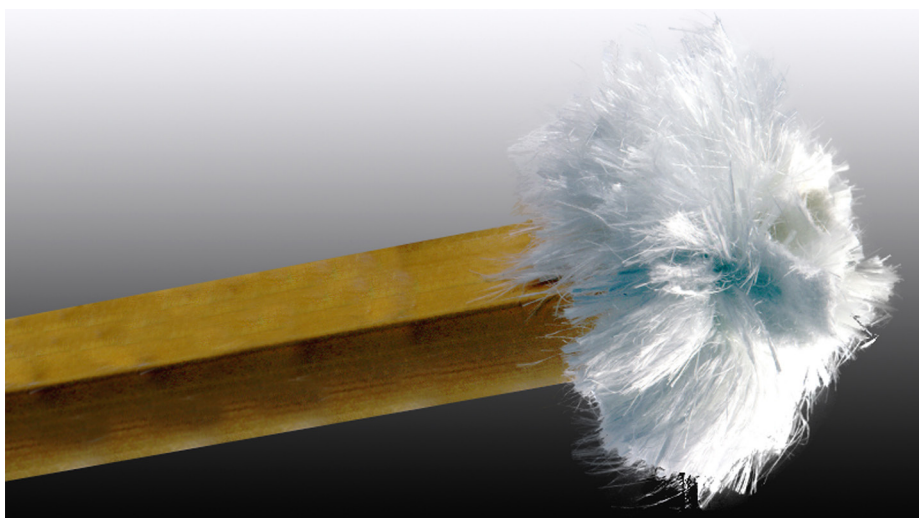


Fiberarmerade kompositmaterial för framtidens hållbara infrastruktur i Sverige



Figur 1: FRP-kompositter består av förstärkande fibrer och en polymermatrix (Bild: Fiberline®).

Sverige har en lång historia i att använda fiberarmerade polymerkompositter (FRP) i marina, transport- och energisektorer. De första ansträngningarna för att använda FRP-kompositter vid konstruktion av gångbroar började under 2011 på Chalmers i samarbete med trafikverket. Men potentialen för FRP material och konstruktion av lätta och prisvärda broar med låga underhållskostnader är fortfarande inte konkretiserat i Sverige.

I dagsläget är hållbar utveckling en viktig aspekt inom många tekniska områden. Byggnad är naturligtvis inte ett undantag. Åldring och överbelastning av infrastruktur i samband med brist på tillräcklig underhåll har lett till en ”global infrastrukturkris”. Att hitta innovativa

material och tekniska lösningar för att bygga infrastruktur med längre livslängd och lägre livscykelkostnader har därför varit en prioritering för många trafikmyndigheter och infrastrukturägare i Europa [1]. Avancerad industrialiserad produktion som ett sätt att minska produktionskostnaderna får dessutom ett stort intresse bland industri och ingenjörer. I detta avseende är tillverkning i fabrik och montering på plats av stor betydelse inom brokonstruktion.



Reza Haghani
Chalmers tekniska högskola



Abbas Khayyami
Malmö stad



Alann Andre
RISE Sicomp

Vad är FRP-kompositter?

Framväxten av fiberarmerad polymerkompositter (FRP) i byggbranschen i mitten av 1970-talet öppnade nya horisonter för att uppnå ovan nämnda mål. FRP:er klassificeras som kompositmaterial och består i grunden av två beståndsdelar: armerande fibrer såsom kol, E-glas och aramidfibrer och en polymermatrix, ofta en härdplast såsom epoxi eller polyester, se figur 1. Beroende på de önskade mekaniska och hållbarhets-egenskaperna kan olika typer av fibrer och matriser kombineras.

Möjligheten att kombinera olika typer av fibrer och matriser erbjuder den stora fördelen med ”skräddarsydd” i den meningen att de ”rätta” komponenter kan blandas för att få ”optimerade och rätt anpassade” egenskaper. FRP-kompositter har överlägsna mekaniska egenskaper såsom mycket hög specifik hållfasthet och styvhet och mycket goda hållbarhets-egenskaper. FRP:s låga vikt är väldigt attraktiv när det gäller prefabricering, eftersom det ger möjlighet till tillverkning i fabrik och montering på plats. Jämfört med andra europeiska länder som Storbritannien och Nederländerna, ligger infrastrukturella tillämpningar av FRP i Sverige något efter.

I denna artikeln presenteras resultaten av ett forskningsprojekt som genomfördes i syfte att identifiera tekniska och hanteringsproblem för tillämpning av FRP:er samt aktiviteter för att underlätta acceptansen av FRP-kompositter som ett pålitligt och kostnadseffektivt alternativ till traditionella byggnadsmaterial som stål och betong. Sverige har en lång historia när det gäller att använda fiberarmerad polymerkompositter inom marin-, transport- och energisektorn. Trots fördelarna med FRP:er, erfarenheten och kunskapen inom olika branscher om design och tillverkning av

Bild: Ramböll



Figur 2: Koncept av Kaponjär FRP-bron över Rosenlund-kanalen i Göteborg.

FRP-komponenter, har FRP ännu inte hittat sin plats inom den svenska byggsektorn.

Tidigare ansträngningar

Byggnadsingenjörer i Sverige är oftast inte utbildade för att hantera FRP som byggmaterial, vilket förklarar att byggbranschen inte aktivt har utforskat de möjligheter som FRP erbjuder som byggmaterial. De inledande ansträngningarna för att hitta nya marknadsområden gjordes av kompositindustrin (särskilt tillverkare och materialleverantörer) under 2010. Arkitekter fann också nya möjligheter att använda FRP för att skapa komplexa geometrier och försökte ”marknadsföra” sådana lösningar. Problemet var emellertid bristen på kunskap bland arkitekter om FRP-materialet som skapade orealistiska förväntningar utan att beakta de tekniska och praktiska begränsningarna. FRP har projekterats för att bygga gångbroar i Sverige under 2013. Två exempel på dessa idéer var Kaponjärbron (figur 2) föreslagna av Ramböll och Architectbron (figur 3) av ELU. Även om dessa konceptet var mycket attraktiva ur arkitektonisk synvinkel, stoppade komplexiteten i utformningen och tillverkningen av dessa projekt.

En lärdom av dessa misslyckanden

var att kunskapsbristen hos kunder och ingenjörer om FRP-material var den avgörande faktorn för avslag av dessa projekt.

Falcon-projektet: Ett tvärvetenskapligt arbete

Man förstod snart att för att skapa grunden för tillämpning av FRP inom brobygge, behövdes ett omfattande och tvärvetenskapligt arbete smed bidrag från alla aktörer. I detta sammanhang inleddes Falconprojektet, ”Framtida avancerad lättviktskonstruktion (2016-2018)”, ett gemensamt projekt finansierat av Vinnova och led av Swerea SICOMP (idag RISE SICOMP) (svenskt forskningsinstitut inom FRP-komposit) för att identifiera hindren mot tillämpning av FRP-komposit i infrastruktur, och underlätta för FRP-lösningar genom att bana vägen mot projektering och byggandet av den första FRP-bron i Sverige. Projekt-konsortiet bestod av 14 partners, universitet, forskningsinstitut, tillverkare, materialleverantörer och kunder var representerade.

Projektets huvudmål var att implementera bästa praxis för design och upphandling av FRP-broar. I detta avseende utarbetades ett utkast till ”tekniska kundkrav” tillsammans med ett bak-



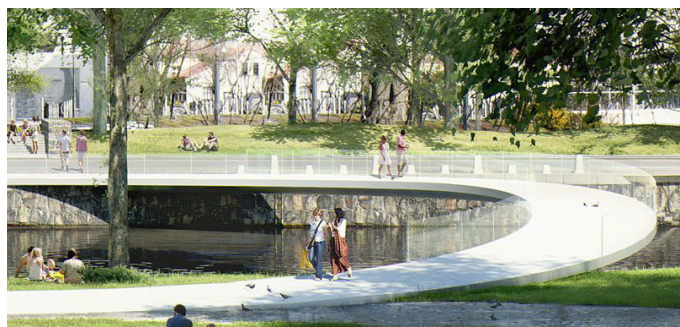
Figur 4: Slitage på ytan och tvärsprickor i det ortotropiska ståldäcket.



Figur 5: Tvärsnitt av sandwichpanelen som används som nytt däcksystem.

grundsdokument i enlighet med svensk nationell reglering (TRVKbro 11) för design och upphandling av broar. Det huvudsakliga syftet med dessa dokument var att skapa en ram för att kunderna ska kunna behandla innovativa tekniska lösningar som inte omfattas av Eurokoder inom de befintliga lagliga gränserna.

Bild med tillstånd av Erik Andersson Architects

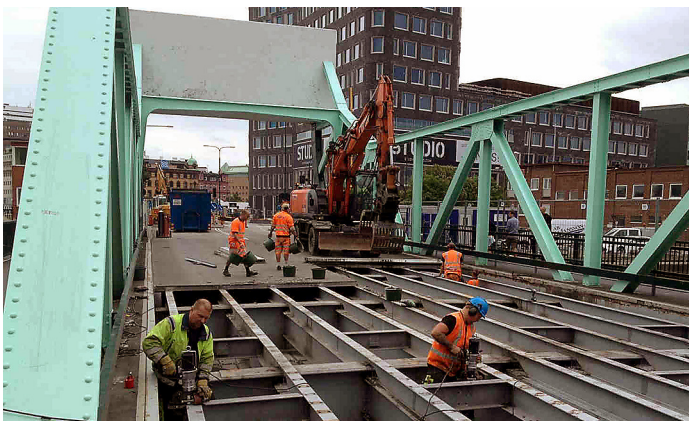


Figur 3: Koncept av arkitektbron i Haga-området i Göteborg.

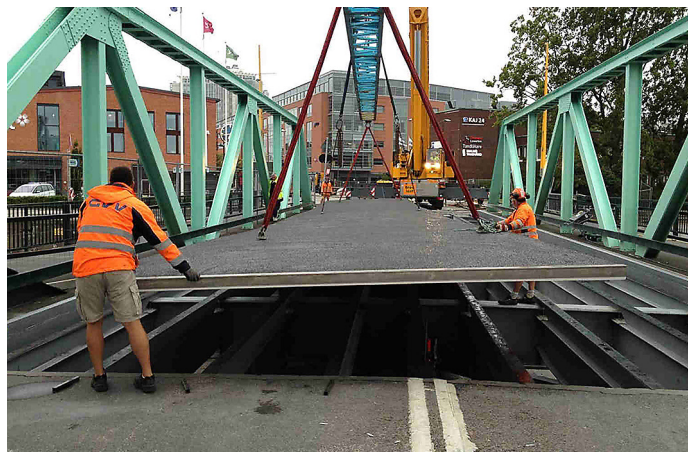
Bild: Per Andersson

Bild: Per Andersson

Bilder: Per Andersson



Figur 6: Borttagning av det gamla ståldäcket och förberedelse av strängarna för installation av FRP-paneler.



Figur 7: Installation av FRP-däckpaneler.



Figur 8: Försämring av träplankorna på trottoaren på universitetsbron.



Figur 9: FRP-paneler installerade på gångbana.

Vägen mot utbredd tillämpning av FRP i Sverige

FRP Däck för baskylvägbro 261

Bron 261 belägen i Malmö, är en tvåfältig baskylstälbro bestående av två stödjande sidstolar och ett ståldäcksystem som byggdes 1953. Det ortotropiska ståldäcket i bron hade dimensioner på 8,9m x 32,9m och hade försämrats över tiden på grund av korrosion. Visuella inspektioner avslöjade också flera sprickor i asfaltskiktet, ett typiskt problem på grund av lokal böjning av topplattan i ortotropiska däck, vilket ökade underhållskostnaden för bron, se figur 4. Därför var renoveringen av bron nödvändig. Kunden, Malmö Stad, behövde en snabb monteringslösning eftersom bron var belägen på en av huvudvägarna i staden och betydande trafikstörningar skulle ha ägt rum om bron hade stängts länge. Det beslutades att använda FRP-lösningen för att påskynda driften och ge en mer hållbar lösning jämfört med ett stålalternativ. Omständigheterna i projektet krävde

användning av skräddarsydda FRP-sandwichpaneler. För att hålla låga kostnaderna valdes glasfibrer och polyester-matris. Designen och tillverkningen av däckpanelerna utfördes av den nederländska leverantören Fiber-Core Europe.

Däckpanelerna i detta projekt hade en höjd av 105 mm med en ytskiktstjocklek på 19 mm på toppen och 17 mm i botten, se figur 5. För att undvika fästen på plats i vinkelrätt mot längdriktningen tillverkades två längsgående paneler med måtten 32,9m x 4,4m med en total yta på 292m². Det gamla ståldäcket togs först från bron (figur 6).

I nästa steg bereddades hålen på stålbjälken genom att förstora dem något. Panelerna placerades sedan på balkarna och anslutningen gjordes med hjälp av hollobultar, se figur 7. Projektet avslutades sommaren 2016.

FRP-däck för rehabilitering av universitetsbron

Universitetsbron i Malmö är en asymmetrisk hängbro med spännvidd på 55 m

med kabelstång med en huvudspänning på 25 m och en 15 m lång ryggstöd. Den totala längden på bron är cirka 76 m. Brons bredd är 16 m, inklusive två körbanor och två banor för gående och cyklister. Bron byggdes 2004. Redan 2015 observerades tecken på försämring av träplankor som täcker fotgängslinjerna. Deformation av plankorna hade orsakat ojämn yta på gångbanan och var ett potentiellt hot för användarna, se figur 8.

Malmö kommun beslutade att ersätta träplankorna med ett mer hållbart alternativ. Samtidigt fanns det behov av en lättviktslösning för att inte störa balansen i bron, eftersom modifiering av motvikten inte var ett alternativ i detta projekt. FRP-däckpaneler med en tjocklek av 65 mm producerade av Fiber-Core Europe och installerades på stålsträngar på 1,12 m. 6 däckpaneler med en bredd på 3 m placerades bredvid varandra för att täcka hela längden på bron, se figur 9. Projektet avslutades 2017.

Neptuni Bridge

Neptuni gångbro är Sveriges första hela FRP-gångbro som installerades och öppnades i maj 2019 i Malmö, figur 10. Neptuni bro har en spännvidd på 15 m med variabel bredd från 4,6 m i den bredaste delen till 2,4 m i det smalaste (figur 11). Huvudanledningen för att välja FRP var den låga vikten (cirka 10 ton) jämfört med en motsvarande betongbro som skulle ha vägt cirka 70 ton. Bron skulle installeras på befintliga stöd från en gammal järnvägsbro och därför var det enda alternativet att använda den lätta FRP materialet, på detta sätt undvek man extra arbete och kostnader med förstärkning av fundament och underkonstruktion.

Sammanfattning och slutsatser

FRP-komposit ger flera fördelar i brokonstruktion, inklusive: (i) flexibilitet i geometri och materialval (som naturligtvis kommer med en större designinsats, tid och kostnad), (ii) lätt, som erbjuder mindre understruktur, enklare transport, snabbare installation och tillverkning i fabrik och montering på plats med bättre kvalitet, (iii) hög specifik styrka och styvhet samt god hållbarhet vilket leder till strukturer med stora säkerhetsmarginaler och låga underhållskostnader.

För närvarande finns det enligt undersökningar som gjorts i Falcon-projektet ett stort intresse hos Trafikverket och lokala kommuner för att använda FRP-komposit i framtida broprojekt. Det främsta skälet konstateras vara på infrastrukturägare, på grund av försämring



Figur 10: Installation av Neptuni-bron. Det tog en timme att installera den 10-ton bron.

och följaktligen stora underhållskostnader. Spridningsaktiviteter som arrangerades i Falcon-projektet har lett till en ökad medvetenhet om FRP-teknik för infrastrukturbruk. Baserat på lärdomarna från projektets resultat kan tre huvudområden för förbättring utpekas:

- Ingenjörsutbildning: Som tidigare

nämnts har brodesigners i Sverige i allmänhet mycket begränsad kunskap om FRP-material. Enligt författarna är det strukturkonstruktörens kunskap som bestämmer lämpligheten för FRP för ett visst projekt med specifika omständigheter i första hand. Tillhandahållande av läromedel, designexempel, samordnade workshops ska vara ett viktigt steg mot att skapa kulturen för att använda FRP i infrastruktur i Sverige.

- Brist på designkoder och riktlinjer: Brist på koder och föreskrifter för utformning om FRP-broar bidrar till svårigheterna med att acceptera FRP som byggnadsmaterial av större kunder såsom Trafikverket. Offentliga upphandlingar regleras strikt av lagar och förordningar, i den meningen är det ingen skillnad mellan anskaffning av en betongbro och en FRP-bro. Svårigheten ligger i tekniska frågor som tillförlitlighet, noggrannhet i designmodeller, hållbarhet och underhåll. Det tros att vid publiceringen av ”Tekniska specifikationer” för FRP-strukturer, som är under utarbetande av WG4 i CENs tekniska kommitté 250 - Strukturella Eurokoder [2] 2020, kommer en stor del av tekniska och juridiska frågor lösas och nya marknadsmöjligheter för FRP-konstruk-

tioner i Sverige nås.

- Integrerad industriell tillverkning: Intresset från FRP-tillverkare för andra tekniska discipliner har en direkt relation till infrastrukturmarknadens potential och attraktivitet. FRP:er är i grund och botten nya innovativa material. De har inte varit resultatet av förbättring eller modifiering av traditionella konstruktionsmaterial. Försörjningskedjan för FRP-strukturer är helt åtskild från de som används i anläggningsprojekt. För närvarande finns det ett stort potentiellt intresse bland FRP-tillverkare, särskilt marinrelaterade, att komma in på FRP-bron marknad. Kopplingen mellan FRP-tillverkarna och brokonstruktionskontor har ännu inte förverkligats. Det är mycket viktigt för FRP-tillverkningsindustrin att förstå de specifika tekniska kraven som konstruktörer ställer för brokonstruktioner eftersom brokonstruktioner skiljer sig helt från de typer av produkter de är vana att hantera. Detta beror främst på allvarigare konsekvenser av misslyckanden och stränga juridiska frågor. Tillverknings toleranser, felkänslighet och transporthantering är tre huvudområden som måste förbättras.

Slutligen utvärderas Falcon som ett stort steg framåt eftersom nästan alla pilotprojekt i Sverige inleddes, upphandlades och genomfördes med direkt eller indirekt stöd från expertgruppen i konsortiet. Detta stöd kommer att fortsätta för framtida projekt eftersom den stora potentialen för FRP-material i Sverige av alla inblandade intressenter är väl förstått. En potential som kan leda till betydande kostnadsbesparingar, mindre miljöpåverkan och skapa nya jobbomöjligheter. ■

Läs mer:

www.lighterarena.se/en/node/86

Referenser

- [1] Mara, V., R., Sagemo, A., Storck, L., Nilsson, D., 2013, *Comparative Study of Different bridge concepts based on life-cycle cost analysis and life-cycle assessment*, Asia Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS 2013), Dec 2013, Melbourne, Australia.
- [2] L. Ascione et al (2017). “Prospect for New Guidance in the Design of FRP”, Support to the implementation, harmonization and further developments of the Eurocodes.



Figur 11: Neptuni, Sveriges första hela FRP-gångbro, öppnade i juli 2019.