

BBT-PROJEKT

Förstärkning av stål balksbroar via skapande av samverkan

2024-01-30, CIR-dagen Göteborg

Dagens presentatörer: Robert Hällmark (LTU / Trafikverket)

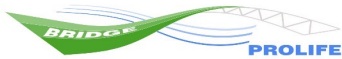
Projektdeltagare: Victor Vestman, Rasoul Nilforoush,
Robert Hällmark och Peter Collin



PRESENTATIONENS UPPLÄGG

BAKGRUND

2015-2018



**PROLONGING LIFE TIME OF OLD STEEL
AND STEEL-CONCRETE BRIDGES**



BBT-PROJEKTET

2019-2020



TILLÄMPNING

2019 -



FRAMTID



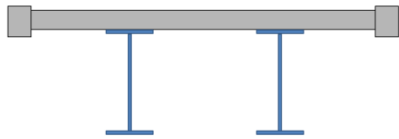


BAKGRUND

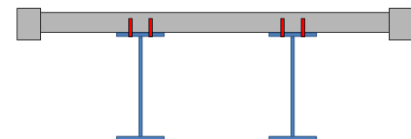
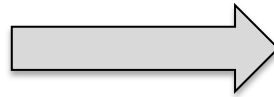


SAMVERKAN I EFTERHAND

HUR?



Stålbalkbro utan
samverkan

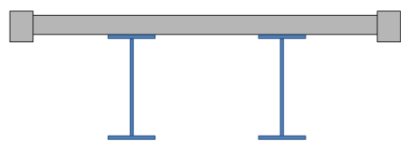


Samverkansbro



SAMVERKAN I EFTERHAND

HUR?



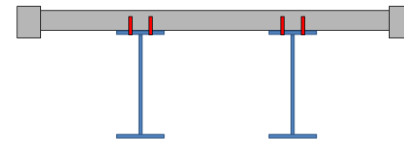
Stålbalkbro utan
samverkan

+



Efterinstallerad
skjuvförbindare

=

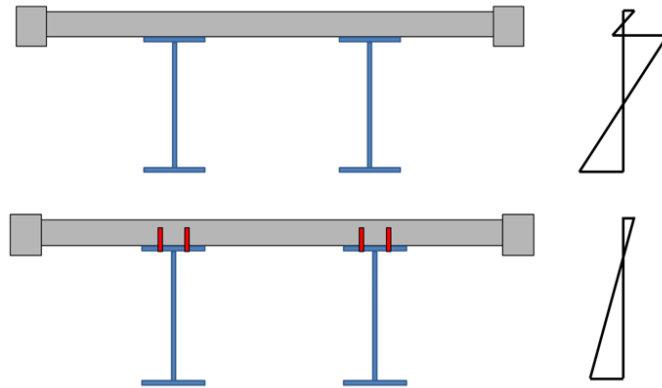


Samverkansbro



SAMVERKAN I EFTERHAND

VARFÖR?



Strains from live-loads



SAMVERKAN I EFTERHAND

MED VAD?



+



=



COILED SPRING PIN
(CSP)

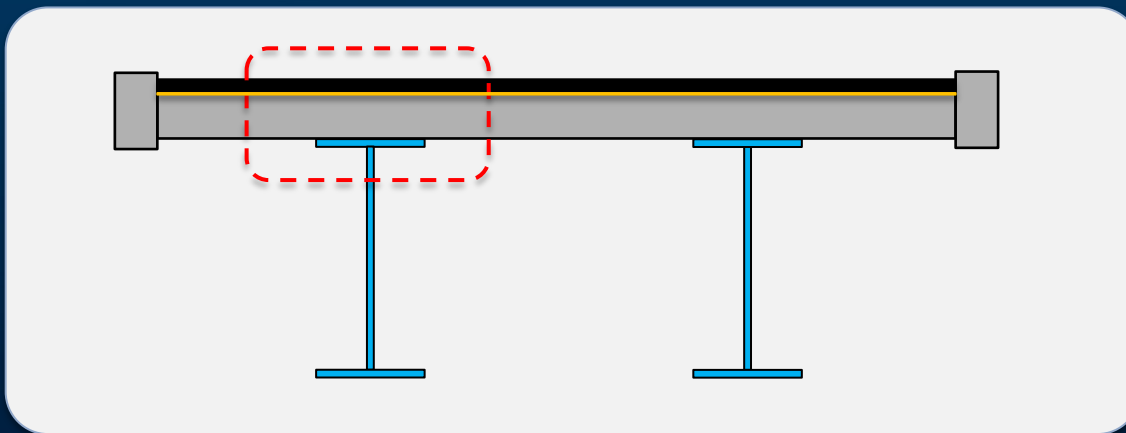


SAMVERKAN I EFTERHAND MED CSPs

Varför använda CSPs som efterinstallerade skjuvförbindare?

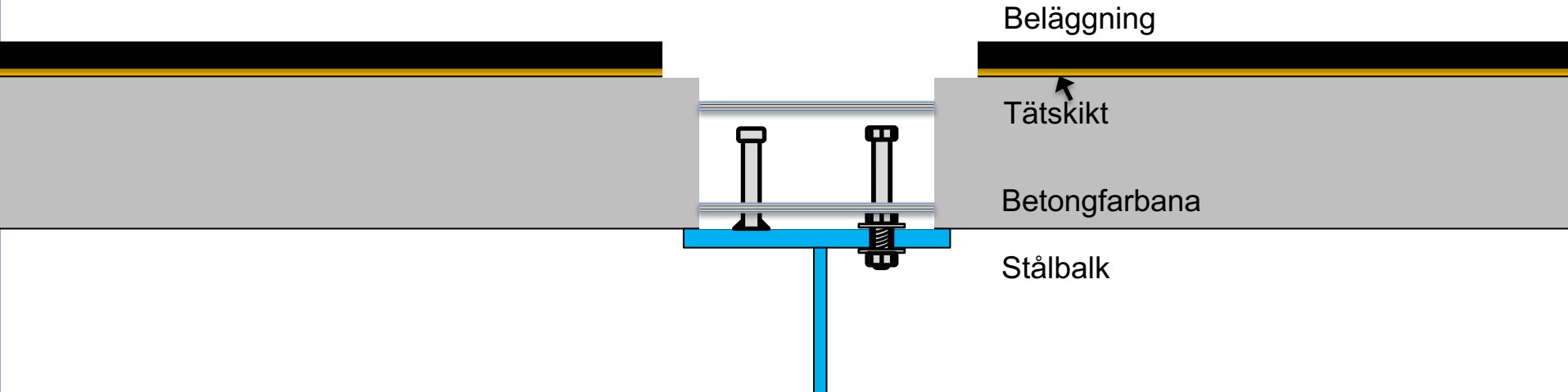
De tre viktigaste anledningarna

- Installationsproceduren
- Installationsproceduren
- ...och installationsproceduren



Installation av svetsbultar (eller skruvar)

- Tillgång till stålet behövs uppifrån
- Beläggning + tätskikt + betong \Rightarrow avlägsnas
- Lämplig förstärkningsmetod om andra typer av större förstärkningsarbeten behöver göras på betongfarbanan



Installation av CSPs

Precisionsborrning

1. Genom stålflänsen
2. In i betongen

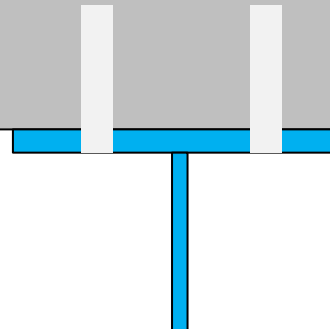


Beläggning

Tätskikt

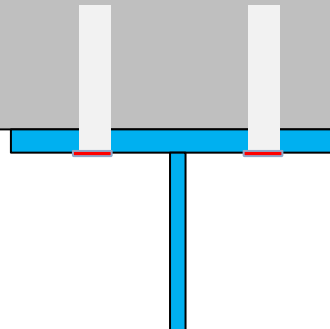
Betongfarbana

Stålbalk



Installation av CSPs

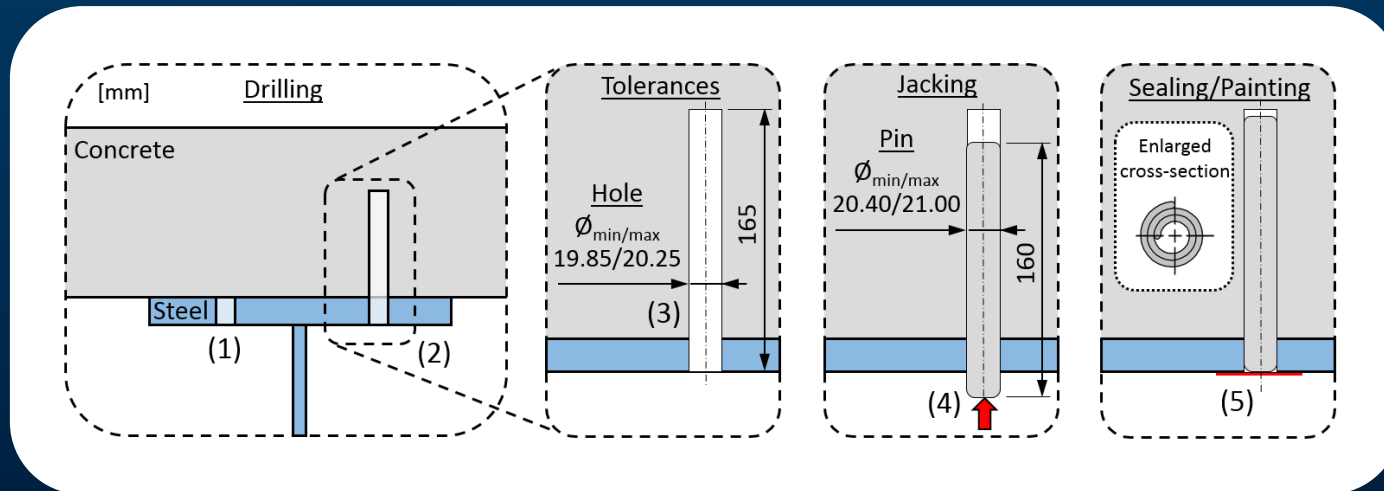
- De överstora förbindarna pressas in i hål med mindre diameter
- Hålen försluts för rostskyddets skull



Installation av CSPs

- Hela installationsprocessen kan göras underifrån brofarbanan...

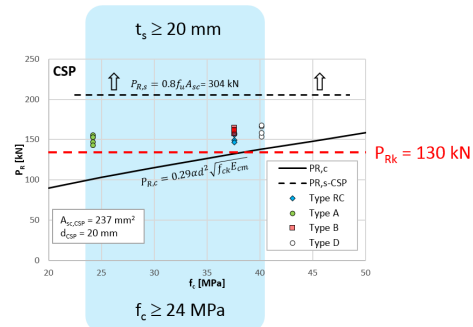
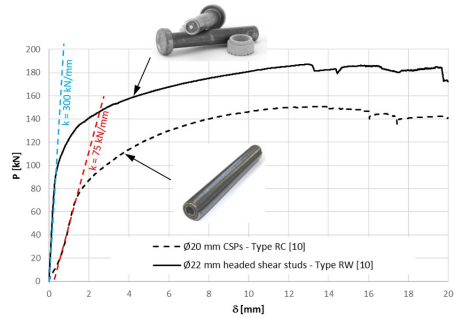
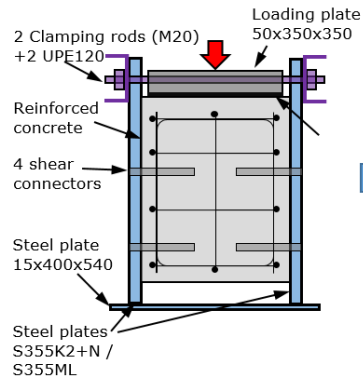
...till och med då bron fortfarande är i drift



VAD BEHÖVER VI KÄNNA TILL OM CSPs

- Statisk lastkapacitet

Labbtester – "Push-out tester"



Dimensionerings-
rekommendationer

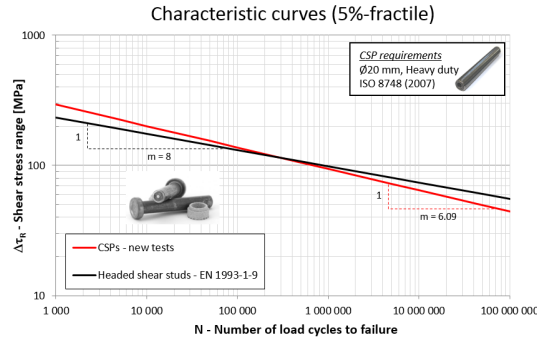
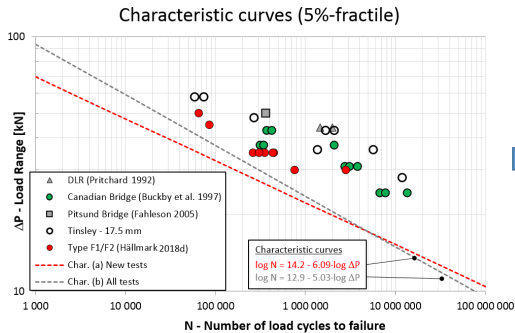
- 22 provkroppar med CSPs
- 5 provkroppar med svetsbultar
- 3 provkroppar med CSPs + svetsbultar



VAD BEHÖVER VI KÄNNA TILL OM CSPs

- Statisk lastkapacitet
- Utmattning

Labbtester – ”Push-out tester”



Recommended design criterion

$$\log N = 14.2 - 6.09 \cdot \log \Delta P$$

or

$$\Delta \tau_R^{6.09} N_R = 84.4^{6.09} \cdot 2 \cdot 10^6$$

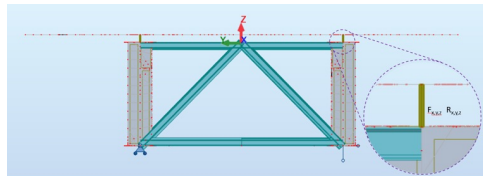
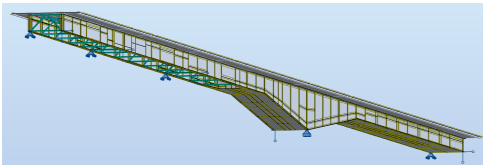
12 provkroppar
+ tester från externa källor

Dimensionerings-
rekommendationer

VAD BEHÖVER VI KÄNNA TILL OM CSPs

- Statisk lastkapacitet
- Utmattning
- Strukturellt beteende

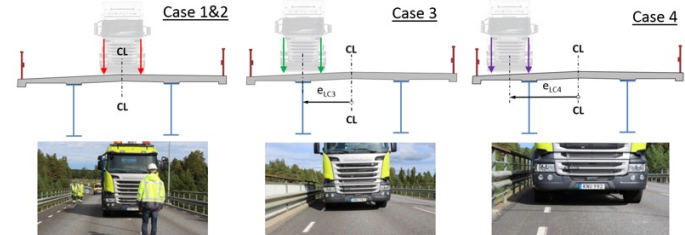
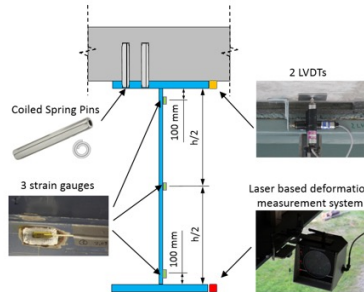
FE-analyser



Fältmätningar (Pitsundsbron) – strukturellt beteende



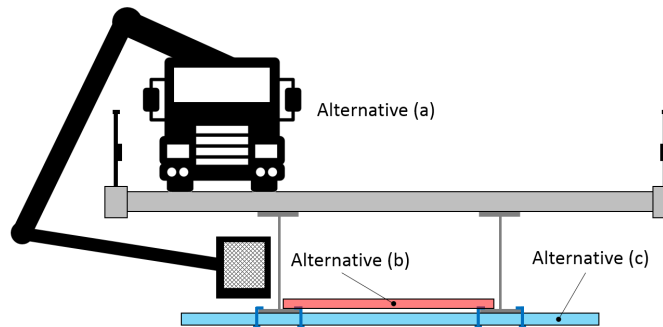
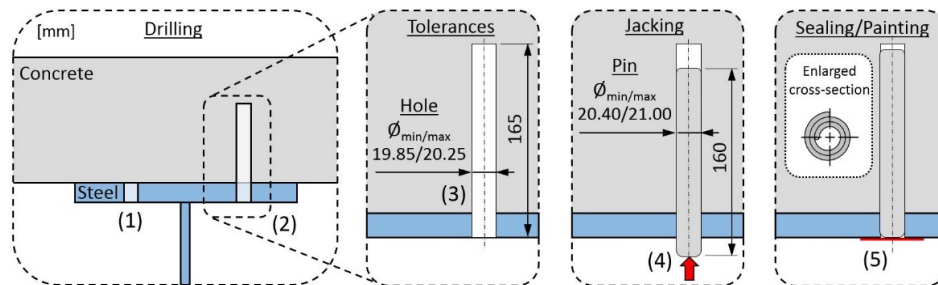
32 tonnes



VAD BEHÖVER VI KÄNNA TILL OM CSPs

- Statisk lastkapacitet
- Utmattning
- Strukturellt beteende
- Installationsprocedur

Toleranser, avstånd och installationsprocedur har testats i såväl fält- som i labbmiljö



VAD BEHÖVER VI KÄNNA TILL OM CSPs

- Statisk lastkapacitet
- Utmattning
- Strukturellt beteende
- Installationsprocedur
- Övrig forskning & tillämpning



(2006) Pitsund Bridge (Sweden)



(2022) Portbron(Sweden)



(1995) Vancouver skytrain system 2 broar



(2020) Sagstu + Fidje (Norway)



(2008) DLR – Docklands Light Railway (London)

(2001) Tinsley Viaduct (UK)

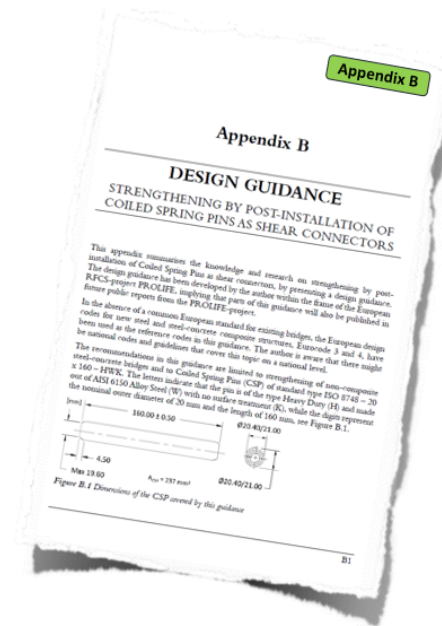
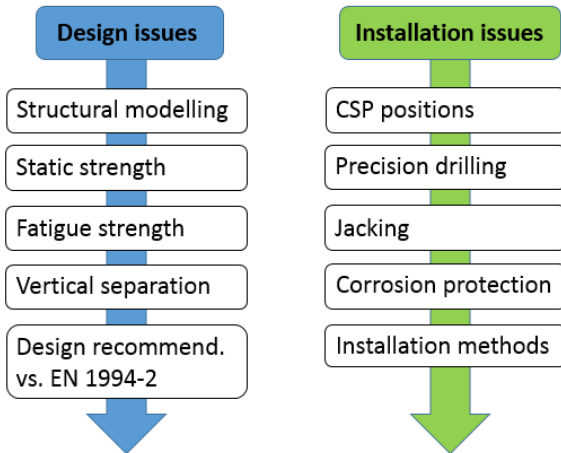
(1988) DLR – Docklands Light Railway (London)



TIDIGARE RESULTAT OCH SLUTSATSER

Design guidance

- summarizes the outcome of the research





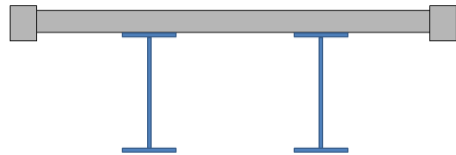
BBT-PROJEKTET





KVARSTÅENDE FRÅGOR?



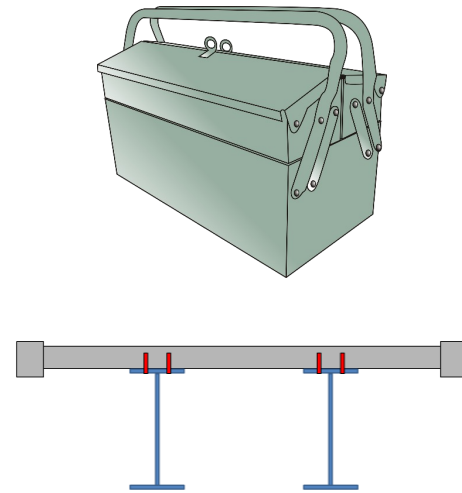


Non-composite steel-concrete bridge

+



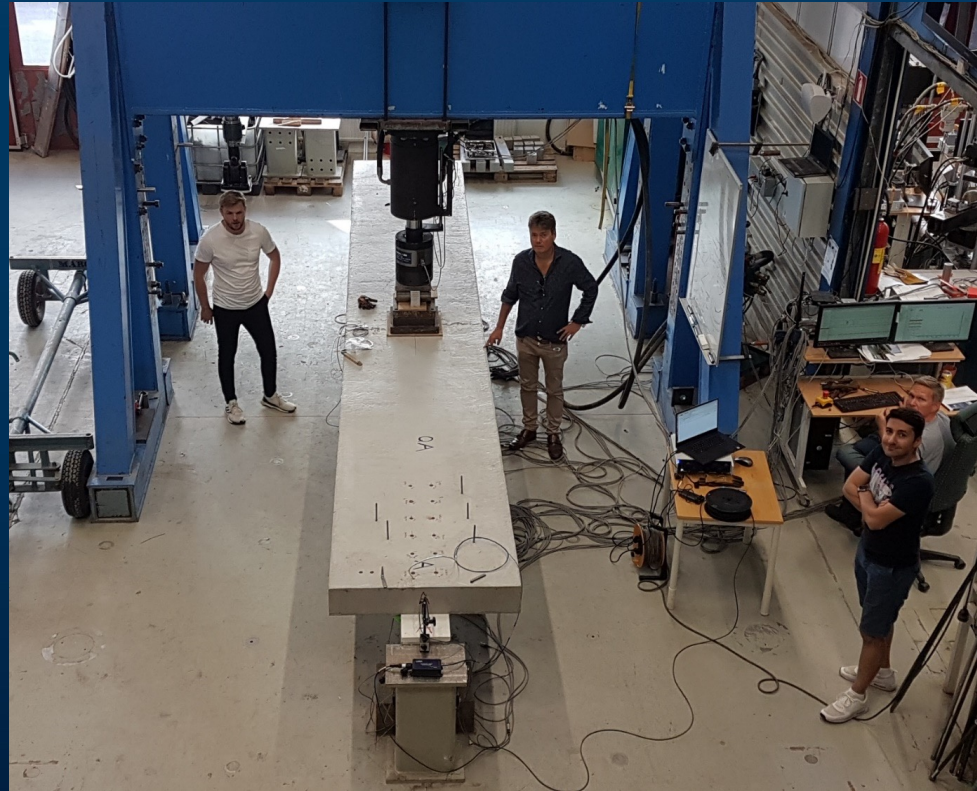
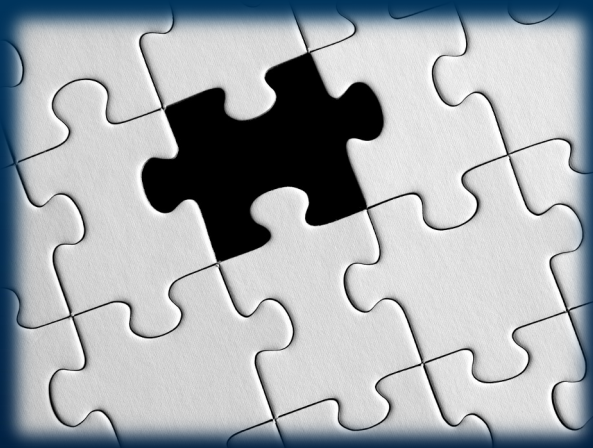
=



Coiled Spring Pins (CSPs)

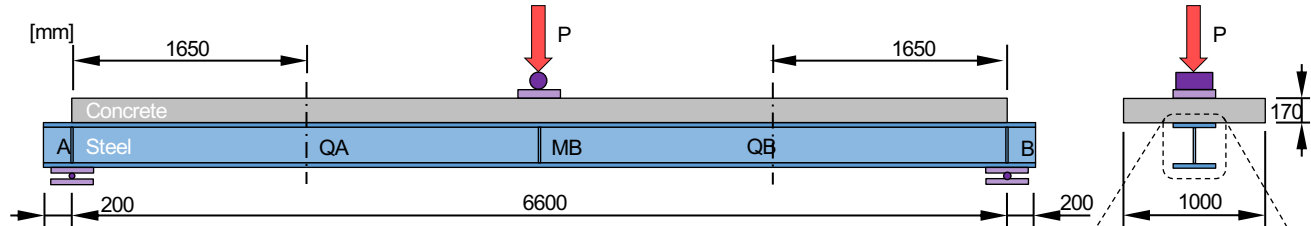
DEN SAKNADE PUSSELBITEN

- Balktester till brott



BALKTESTER

- Två balkar har testats
 - Svetsade stålbalkar
 - Betongplatta som armerats och gjutits i labbet

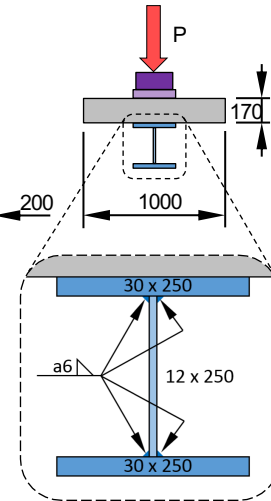


Concrete properties

C35/45	Girder 1	Girder 2
f_{ccm} [MPa]	54,8	51,5
$f_{ctm,sp}$ [MPa]	4,4	4,3
E_{cm} [GPa]	34,3	33,6

Steel properties

Part	Grade	R_{eH} [MPa]	R_m [MPa]	Elong. [%]
Web	S355K2C+N	447	579	29
Flanges	S355J2	407	541	27
CSP	AISI 6150	1516	1606	5



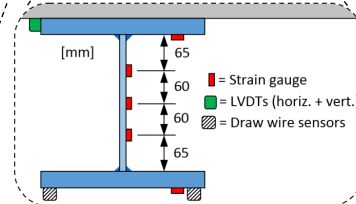
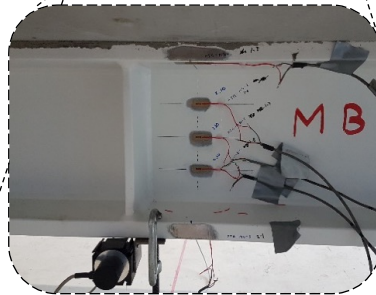
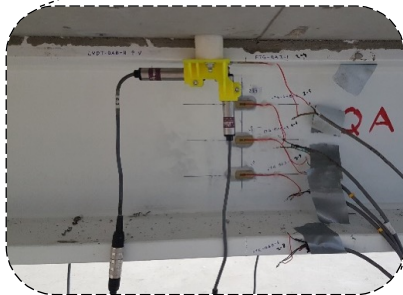
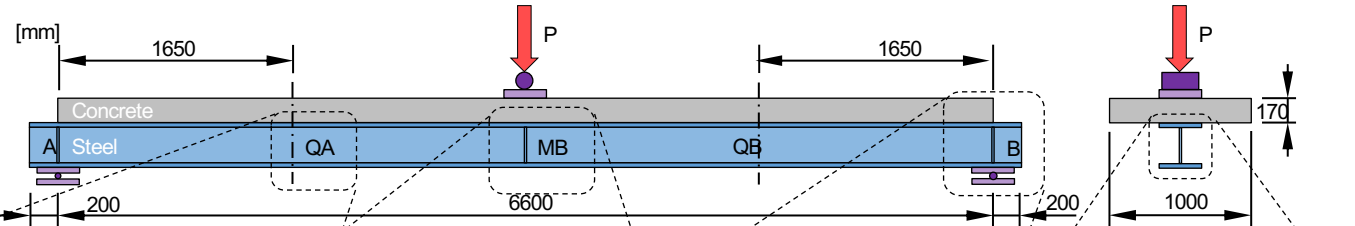
BALKTESTER

- Två balkar har testats

- Svetsade stålbalkar
- Betongplatta som armerats och gjutits i labbet

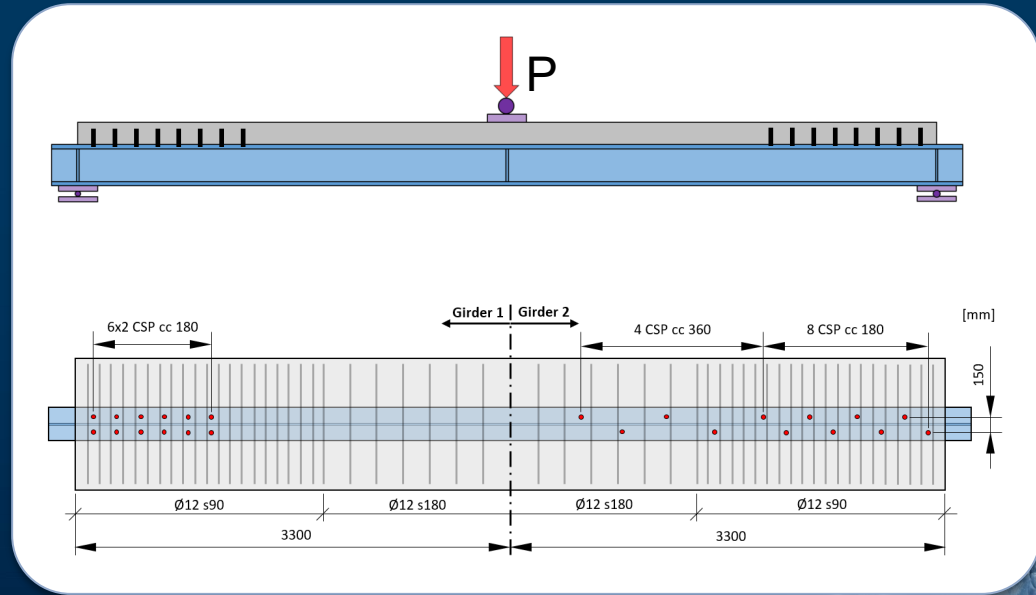
Instrumentering:

- Töjningsgivare på stålet
- Fiberoptik i betongplattan
- Nedböjning (vajergivare + LVDT)
- Slip and vertikal separation (LVDT)



TESTPROCEDUR

- De tre första pålastningarna utfördes utan skjuvförbindare (NC = No composite action)
 - $\Delta P_1 = 0 - 220$ kN
 - $\Delta P_2 = 0 - 250$ kN
 - $\Delta P_3 = 0 - 350$ kN
- De två avslutande pålastningarna utfördes efter att skjuvförbindare hade installerats (CSP = Composite action)
 - $\Delta P_4 = 0 - 350$ kN
 - $\Delta P_5 = 0 - \text{maximum load}$



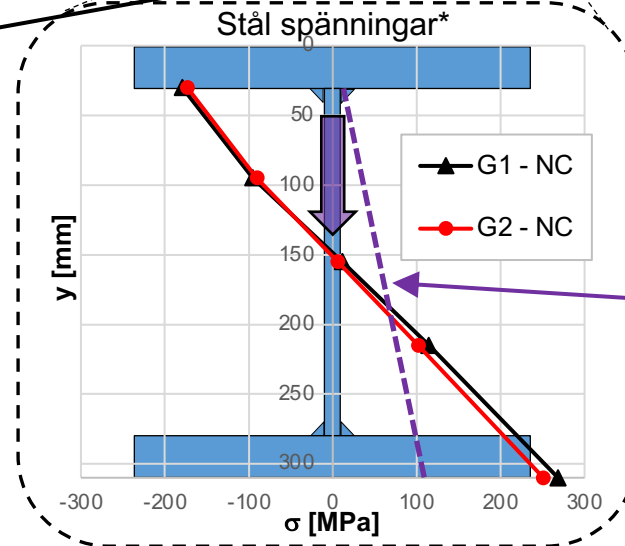
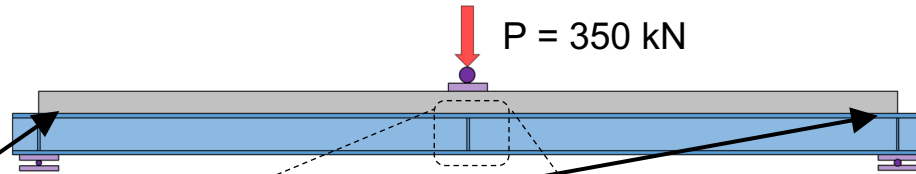
22-24% skjuvförbindningsgrad
⇒ Partiell samverkan

TESTRESULTAT

- NC = Ingen samverkan

- $\Delta P_3 = 0 - 350 \text{ kN}$

Ett "slip" på ~3-4 mm registrerades i balkändarna



G1 = Girder 1

G2 = Girder 2

~210 kN
innan den initiala
friktionen/bindningen
släppte mellan stål
och betong

* = uppmätta töjningar har konverterats till spänningar via Hooke's lag och $E = 210 \text{ GPa}$



TESTRESULTAT

- NC = Ingen samverkan

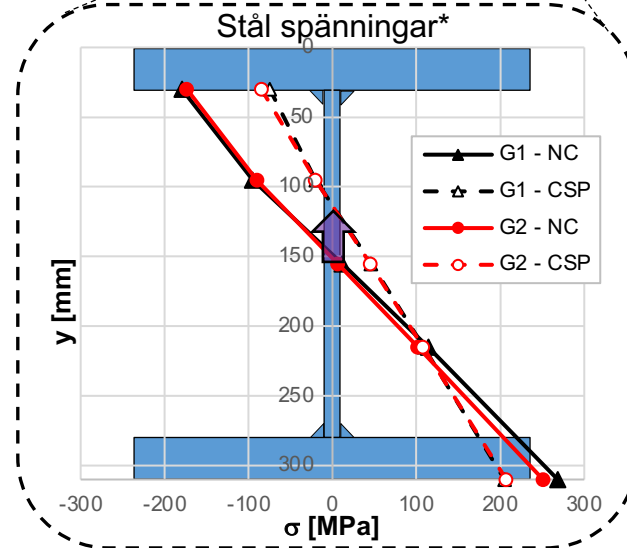
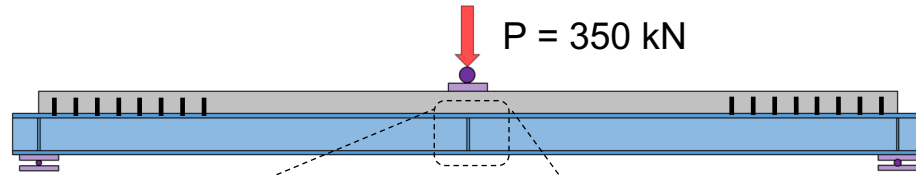
- $\Delta P_3 = 0 - 350 \text{ kN}$

- CSP = Samverkan

- $\Delta P_4 = 0 - 350 \text{ kN}$

Observationer:

- Neutrallagret (vid böjning) flyttas uppåt
- Stålspanningarna i underflänsen reduceras med ~20%
- Slippet reduceras till $< 1 \text{ mm}$



G1 = Girder 1

G2 = Girder 2



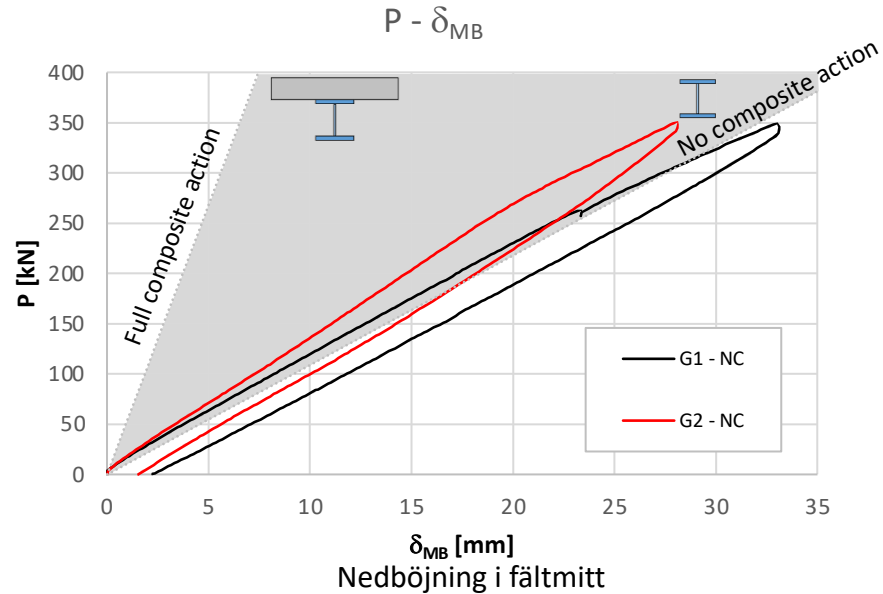
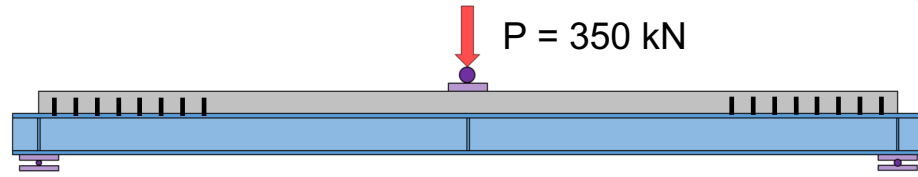
TESTRESULTAT

- NC = Ingen samverkan

- $\Delta P_3 = 0 - 350 \text{ kN}$

- CSP = Samverkan

- $\Delta P_4 = 0 - 350 \text{ kN}$



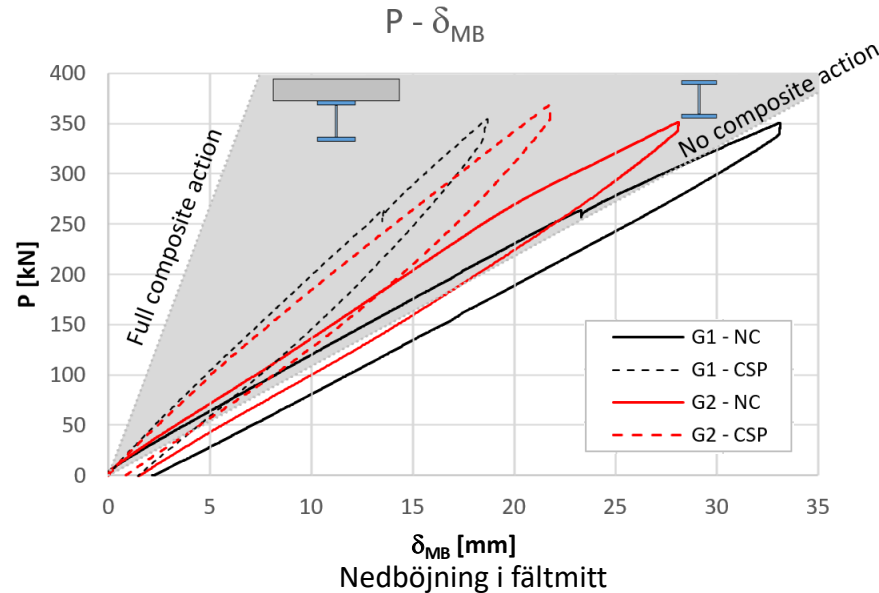
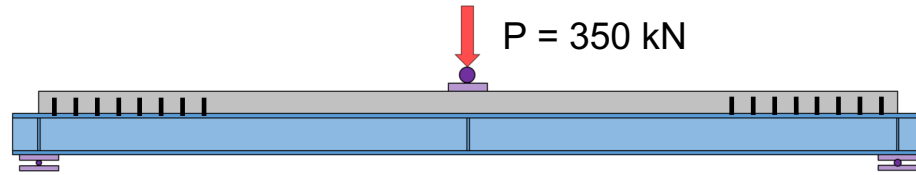
TESTRESULTAT

- NC = Ingen samverkan

- $\Delta P_3 = 0 - 350$ kN

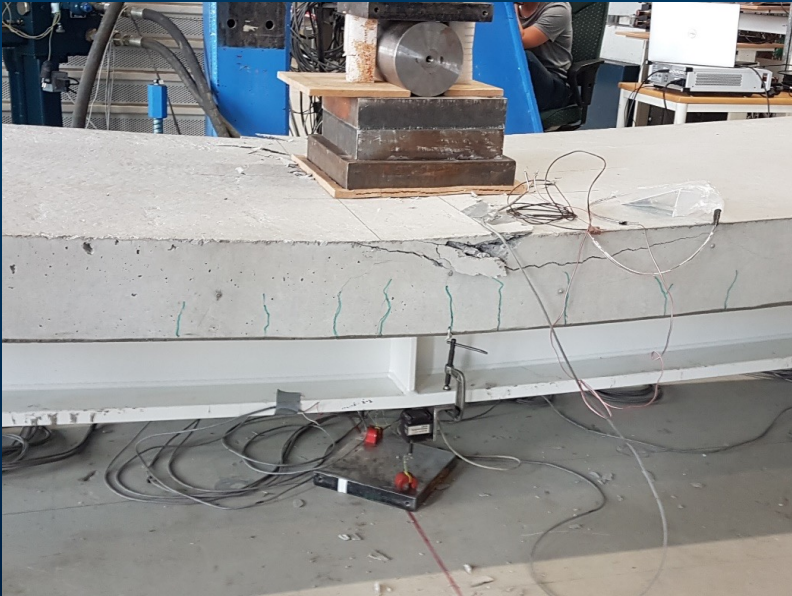
- CSP = Samverkan

- $\Delta P_4 = 0 - 350$ kN



TESTRESULTAT

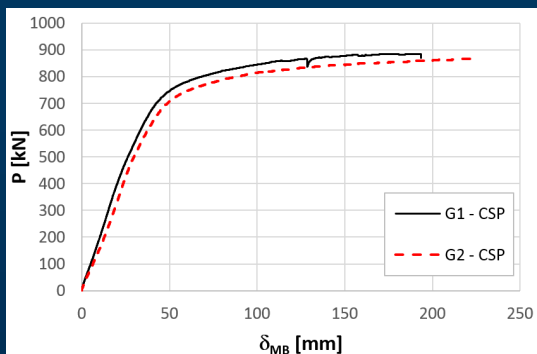
- Pålastning till brott
 - $\Delta P_5 = 0$ – maxlast



TESTRESULTAT

- Pålastning till brott

- $\Delta P_5 = 0$ – maxlast

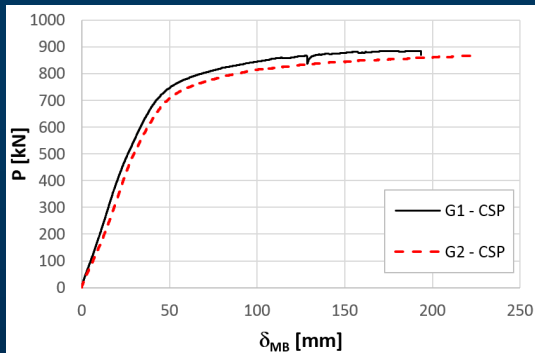


- Stora plastiska deformationer i stålbalcken
- Betongkrossning + böjsprickor
- Stora slip (> 5 mm) \Rightarrow Plasticering av CSPs



TESTRESULTAT

- Pålastning till brott
- $\Delta P_5 = 0$ – maxlast



Jämförelse med teoretiska värden på maxlasten:

Bara stål balk: $P_{max} \sim 560$ kN

Full samverkan: $P_{max} \sim 1100$ kN

Partiell samverkan (23%): $P_{max} \sim 790$ kN



SLUTSATSER

- Även vid balktester erhålls ett väldigt duktilt beteende med CSPs som skjuvförbindare
- Inga problem med separation mellan stål och betong vid lastnivåer motsvarande brukgränstillstånd (ej plasticering av tvärsnitt)
- Redan vid 20% skjuvförbindningsgrad erhålls en betydande förstärkningseffekt





TILLÄMPNING



FÖRSTÄRKTA BROAR

- 2 st i Norge (Sagstu och Fidje)
- 1 st i Sverige – Portbron (Hemavan)



NORSKA BROARNA



Magnus Arsson,
Sjeförklarare broar,
EFLA



Egeir Bie
Gundersen,
Innovasjonsleder
broar, Agder fylkes-
kommune



Peter Collin,
Innovasjonsleder,
Tekniska Universitet /
Hälsöbjörns



Victor Vestman,
Ordførar, Luleå Tekniska
Universitet / Herald
Sverige

Innovasjon i bruforsterkning i Agder

EFLA og Luleå Tekniska Universitet har bistått Agder fylkeskommune med forsterkning av to gamle stål-bjelkebruer i Agder fylke, som dannet en flaskehals for vegtransport i området. I prosjekteringen er det brukt en metode som aldri har vært brukt i Norge før, og den har vist seg å være effektiv i forhold til kostnad, gjennomførbarhet og miljøpåvirkning. Prosjektet er et eksempel på vellykket nordisk samarbeid, og kan ha overføring til fremtidige prosjekter.

STÅLBRØR

Norsken kjæpete blir tyngre hele verden rundt utes krav til bæreevne av konstruksjoner i utfordrende vognnett. I Norge er det i dag spesielle krav for en oppgradering av mange bruer for å tillate passasjer av 60 tonn sommertransport som standard, og opp til 100 tonn spesialtransport.

Flere av bruer som må forsterkes er stål-bjelkebruer som bygges opp mellom stålbyltekene og overspåningsdekket. På bruer uten samvirke blir bruket på stålbyltekene og distribueres last fra trafikk til deise, uten å bidra til bærevirking i bevisnings, men på bruer med samvirke finnes det en mekanisk skjøteforbindelse mellom stål- og betongelementene. En slik forbindelse muliggjør en mer effektiv styring av konstruksjonen uten å kreve mye bruk av nye konstruksjonsmaterialer.

Eksempler på bruer som bygges opp med samvirke er Sagstua og Fjellbrua i Agder fylke. Disse er rundt 10 meter lange, omkring 30 år gamle, i ett spenn. Bruene har dannet en flaskehals for sommertransport i Agder. De har, likt med mange andre bruer i fylket i den perioden, ikke bærkapasitet som tilfredsstillende gjennom årene.

En ny metode

Etter vurdering av mulige forsterkningsløsninger og dialog med bruer i Agder fylkeskommune og Statens vegvesen. Vegdirektoratet ble det valgt å forsterke bruen med etablering av samvirke mellom betongplaten og stålbyltekene.



Figur 1. Beliggenhet av Sagstua- og Fjellbrua.

Etablering av samvirke er brukt for forsterkning på noen bruer i Norge tidligere, men aldri med metoden som benyttes for Sagstua og Fjellbrua. Forbindelsen mellom betong og stål skjer ved at man installerer cooled pins som fjernvarmingsrør på bruen underbygnings. Pinnene jekkes inn, det kreves ikke vevning av stål eller medling av betong.

Denne prosessens åpenhet i å ha forsterket, ikke minst med benyttet trafikkampere i anleggspåseiden. Alternativer ville være å installere opp betong og overflate og vevne pinnene til seg selv av stålbyltekene ovenfor, noe som krever omfattende utgraving av bruen. I tillegg har det vist seg at den nye metoden er konkurransedyktig når det gjelder kostnad, samt at den anses som miljøvennlig da det brukes en materialer ikke støt, vevning runder opp foks, vil bruforsterkning med stålvinler på byltekene.



Figur 2. En cooled pinne.

Cooled pins for bruforsterkning
Luleå Tekniska Universitet har en bredtildt forskningsenhet på etablering av samvirke med cooled pins, spesielt forbindelse med Pinnad betong i Sverige, hvor Rambøll har prosjektert bruforsterkning. Bortsett fra den bruen, har ikke metoden vært brukt mye



Figur 3. Fjellbrua.

for bruforsterkning og aldri før i Norge. For mer informasjon [1].

Cooled pinner er laget av stålplater som er direkte 2,5 ganger rindt pinnens nominale aksel. Se figur 2. For installasjonen er pinnene bredere enn hullet som den skal installeres til, og det oppnås en tett forbindelse mellom stål og betong med en raddell fjærkraft når den installeres. Hay røysktinget i boring og installasjon er imperativt.

Stor kapasitetutbygging

Sagstua og Fjellbrua er eksempler på bruer som ble bygget i Norge i en tid da designbelastning var betydelig lavere enn i dagens krav. Både bruer har 2 kjørteier og 2 sveiste påtebrenere av varierende tverrsnitt. Tabell 1 oppsummerer bruene og prosjektering av forsterkning. Figur 3 viser Fjellbrua før forsterkning.

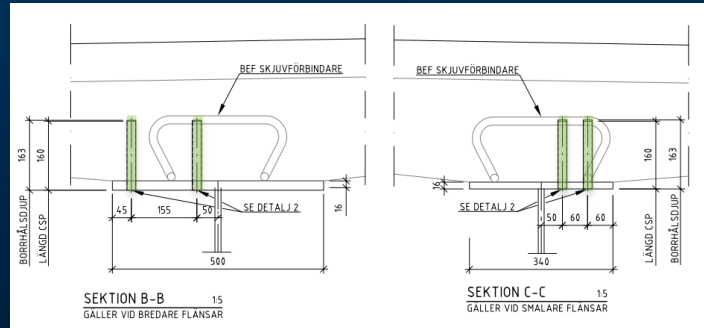
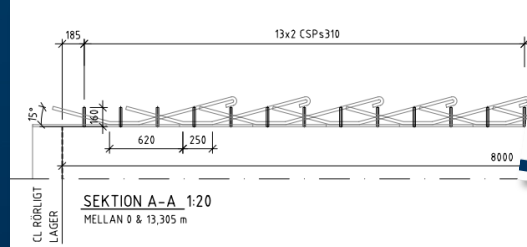
Tabell 1. Sagstua og Fjellbrua – Oversikt

	Sagstua	Fjellbrua
Byggetår	1970	1966
Trafikk (kjørteier/årlig)	2300	600
Spennlengde	27 m	25,5 m
Mykhet på stillingsnivå	1,25 Mpa	1,92 Mpa
Stållaste, vevningsnivå og tykkelse	350 MPa	350 MPa
Dimensjonerende lastpåvirkning for forsterkning	100 tonn spesialtransport	100 tonn spesialtransport
Dimensjonerende bøyemoment, midtpinnen	$M_{100,000}$	$M_{100,000}$
Kapasitet for forsterkning	0,7 $M_{100,000}$	0,6 $M_{100,000}$
Kapasitet etter forsterkning med etablering av samvirke	0,9 $M_{100,000}$	0,8 $M_{100,000}$
Kapasitet etter forsterkning med etablering av samvirke og ny stillingsnivå på bunnflaten	1,1 $M_{100,000}$	1,0 $M_{100,000}$



PORTBRON

- Förstärkt med ny skjuvförbindning \Rightarrow BK4



PORTBRON



Startsida **Aktuellt** Arbets sätt Stöd och verktyg Min anställning Om Trafikverket

Startsida / Aktuellt / Nyhetsarkiv / Höjdpunkter från sommarens Investering

25 augusti 2022 – Investering

Höjdpunkter från sommarens Investering

I månaden uppstickare presenterar vi några höjdpunkter från den gångna sommaren. Läs om broförstärkning i Hemavan, den tillfälliga E4:an i Stockholm, enflig omledning i Alvesta och renovering av Viskadalsbanan.

Investering bygger för ca 18 miljarder kronor och har 1 600 projekt i gång varje år. Det är vårt bidrag till att skapa ett hållbart, robust och säkert transportsystem för medborgare och näringsliv i hela Sverige.

Här är fyra projekt som uppnått en milstolpe eller höjdpunkt under sommaren. Projektledarna berättar med egna ord om sina utmaningar och framgångsrecept för att lyckas.

Distrikt Nord: Bro över Umeälv - Portbron

Projektledare Per Andersson:

- Portbron ligger längs väg E12 som är en mycket viktig transportled för tunga och långa transporter i regionen. Bron ligger nära Hemavan och är den sista av en rad broar som behövt förstärkas. Det har varit en utmaning att hinna bli klar innan den första snön faller.

- Portbron ska förstärkas med så kallade spiralbultar. Metoden går ut på att man borrar igenom överflänsen på stålbalken och en bit in i betongplattan, varpå man pressar in spiralbultarna, vilket ökar samverkan mellan stålbalkar och betongfarbanan och tillräcklig bärighet uppnås. Det här är ett billigt och snabbt sätt att öka bärighet på stålbroar som bara använts en gång tidigare i Sverige och för några broar i Norge. Ekonomiskt har denna metod fallit väl ut för Trafikverket.

- I upphandlingen öppnade vi upp för underentreprenörer att kunna ta på sig arbetet och fick en engagerad entreprenör som är på hugget och vill få ett bra resultat. Utmaningen för entreprenören har varit att kunna borra med mycket stor noggrannhet, men efter förberedelser med provborrning på provbitar så har det gått mycket bra. Tack vare noggranna förberedelser så kommer projektet vara färdigt i god tid innan vintern.



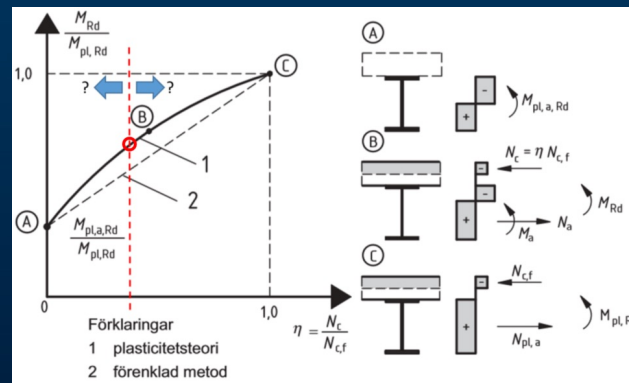
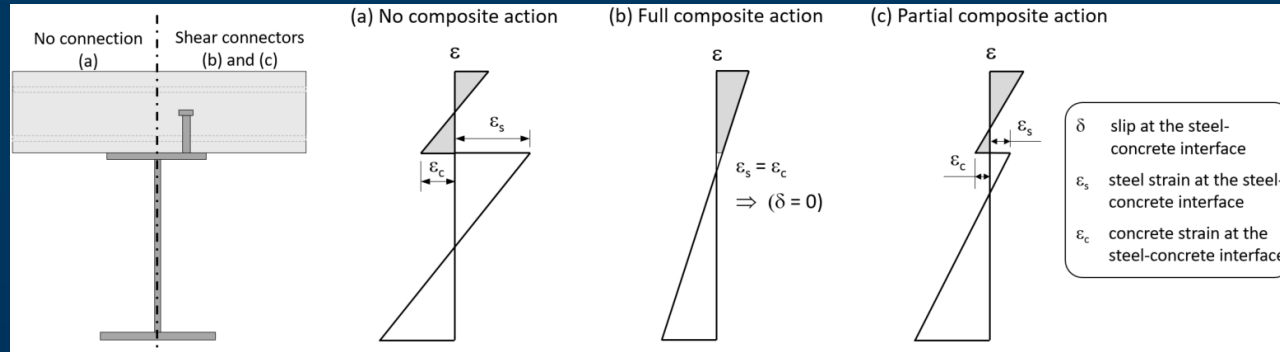
Spiralbultar som denna pressas in genom stålbalken och en bit in i betongplattan.



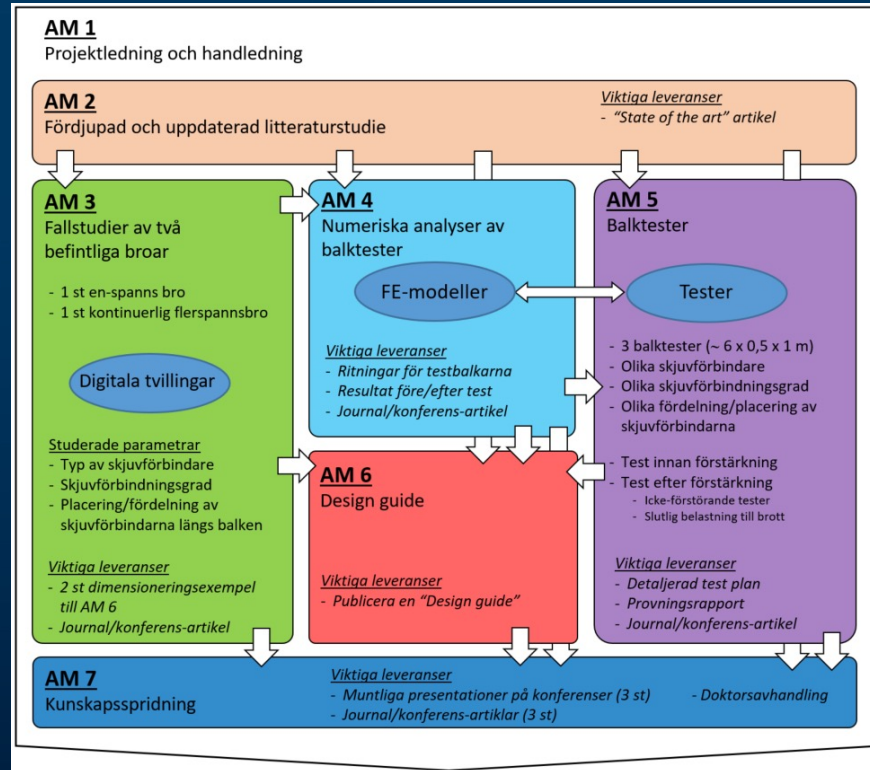
FRAMTID



PARTIELL SAMVERKAN



PARTIELL SAMVERKAN



SBUF
SVENSKA BYGGBRANSCHENS UTEVECKLINGSFOND
The development fund of the Swedish construction industry

BBT
Branschprogram för forskning och innovation
avseende Byggnadsverk för Transportsektorn

PARTIELL SAMVERKAN



2025/2026



KUNSKAPSSPRIDNING

- NVF Bridge Group
 - Webinar April 5th - Sustainable Asset Management



Isländsk brokonstruktör som använt de dimensioneringsregler som vi tagit fram i två förstärkningsprojekt i Norge.

- Robert Hällmark + Magnus Arason
 - Bridge strengthening using coiled spring pins





TACK FÖR ATT NI LYSSNADE!

"Att tänka stort går fort, att ta reda på fakta går sakta"

Källa saknas



LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

Finansiärer



Statens vegvesen
Norwegian Public
Roads Administration



LULEÅ
TEKNISKA
UNIVERSITET

L