

# FÄRJEFRI E-39 I NORGE- INNOVATIVA BROKONCEPT MED STÅLSANDWICHELEMENT

Peter Nilsson • Mohammad Al- Emrani  
• Mohammad Hoseini  
www.sbi.se • Skapad 2016-01-11



*Europa vägen E39 går hela vägen från Trondheim i norra Norge längst västkusten ner till Kristiansand. Att vara helt korrekt E39 fortsätter efter en färja från Kristiansand i Norge till Aalborg i Danmark. Den totala sträckan på E39 längs Norges västkust är 1100 km och innehåller 7 fjordkryssningar som trafikerats med färjor.*

Idag är restiden ca 21 timmar för att köra från Trondheim till Kristiansand. Målet med projektet är att kryssa alla fjordar längst E39 med fast vägförbindelse som skall reducera restiden till 13 timmar. Reducerad restid mellan städer och regioner bidrar till ökad produktivitet och konkurrenskraft i landet (regionen står för 50 procent av traditionellt exportvaror i Norge). De sju fjordarna har en bredd av 3,5 till 7 km och djup av 400–1 300 meter, vilket innebär stora tekniska utmaningar för att bygga konstruktioner som aldrig har byggts tidigare.

## Ny teknik från offshore-industrin

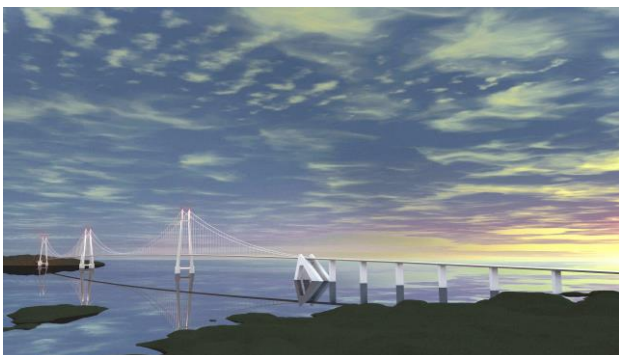
Med hjälp av teknik från norsk offshore-industrin, särskilt från de flytande oljeplattformar, ser vi att det är möjligt att förankra en flytande konstruktion på djup upp till 1 500 meter under havsytan (mbs). Flytande konstruktioner; både broar och nedsänkt flytande tunnel (Rörbro) är bland de viktiga konstruktioner som kan användas. Norge har redan den längsta berg tunnel (Laerdal tunnel 24,5 km), den längsta subsea tunneln (Bomlafjord 7,8 km, Ryfast 14 km under konstruktion 2014–17, Rogfast 27 km under uppbyggnad 2016–) och djupaste subsea tunneln (Eiksundtunnelen 7,77 km lång, 287 mbs). Det allmänna vägnätet i Norge består av 92 000 km vägar, 17 000 broar i drift och 1100 vägtunnlar.

## Tre olika koncept

Vi har kommit fram att tre olika koncept på konstruktioner som kan användas längst E39. Dessa tre är flytande brokonstruktion, nedsänkt flytande tunnelkonstruktion (Rörbro) och hängbroar med extremt stora spännvidder. Vi arbetar också på att utveckla koncept som kombinerar dessa tre. Besparing av egenvikt och förlängning av livslängd hos konstruktionen är viktiga faktorer för alla tre koncept. Vi har också tittat på anbudsalternativ, energiproduktion och samhällsekonomiska effekter i projektet (både normala ekonomiska beräkningar, men också "Game-Changer"-effekter av större marknader). Hittills är 31 doktorand projekt anslutna till projektet i olika område, varav 12 drivs i samarbete med Chalmers.

Ett forskningsprojekt som startades tidigt i år inom ramen för samarbetet mellan Chalmers och Statens Vegvesen avser att ta fram ett effektivt och robust alternativ till konventionella brodäck i stål. Nya brodäckkoncept med svetsade sandwich-element har utvecklats och utvärderas inom ramen för detta projekt. Ortotropa brodäck har hittills varit det

dominerande alternativet för broar med överbyggnad helt i stål. I dess mest moderna skepnad består dessa av en däckplåt med tvärbalkar och längsgående (oftast trapetsformade) avstyvningar. Det drivande incitamentet för att i projekteringsfasen välja en farbana av stål är minskad egentyngd. Därför är ortotropa plattor vanligt förekommande i öppningsbara broar och broar med stora spännvidder, t.ex. i lådtvärsnitt för snedkabel- eller hängbroar.



Manuell tillverkning av konventionell ortotrop platta, bild: [1].

### Ortotropa brodäck

Generellt är ortotropa brodäck kostsamma att tillverka. Produktionen innefattar en hel del förarbete och en stor mängd manuell svetsning av komplexa detaljer, så som vid urskärningar i tvärgående plåtar och trapetsor. Även underhållskostnaderna för dessa brodäck är förhållandevis höga. Lokala flexibiliteter och det komplexa och starkt ortotropa beteendet hos dessa brodäck har i många fall medfört utmattningsskador långt innan brons dimensionerande livslängd är uppnådd. Stora lokala deformationer har även i vissa fall orsakat skador i asfaltbeläggningen med en förhöjd underhållskostnad som följd. Ett alternativ där konventionella ortotropa brodäck ersätts med förtillverkade stålsandwichelement undersöks nu på Chalmers som en del av ett större samarbete mellan Chalmers och Statens Vegvesen inom infrastrukturprojektet Ferjefri E39.

Stålsandwichelement har tidigare med stor framgång tillämpats inom skeppsindustrin. Ett stålsandwichelement är en modern typ av plattbärverk med låg vikt i förhållande till sin styvhet och bärighet. Elementet – som tillverkas helt i stål – består av en övre och en undre plåt som separeras av en kärna. Kärnan kan anta olika geometriska former. Preliminära analyser visar att en sandwichkärna med trapetskorugerad profil är optimal med avseende på tillverkning och strukturellt beteende.

### Tillverkning

Den mest lovande fogningsmetoden som kan användas för tillverkning av stålsandwichplattor av de geometriska proportioner som en brokonstruktion kräver är hybridlasersvetsning.

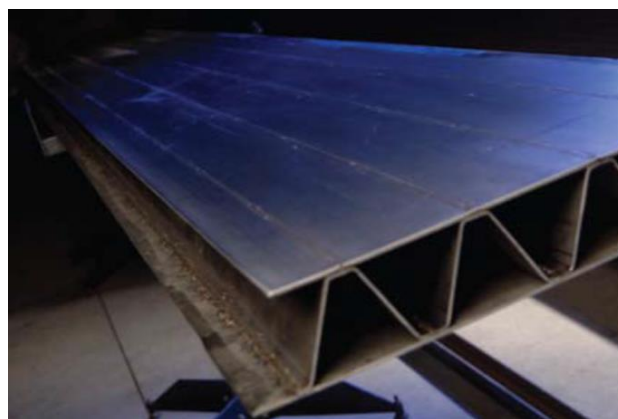
Den hybrida processen mellan lasersvetsning och konventionell MIG/MAG-svetsning utnyttjar de båda ingående metodernas individuellt goda egenskaper. Medan lasern bereder den djupa inträngningen som behövs för att sammanfoga komponenterna, står bågsvetsningen för "påfyllnad" med tillsatsmaterial. En optimering av svetsparametrarna i båda processerna ger mycket god kontroll över svetsprofil och -dimensioner.



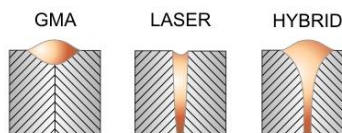
Den fokuserade energin i hybridlasersvetsprocessen medför en smal och djup svetsprofil, vilket ger ett relativt litet svetspåverkat område, med små tillverkningsdeformationer och låga restspänningar till följd. Processen är helt automatiserad, kräver ingen fogberedning och ger en jämn och välkontrollerad svets- och produktionskvalité. Laserhybridsvetsning är dessutom energisnålare jämfört med konventionell gasmetalbågs svetsning. Beroende på godstjockleken hos de ingående plåtarna kan svetshastigheter uppe mot 4 m/min uppnås.

### Varför stålsandwichelement?

Strukturellt är brodäck av stålsandwich ett mycket effektivt konstruktionselement som – jämfört med konventionella brodäck av stål – ger bättre materialutnyttjande och därmed möjligheter till påtagliga material och viktbesparingar. Till exempel medför den höga böjstyvheten som en sandwichplatta har i både riktningarna en hög total styvhet och goda lastfördelningsegenskaper. Dessutom medverkar stålsandwichelement på ett effektivare sätt i samverkan med huvudbalkar i broar (som tryckt eller dragen fläns) vilket ger ytterligare besparingar. Vid en utförd fallstudie av en öppningsbar bro med konventionellt ståldäck kunde en viktbesparing på över 40 procent påvisas om sandwichelement används istället för ett konventionellt ortotrop brodäck. Den automatiserade tillverkningsprocessen av stålsandwichelement innebär också mindre manuellt arbete i verkstaden som naturligtvis medför lägre produktionskostnader.



Stålsandwichelement med korrugerad kärna, bild: [2]



Svetsprofiler för bågs svetsning, laser och hybridlaser, bild: [3].

### Tillämpningar

För broar finns ett flertal potentiella användningsområden där stålsandwichelement kan ge konkurrenskraftiga och kostandseffektiva lösningar. Öppningsbara broar där en minskad egenvikt är eftersträvad en uppenbar tillämpning. En annan är medellånga broar där samverkansbroar av stål och betong idag dominerar. Ett brokoncept med huvudbalkar, tvärbalkar och stålsandwichdäck kan produceras industriellt och lyftas eller lanseras med farbanan förmonterad. Detta ger stora fördelar, inte minst i situationer där det ställs krav på korta byggtider och reducerade trafikstörningar. För broar med stora spännvidder används ställådtvärsnitt idag för att hålla egenvikten nere. Egenvikten påverkar hur lång maximal spännvidd en sådan bro kan ha. Om man istället tillverkar lådtvärsnittet av stålsandwichelement kan vikten minskas ytterligare, vilket alltså inte enbart påverkar tillverkning och kostnad utan även maximal spännvidd. Förutom broar har sandwichelement i stål stor potential i tillämpningsområden





där en hög specifik styvhet och bärförmåga eftersträvas. Vindkraftskonstruktioner, fraktcontainrar, bjälklag eller tak med stora spännvidder är några exempel.

### **Utmaningar**

Stålsandwichelement har tidigare inte tillämpats för broar. Detta medför naturligtvis ett antal spännande utmaningar. Genom forskning bör det strukturella beteende hos dessa relativt komplexa plattor studeras och beskrivas. Dimensioneringsmodeller som är anpassade för praktisk tillämpning behöver också tas fram. Elementens bärförmåga med avseende på brotts-, bruks och utmattningstillstånd måste utvärderas. Förband och kopplingar på element- och systemnivå behöver också utvecklas och verifieras för den avsedda tillämpningen. Forskargruppen stål- och träbyggnad på Chalmers och WSP arbetar idag tillsammans i ett industridoktorandprojekt för att studera stålsandwichelementets strukturella beteende och bärförmåga i en brokonstruktion. Projektet finansieras delvis av Statens Vägvesen med motfinansiering från Vinnobaserade forskningsprojektet INNODEFAB – LIGHTer. Ett flertal industripartners medverkar i arbetet däribland Lecor, SSAB och WSP. □

