider, där såväl materialbeställningar som arbeten med grundläggning faktiskt ofta måste utföras enligt av beställaren icke godtagna handlingar, finns det inte utrymme för längre leveranstider. En ökad användning av S690 i broarna förutsätter alltså bättre leverans-

beredskap från stålverken. De korta tiderna för genomförande av projekten kan tyckas vara dålig planering från Vägverkets sida, men hänger starkt ihop med ovissheten om medelstilldelning samt prioritering från statsmakternas sida.

Rationella metoder på arbetsplatsen

Ett viktigt kriterium för att få till ett rationellt byggsätt är att man med enkla medel kan få stål balkarna på plats. För broar i flera spann är det ofta rationellt att lansera ut stål balkarna på rullager av stål alternativt teflonlager. Eftersom ändspannen ofta är 20% kortare än mittspannen, används en lanseringsnos med åtminstone 20% av mittspannets spännvidd. Nosen har följande funktioner.

- Nosen når fram till mellanstöd då ett stödtvärsnitt av balken ligger rakt över det tidigare passerade mellanstödet.

Diagram 1. Kostnadsbesparingar för hybridkonceptet.

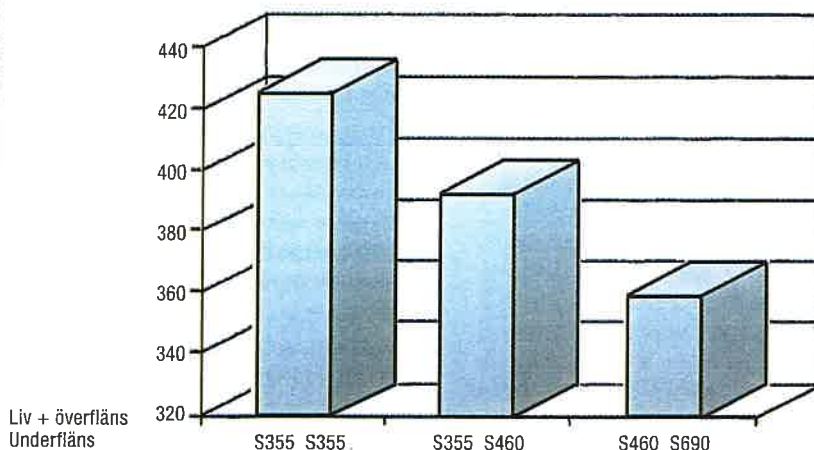




Fig 7. Flygfoto av bron över Vallsundet

- Genom att nosen byggs som ett fackverk har den avsevärt lägre vikt per kilo, varvid konsolmomentet för stålbalkarna minskar.
- Genom att nosens underyta pekar uppåt i en lämplig vinkel, kompenserar detta vertikaldeformationen som uppstår vid konsolspetsen, och gör att nosen med successivt ökande upplagsreaktion glider upp på lanseringslagren.

Ett alternativ till lansering är att lyfta stålbalkarna på plats. Ett exempel är bro över Sävarån, en låda i ett spann om 54 meter, som efter att ha rullats ut på befintlig bro lyftes till det nya broläget, 15 meter nedströms, med hjälp av mobilkranar.

En av de fördelar som en samverkansbro erbjuder jämfört med en betongbro, är att stålbalkarna efter att de lanserats eller lyfts ut kan tjänstgöra som formbalkar vid gjutning av farbanan. Tre vanliga arbetssätt är:

1) Gjutning på form som stämpas mot stålbalkarnas underflänsar. Formpaketet hålls ihop med dragstag genom förborrade hål i livet. Vid breda konsoler och låga balkhöjder fås dock en besvärande flack vinkel på de strävor som används för konsolformen.

2) För samverkanslådor gjuts ofta betongen mellan lådans liv på förlorad form av TRP45. Plåtens profilering går tvärs bron, och plåten är upplagd på bockryggar längs bron, vilka i sin tur stämpas mot lådbotten. Konsolerna på farbanan gjuts med hjälp av en sk formbuss/formvagn, vilken mellan gjutetapperna förflyttas på räls utlagd på överflänsen. För kortare broar

räcker det med två gjutetapper per spann (först fält-, sedan stödparti), och för längre spannvidder kan två eller flera formbussar användas parallellt.

3) Ett tredje alternativ är att hänga exempelvis valsade stålbalkar i stag, vilka dras igenom förborrade hål i överflänsen. Efter detta kan formställningen byggas upp från stålbalkarna.

Verkstadsanpassade broar och handlingar

Lika viktigt som rationella produktionsmetoder på byggarbetsplatsen är att stålbroar anpassas för verkstadsproduktion. Detta ger god ekonomi, eller omvänt, mycket bro för pengarna. Det är här värt att notera att den bästa ekonomin långt ifrån alltid är liktydigt med de lägsta stålmängderna i anbudsskedet. Viktigt är även:

- att minimera antalet skarvar. Exempel har funnits på broar med flänsskarvar varannan meter i stödpartierna för att hålla nere stålmängderna. Den materialbesparing som uppstår åts upp flera gånger om av extra arbete med tillskärning, stumsvetsar i flänsen, samt inte minst kontroll av stumsvetsarna;
- att utföra tillverkningsvänliga tvärförband, till exempel genom att använda hela tvärsnitt av bockad plåt i lådor, i stället för fackverk av valsade profiler. Detta kan medföra en något högre totalvikt, men avsevärt lägre tillverkningskostnad;
- att minimera antalet transportenheter och därmed även antalet skarvar som utförs på byggarbetsplatsen. En fältskarv kostar flera gånger mer än en

verkstadsskarv p g a att utomhusklimatet gör svetsarbetet betydligt dyrare, samt att rostskydd och kontroll fördröjas avsevärt; och

- att inte variera plättjocklekar, valsade profiler etc in absurdum, eftersom det kan vara svårt att hitta små valsposter till ett rimligt pris, utan att det tar längre tid. Dessutom fördröjas beräkningar, ritarbete samt rimligen även hanteringen i verkstaden, om exempelvis samtliga fältbalkar i en symmetrisk flerspannbro har olika överflänsar på grund av gjutordningen.

Det talas ofta om att konstruktören skall ta fram tillverkningsvänliga eller verkstadsanpassade handlingar, även i kontrakts-sammanhang mellan entreprenören samt de båda parterna stålentreprenören och konstruktören. Eftersom olika verkstäder har olika preferenser kan det dock vara svårt att veta vad som menas, särskilt som konstruktionsarbetet ofta sätter igång innan stålentreprenören är utsedd. En möjlighet är att stålkonstruktören arbetar direkt åt stålentreprenören – detta skulle göra det meningsfullare för dessa att satsa mer på utvecklingsarbete. Det skulle dessutom i många fall bespara entreprenören mycket huvudvärk, eftersom han i många fall inte är van vid att köpa så pass stora stålentreprenader som många stålbroar faktiskt är.

Elementbyggda samverkansbroar

Vid produktion av betongbroar är det ofta nödvändigt att stämpa sig upp från marken. Ett sätt att komma ifrån detta är att bygga stålbroar med samverkande betongfarbanor. Det faktum att stålbalkarna



Fig 9. Elementmontage för en vägbro över järnväg.



Fig 8. Bro Z1207 i Mittådalen.

kan bära upp både form och armering samt den ej härdade betongen till farbanan har medfört att samverkansbroar blivit en populär konstruktionslösning, som jämfört med betongbroar erbjuder stora tidsvinster.

Nästa steg i rätt riktning är att utföra även betongfarbanan i element. Genom att använda stålbalkar med prefabricerade farbanor, kan bland annat följande fördelar uppnås [3]:

- En kortare byggtid ger tidsvinst för trafikanter samt i vissa fall minskat behov av kostsamma förbifarter.
- Minskade störningar för underliggande trafik.

- Kortare byggtid.
- Bättre arbetsmiljö vad avser arbetsmomenten formsättning, armering och gjutning.

Figur 9 visar hur tekniken användes för en vägbro över järnväg.

Vid institutionen för Väg- och Vattenbyggnad vid LTU drivs ett FoU-projekt i samarbete med Strängbetong och Scandiaconsult. Projektet stöds ekonomiskt av SBUF. Inom ramarna för detta projekt har en ny teknik med torra fogar mellan farbanelementen tagits fram. Förutom att ett antal element provats med avseende på utmatning samt tvärkraftskapacitet, uppfördes i juni 2000 ett pilotobjekt över Rokån utanför Piteå. ➔

Brobygget över Rokån utanför Piteå i sammanfattning

Klockan 19.00 Dag 1
– Avstängning av vägen.

Klockan 22.00
– Gamla bron lyfts bort med två mobilkranar. Demonteringen pågick till 18.00 nästa dag.

Klockan 24.00
– Gamla grusskift och vingar bilas bort. Marken bakom landfäste schaktas ur. En bädd av grus läggs på rätt nivå.

Klockan 09.00 Dag 2
– Prefabplintar på plats på ny grusbädd.

Klockan 09.00
– Lyftentreprenörer pallar upp den nya bron på lanseringsbalkar, vilket tar fyra timmar. Sidolansering tar tio minuter, sänkning av bron ned till färdig nivå tar fem timmar.

Klockan 18.00
– Undergjutning av lager samt ifyllning bakom ändskärm.

Klockan 23.00
– Bron är färdig

Klockan 01.00 Dag 3
– Trafiken släpps på.

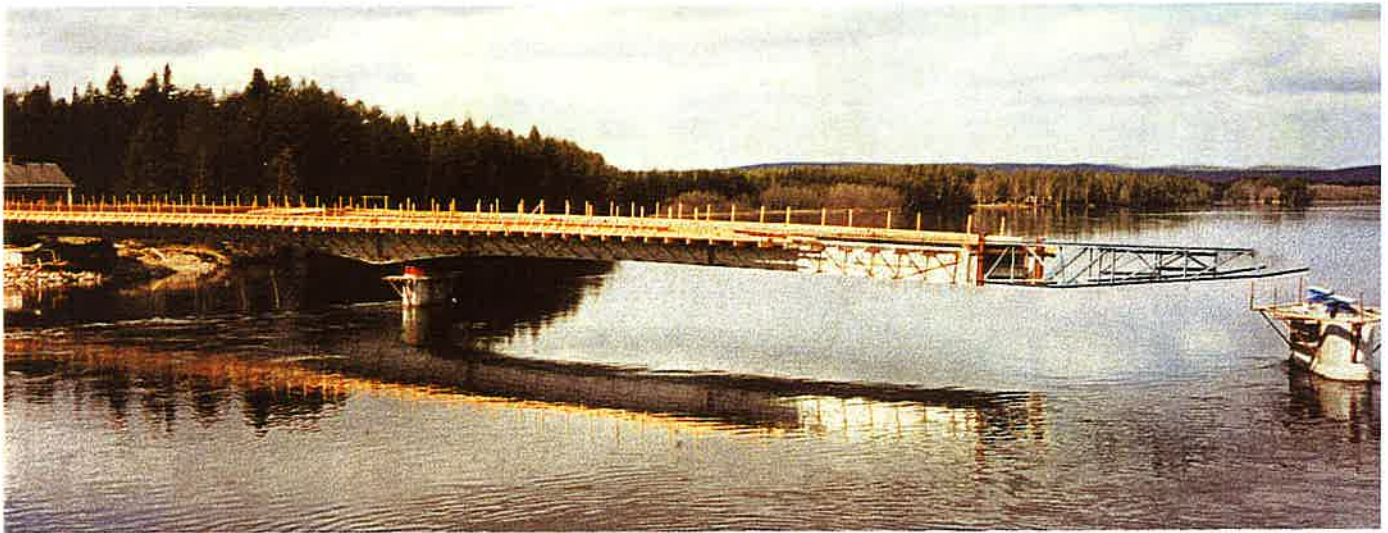


Fig 10. Lansering av I-balksbro över Pite Älv vid Böle.

Eftersom en stor del av timmertransporterna från inlandet trafikerar vägen över Rokån hade alternativet varit att bygga en dyrbar förbifartsväg. Nu valdes en bro med prefabricerade ändskärmar, farbaneplattor samt plintar för grundläggningen. Dessutom byggdes bron i provisoriskt läge vid sidan av den gamla bron, medan trafiken flöt på som vanligt. Slutligen sidelanserades bron in och sattes på prefabricerade stöd.

Med ekonomiskt stöd från Kol- och Stålunionen bedriver forskare från Sverige, Belgien, Frankrike, Tyskland samt Luxemburg ett projekt för att bygga snabbare och kostnadseffektiva samverkansbroar för små och medelstora spann. Sverige representeras av Luleå tekniska universitet samt av Scandiaconsult. I samband med bygget av bron över Rokån arrangerade man sitt halvårsmöte i Luleå. De utländska forskarna sade sig vara imponerade av Vägverkets vilja att minimera trafikantkostnader samt prova ny teknik.

Integrerade landfästen

Rörelsefogar är en svag punkt i brokonstruktioner som kräver dyrt underhåll. En naturlig strävan är därför att undvika fogar. Denna strävan tar sig uttryck i kontinuerliga balkar i stället för fritt upplagda och att övergångskonstruktioner mot vägbanken undviks. Det förstnämnda är sedan länge praxis i Sverige och det senare utnyttjas med t ex plattrambroar och ändskärmsbroar.

Ändskärmsbroar är kostnadseffektiva jämfört med broar med konventionella landfästen och övergångskonstruktioner. Maximal längd för ändskärmsbroar bestäms från fall till fall av upphandlande myndighet och är normalt kring 60 m.

I USA används "integral abutments" på ett fräckare sätt. Det finns många varianter på detaljutförningen men ett typiskt exempel visas i Figur 1. Broarna görs längre, upp till 120 m, och grundläggningen är

förenklad. Pålars slås under ändskärmen och den görs grundare än i Sverige. Sett ur svenskt perspektiv är problemet att en konventionell elastisk analys inte förmår förklara varför bron fungerar.

För att utveckla tekniken samt anpassa den till svenska förhållanden har Luleå Tekniska Universitet i samarbete med Scandiaconsult och Skanska under 1999-2000 drivit ett licentiatprojekt i frågan.

Projektet resulterade bland annat i att Vägverket uppförde en samverkansbro med den nya teknik som tagits fram i projektet. Bron spänner över Fjällån utanför Dorotea, och de krysspålar som bär upp bron är ingjutna direkt i ändskärmen. Förhoppningen är att Vägverket nu skall börja föra in konceptet direkt på sina förslagsritningar.

Vidare utfördes statiska provningar av krysspålar simulerande både normalkraft av yttre last och ändförskjutning motsvarande temperaturrörelser i en bro, samt

omfattande datorsimuleringar. Doktoranden i fråga heter Hans Petursson och licentiaten [4] finns att beställa hos Tarja Tervonen, LTU, 0920-91922. ✓

REFERENSER

- [1] Andersson J., Bergkvist S., Hedin J., Stålböro, Publikation 141, Stålbörobyggnadsinstitutet, Stockholm 1994.
- [2] Johansson B., Collin P., High Strength Steel- the Construction Material of the Future, International Steel Construction Conference, Delft, february 1999.
- [3] Collin P., Johansson B., Petursson H., Samverkansbroar med elementbyggda farbanor, Publikation 165, Stålbörobyggnadsinstitutet, Stockholm 1998.
- [4] Petursson Hans, Broar med integrerade landfästen, Licentiatuppsats 2000:32, LTU 2000.
- [5] BR094, allmän teknisk beskrivning för broar.

Fig 11. Formbuss använd för bro över Vallasundet.

