

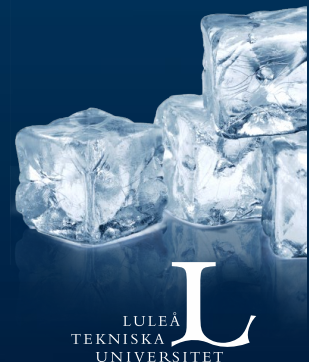


FÖRSTÄRKNING AV STÅLBALKSBROAR VIA SKAPANDE AV SAMVERKAN

- Från forskning till utförande

2025-11-25, Stålbyggnadsdagen i Stockholm

Dagens presentatörer: Robert Hällmark (LTU)
Lennart Nilsson (NCC)



PRESENTATIONENS UPPLÄGG

BAKGRUND

2015-2018



FORSKNING

2019-2025



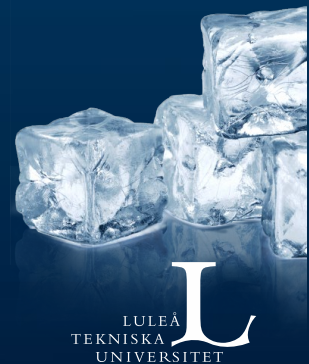
TILLÄMPNING

2019 -



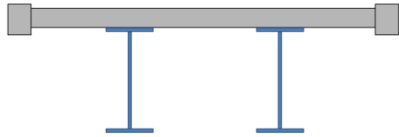
The background of the slide is a deep blue gradient. At the top, there is a horizontal band showing a close-up of an iceberg's edge with jagged, translucent ice. Below this, the rest of the slide is a solid dark blue. In the bottom right corner, there is a small cluster of ice cubes and the Luleå University of Technology logo.

BAKGRUND

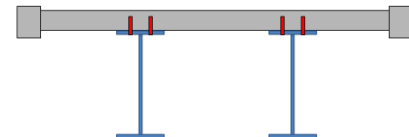
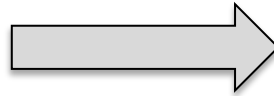


SAMVERKAN I EFTERHAND

HUR?



Stålbalkbro utan
samverkan

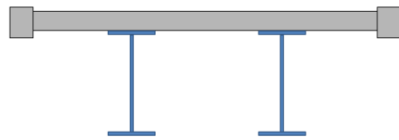


Samverkansbro



SAMVERKAN I EFTERHAND

HUR?



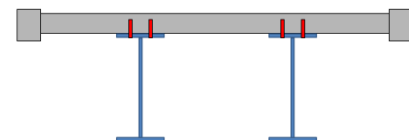
Stålbalkbro utan
samverkan

+



Efterinstallerad
skjuvförbindare

=

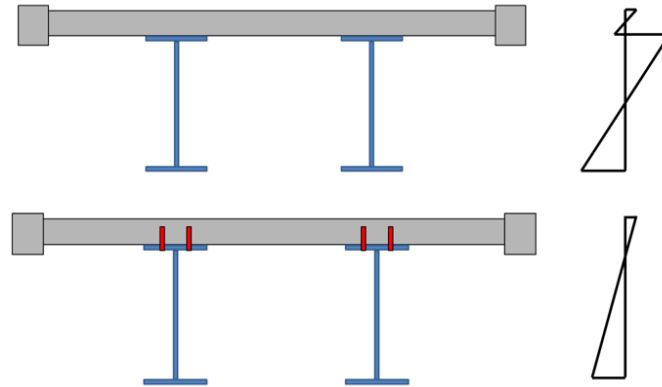


Samverkansbro



SAMVERKAN I EFTERHAND

VARFÖR?



Strains from live-loads



SAMVERKAN I EFTERHAND

MED VAD?



+



=



**COILED SPRING PIN
(CSP)**

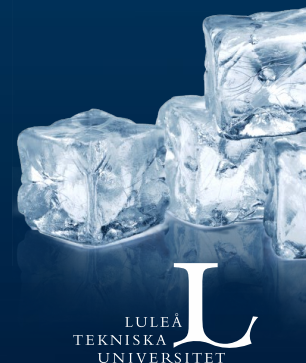
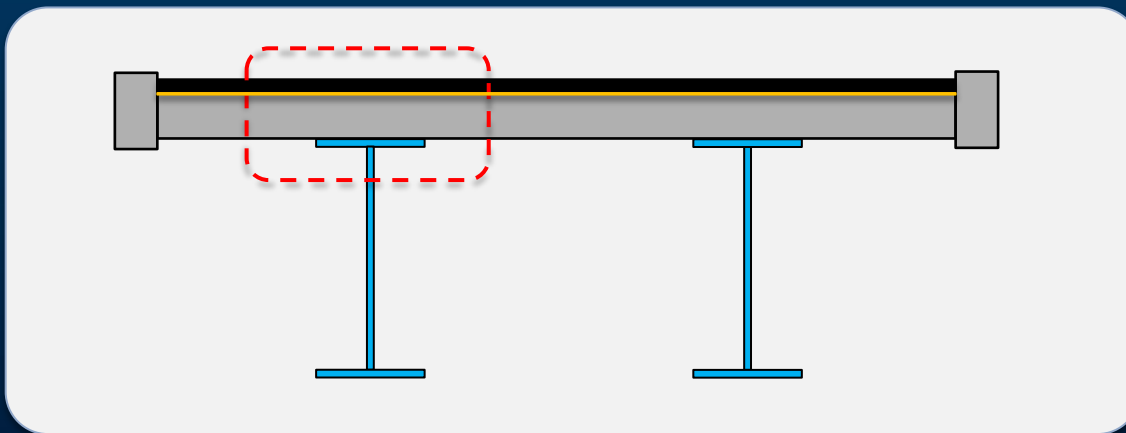


SAMVERKAN I EFTERHAND MED CSPs

Varför använda CSPs som efterinstallerade skjuvförbindare?

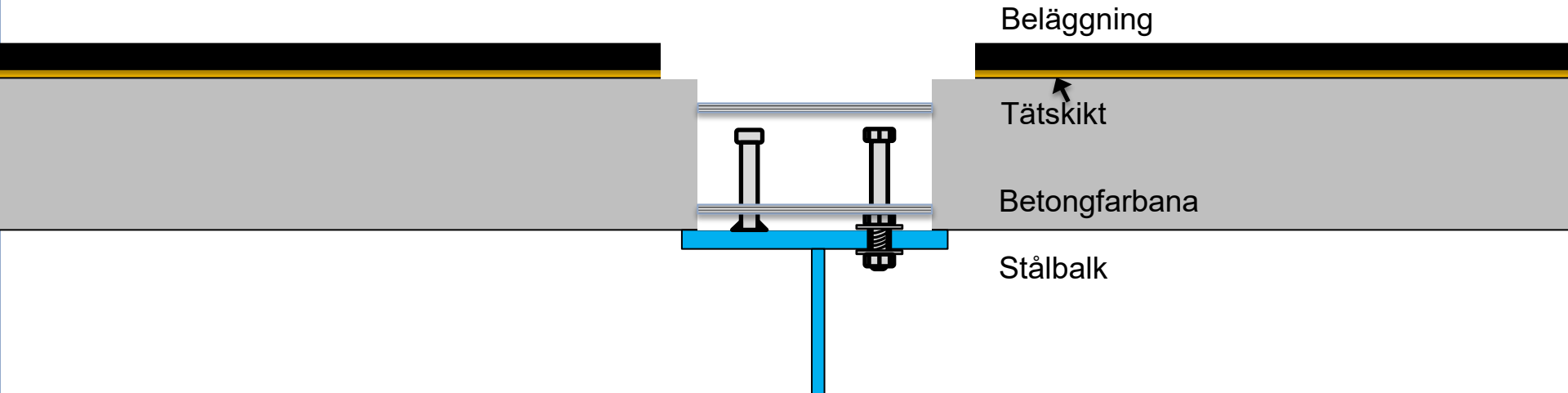
De tre viktigaste anledningarna

- 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 stålblänsen
2. In i betongen



Beläggning

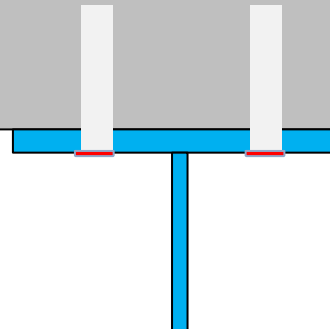
Tätskikt

Betongfarbana

Stålbalk

Installation av CSPs

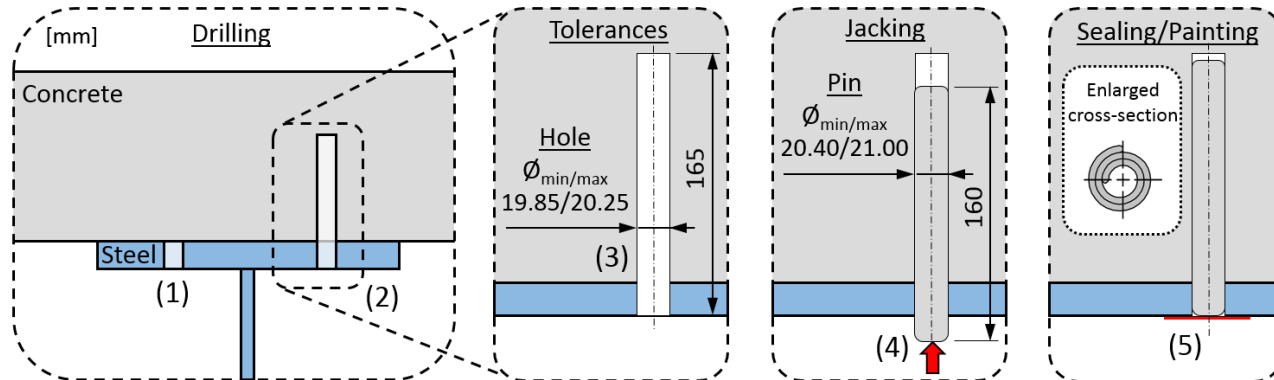
- De överstora förbindarna pressas in i hål med mindre diameter
- Hålen försluts för rotskyddets skull



Installation av CSPs

- Hela installationsprocessen kan göras underifrån brofarbanan...

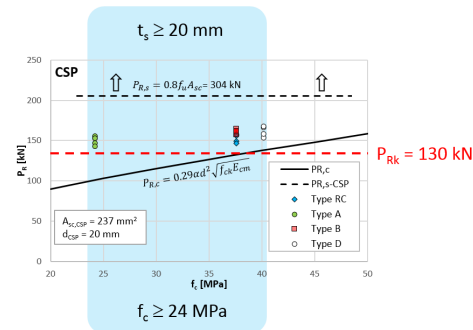
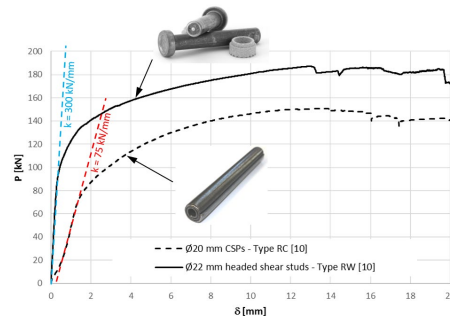
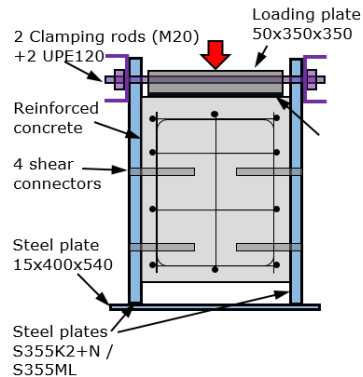
...till och med då bron fortfarande är i drift



VAD BEHÖVER VI KÄNNA TILL OM CSPs

■ Statisk lastkapacitet

Labbtester – "Push-out tester"



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

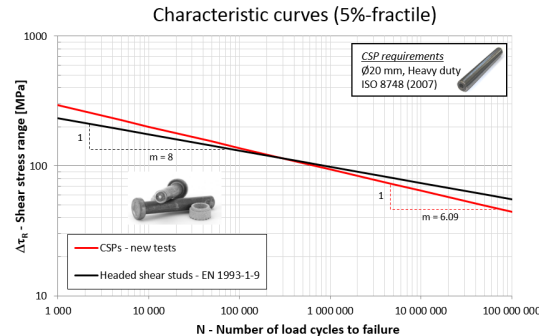
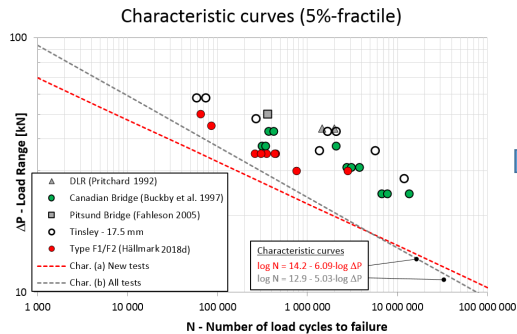
Dimensionerings-
rekommendationer



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

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



Dimensionerings-
rekommendationer

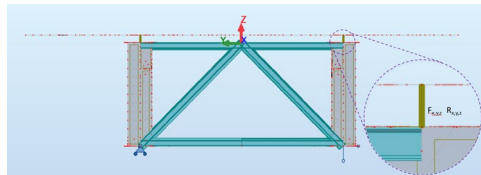
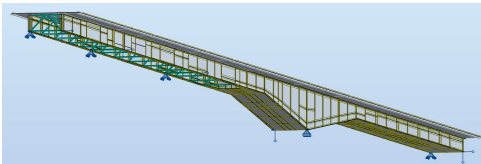
12 provkroppar
+ tester från externa källor



VAD BEHÖVER VI KÄNNA TILL OM CSPs

- Statisk lastkapacitet
- Utmattning
- Strukturellt beteende

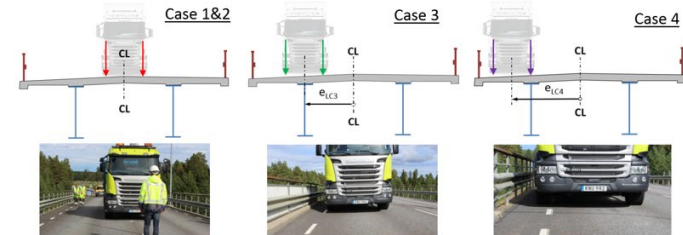
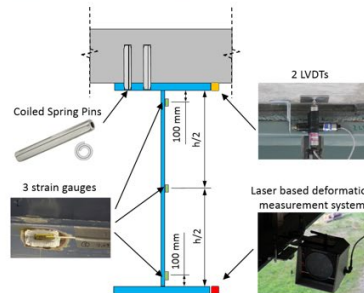
FE-analyser



Fältnätningar (Pitsundsbron) – strukturellt beteende



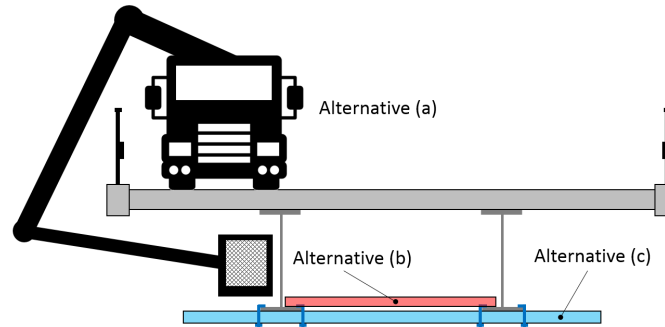
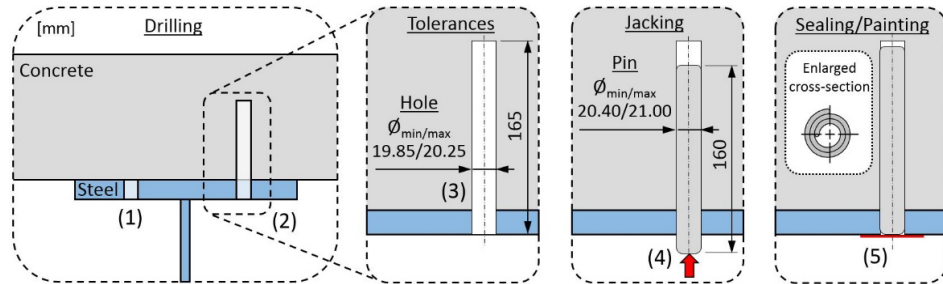
32 tonnes



VAD BEHÖVER VI KÄNNA TILL OM CSPs

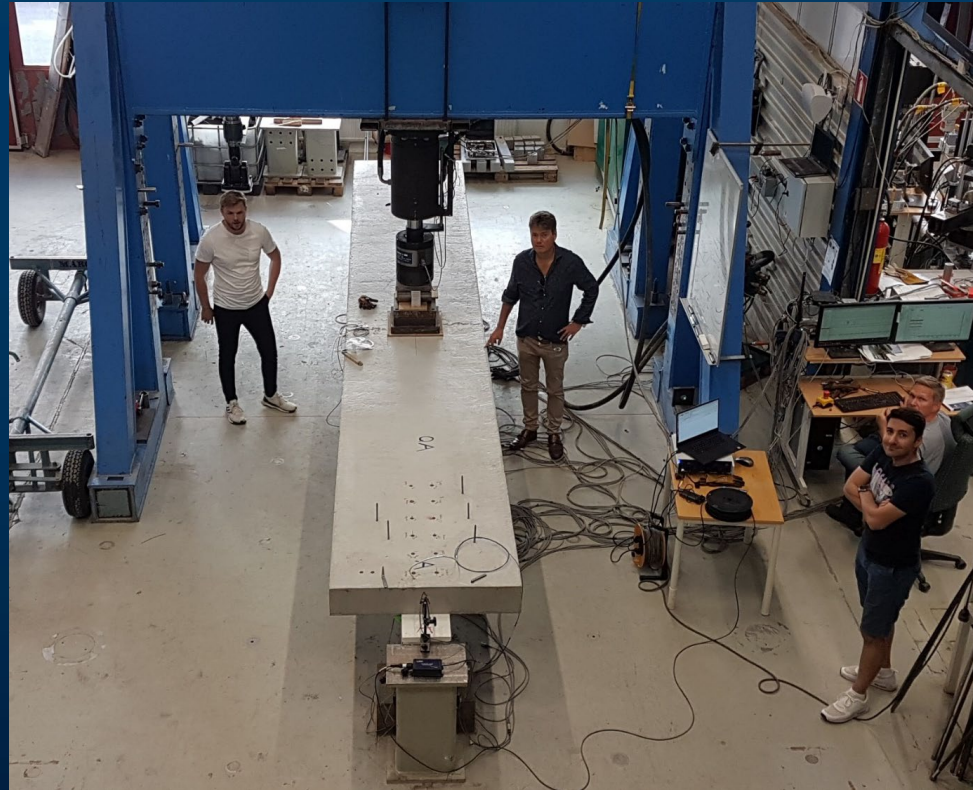
- Statisk lastkapacitet
- Utmattning
- Strukturellt beteende
- Installationsprocedur

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



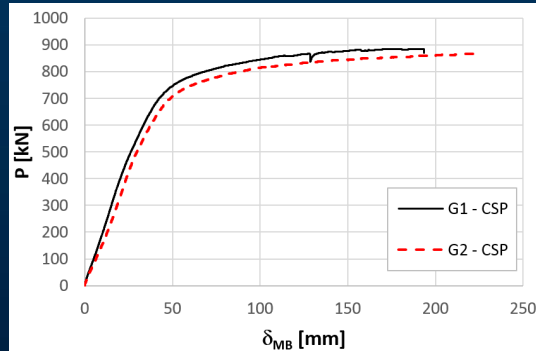
VAD BEHÖVER VI KÄNNA TILL OM CSPs

- Statisk lastkapacitet
- Utmattning
- Strukturellt beteende
- Installationsprocedur
- Balktester



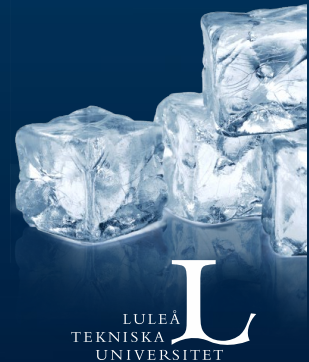
VAD BEHÖVER VI KÄNNA TILL OM CSPs

- Statisk lastkapacitet
- Utmattning
- Strukturellt beteende
- Installationsprocedur
- Balktester

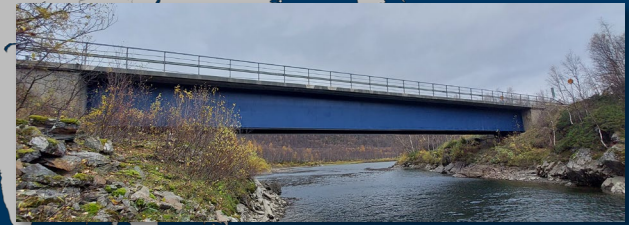


VAD BEHÖVER VI KÄNNA TILL OM CSPs

- Statisk lastkapacitet
- Utmattning
- Strukturellt beteende
- Installationsprocedur
- Balktester
- 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)

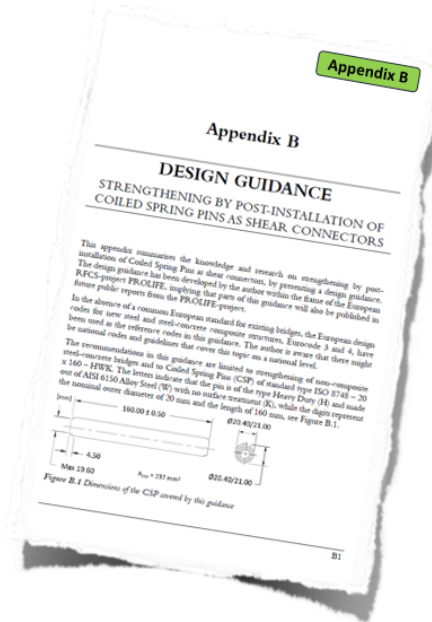
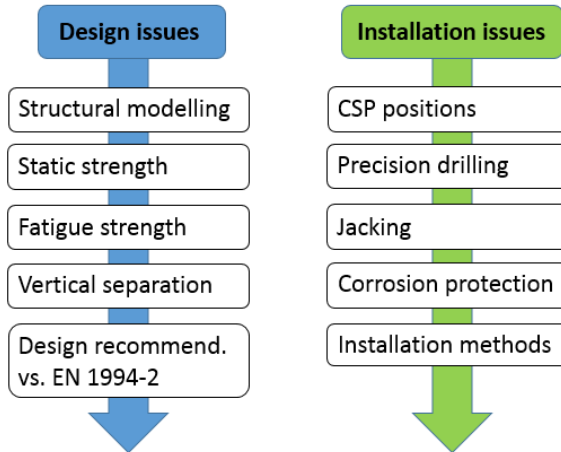
(1988) DLR – Docklands Light Railway (London)



RESULTAT OCH SLUTSATSER

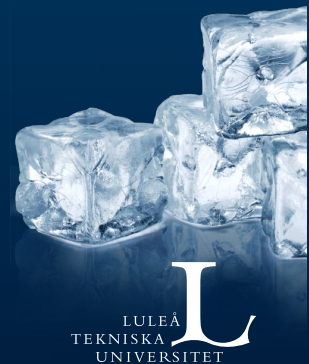
Design guidance

- summarizes the outcome of the research



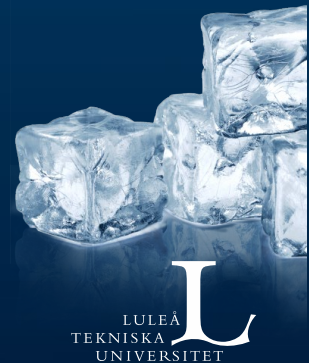
The background of the slide is a deep blue gradient. At the top, there is a horizontal band showing a close-up of an iceberg's edge with jagged, translucent ice. Below this, the rest of the slide is a solid dark blue. In the bottom right corner, there is a small cluster of several ice cubes and the Luleå University of Technology logo.

TILLÄMPNING



FÖRSTÄRKTA BROAR

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



NORSKA BROARNA



Magnus Aronsson
EFLA



Espen Bie Gundersen
Hordalandregionen
Bros, Agder fylke
Kommune



Peter Collin
Tekniska Universitetet /
Hordaland Sverige



Victor Vestman
Örebro Län Tekniska
Universitetet / Hordaland
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.

STÅLBROAR

Ettersom kysten blir tyngre hele verden rundt økes krav til bæreevnen i konstruksjoner i offentlige vegnett. I Norge er det i dag spesielle krav for en oppgradering av mange bruer for å tillate passasje av 40 tons tunnstørrelsestransport som standard, og opp til 100 tons spesialtransport. Flere av bruer som må forsterkes er stål-bjelkebruer som bygges ut sammen med stål-bjelkebruer og overveipende betongdekk. På bruer uten samvirke står belastingen på stål-bjelkene og dekket bare last fra trafikk til deise, uten å bidra til bærevirking i beuppenet, men på bruer med samvirke finnes det en mekanisk skjærfesthet mellom stål- og betongelementene. En slik forbindelse muliggjør en mer effektiv utnyttelse av konstruksjonen uten å kreve mye bruk av nye konstruksjonsmaterialer.

Eksempler på bruer som er bygget sammen er Sagstø og Fjellbrua i Agder fylke. Disse er rundt 30 meter lange, omkring 30 år gamle, i ett spenn. Bruene har dannet en flaskehals for tunnstørrelsestransport i Agder. De har, likhet med mange andre bruer, bygd i den perioden, ikke beregnet som tilfredsstillende på egen kran.

En ny metode

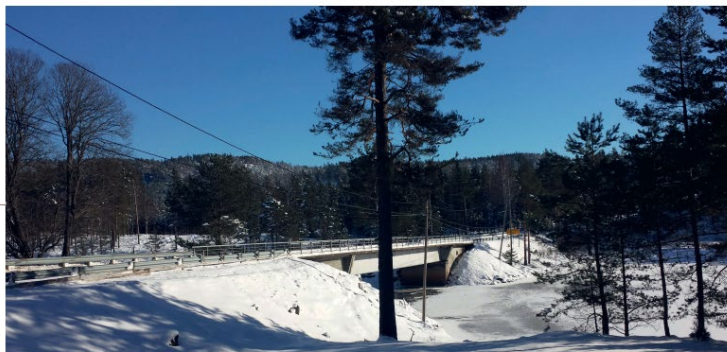
Etter vurdering av mulige forsterkningsløsninger og dialog med bruer i Agder fylkeskommune og Statens vegvesen, vedtok de å gå til valg i forsterkede bruer med etablering av samvirke mellom betongplaten og stål-bjelken.



Figur 1. Beliggenhet av Sagstø og Fjellbrua.

Etablering av samvirke er brukt for forsterkning på noen bruer i Norge tidligere, men aldri med metoden som benyttes for Sagstø og Fjell. Forbedringen mellom betong og stål skjer ved at man installerer coiled pins (spiralformet stål) fra bruen under stål. Pinene pokes inn, det kreves ikke sveiting av stål eller medling av betong.

Denne prosessen innebærer å bære, ikke minst med hjelp til trafikkstopper i anleggspersonell. Alternativen ville være å installere opphengte vegger og fylling av betong til nytt av stål-bjelkenes overflate, noe som krever omfattende utgraving av bruen. I tillegg har det vist seg at den nye metoden er kostnads effektiv, noe som gir gode resultater, samt at den anses som miljøvennlig da det ikke er behov for bruk av prospekt for bruk av betong. Resultatet fra bruen, har ikke metoden vært brukt i nye forsterkning med nye stål-bjelker på bygging.



Figur 2. En coiled pin.

Coiled pins for bruforsterkning

Luleå Tekniska Universitet har en bredtliggende forskningssats på etablering av samvirke med coiled pins, spesielt i forbindelse med Posten i Sverige, hvor Rambøll har prospekt for bruk av betong. Resultatet fra bruen, har ikke metoden vært brukt i nye forsterkning med nye stål-bjelker på bygging.



Figur 3. Fjellbrua.

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

Coiled pins er laget av stålplater som er drept 2,25 ganger rundt pinens sentrale aksel. Se figur 2. For installasjonen er pinen bredder enn hullet som den skal installeres til, og det oppstår en tett forbindelse mellom stål og betong med en radell forsterket når den installeres. Høy trykktet i betong og installasjon er typisk.

Stor kapasitetutnyttelse

Sagstø og Fjell er eksempler på bruer som ble bygget i Norge i en tid da designbelastninger var betydelig lavere enn dagens krav. Både bruer har 2 kjørerett og 2 reiseplattformer av varierende bredder. Tabell 1 oppsummerer bruer og prosjektering av forsterkning. Figur 3 viser Fjellbrua for forsterkning.

Tabell 1. Sagstø og Fjellbrua – Oversikt

	Sagstø	Fjell
Bygget	1970	1966
Trafikk (kjørerett/rett)	2300	600
Spennlengde	27 m	25,5 m
Høyde på stål-bjelke	1,25 m	1,72 m
Stål-bjelke, vridnings og trykk	350 MPa	350 MPa
Dimensjonerende lastpåvirkning for forsterkning	100 tons spesialtransport	100 tons spesialtransport
Dimensjonerende bygningsmoment, midtpunkt	$M_{100,125}$	$M_{100,125}$
Kapasitet for forsterkning	0,7 $M_{100,125}$	0,6 $M_{100,125}$
Kapasitet for forsterkning med kun etablering av samvirke	0,9 $M_{100,125}$	0,8 $M_{100,125}$
Kapasitet etter forsterkning med etablering av samvirke og ny stålplade på bunntavle	1,1 $M_{100,125}$	1,0 $M_{100,125}$

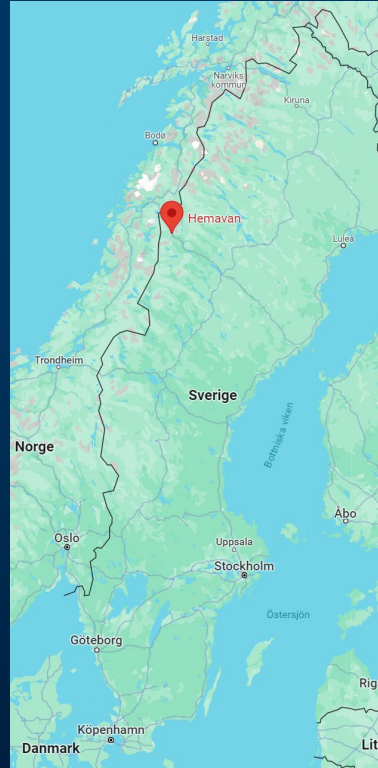


PORTBRON



PORTBRON

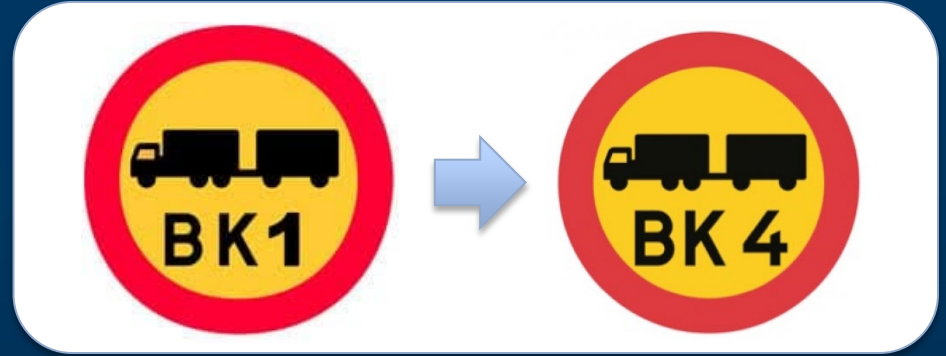
- Väg E12 vid Hemavan
- Byggår 1954
- Trafikverket
- Stålbrot med samverkande betongfarbana
- Spännvidd 45 m
- Fri brobredd 6 m



PORTBRON

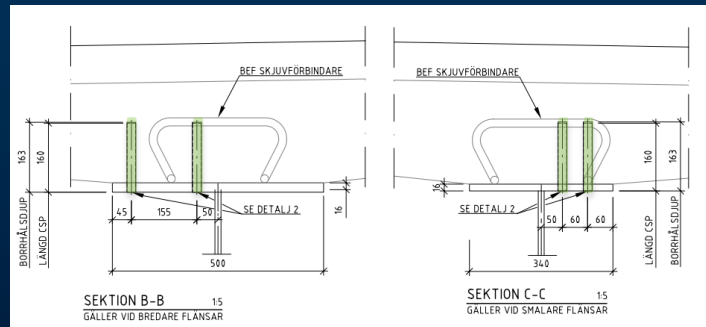
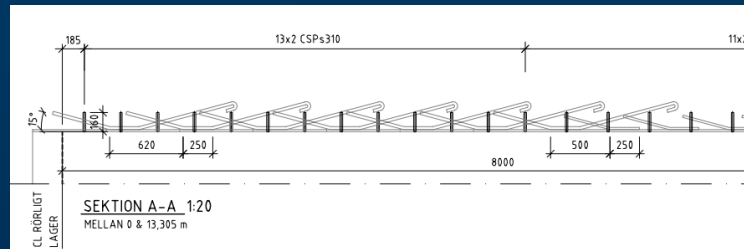
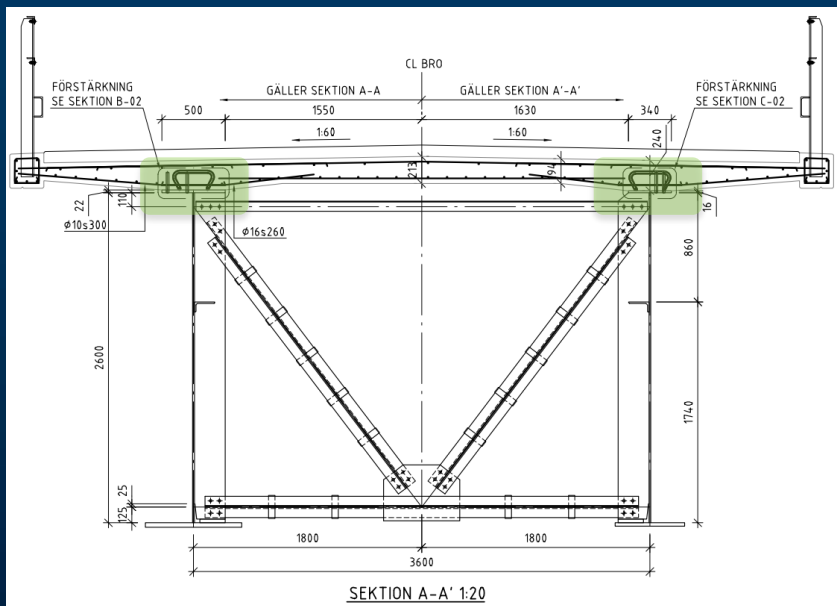
VARFÖR FÖRSTÄRKNING?

- Ökad trafiklast
 - Tidigare: BK1 (64 ton)
 - Nu: BK4 (74 ton)
- Kapacitet skjuvförbindare ej tillräcklig för BK4
- Bro i bra skick i övrigt



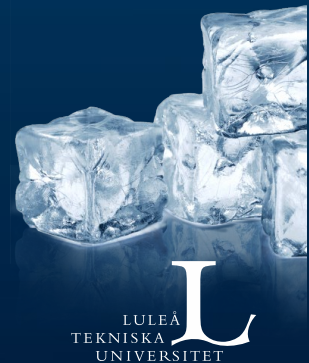
A wide, horizontal, abstract image with a blue and white color palette. The image features jagged, crystalline shapes and a textured, painterly background. The composition is dominated by sharp, angular forms that resemble ice or broken glass, set against a backdrop of soft, blended blue and white tones. The overall effect is one of cold, ethereal beauty, with a strong sense of depth and texture.

- Förstärkt med ny skjuvförbindning $\Rightarrow$ BK4



PORTBRON - UTFÖRANDE

- Testborrning
- Ställning
- Identifiering av tvärgående armeringsjärn
- Borrning och mätning
- Inpressning av bultar
- Målning fogning
- Summering av metod



PORTBRON - UTFÖRANDE

TESTBORRNING / VERIFIERING AV BORRMETOD



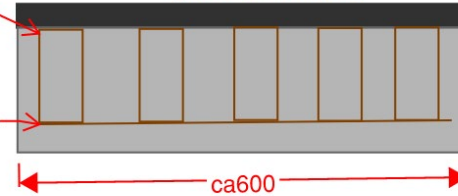
Täckande betong 45mm

LÅNGSIDA

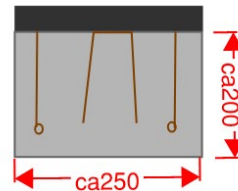
Svetsade byglar $\phi 8$

Tplåt=15mm S355

Längsgående järn $2 \times \phi 8$

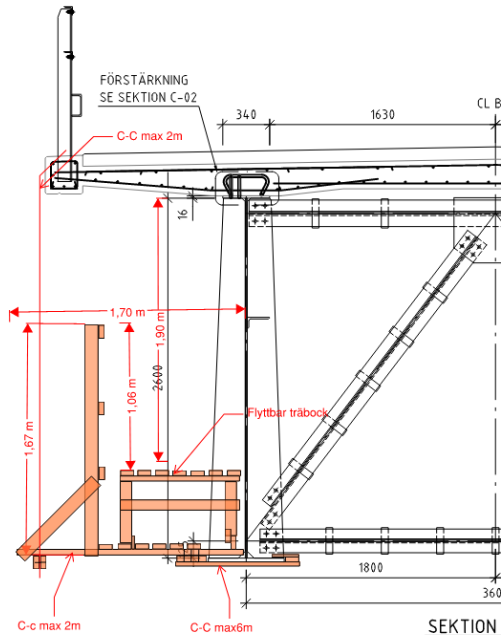


KORTSIDA



PORTBRON - UTFÖRANDE

STÄLLNING



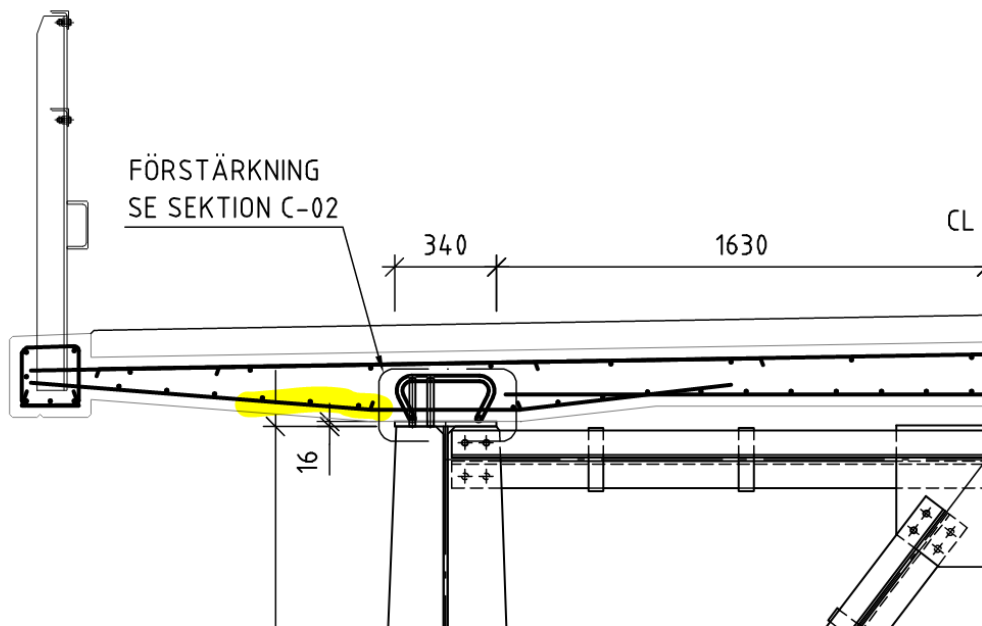
PORTBRON - UTFÖRANDE

LUNCH



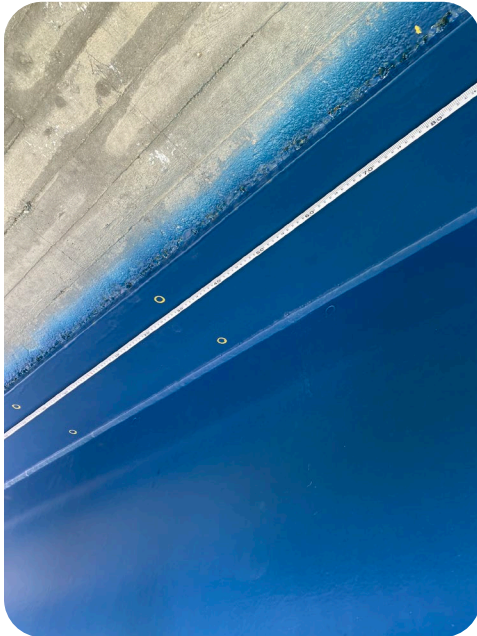
PORTBRON - UTFÖRANDE

IDENTIFIERING AV ARMERINGSJÄRN



PORTBRON - UTFÖRANDE

IDENTIFIERING AV ARMERINGSJÄRN

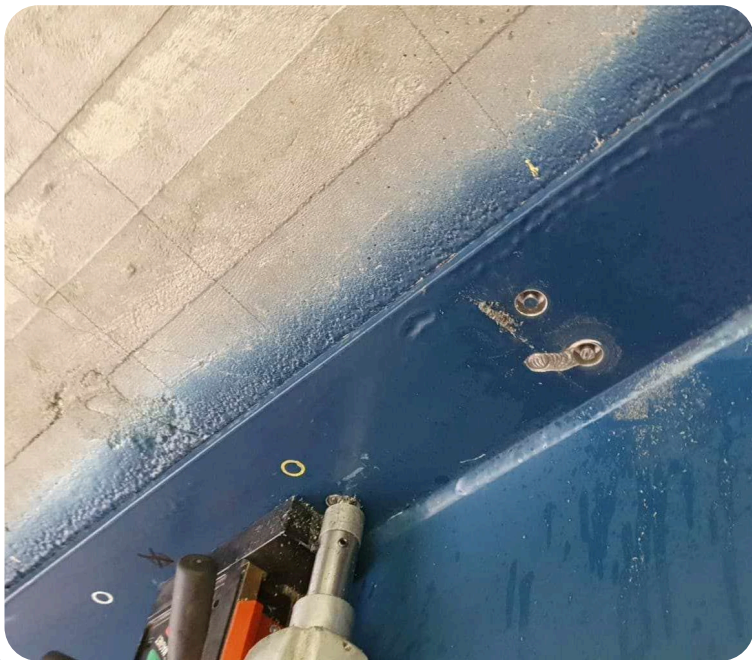


Märkeda sydväst: Bakantavstånd påt	Livavstuv	0	0	Armering UK läge
1	185	160	5310	
2	435	470		
3	805	780	820	Ev konflikt
4	1115	1030	1082	
5	1425	1400		
6	1735	1710	1732	Konflikt
7	2045	2020		
8	2355	2330	2370	Konflikt
9	2665	2640	2678	Konflikt
10	2975	2950	2945	
11	3285	3260	3260	Konflikt
12	3595	3570	3580	Konflikt
13	3905	3880	3800	Konflikt
14	4215	4230	5350	4205
15	4505	4580		
16	4955	4930	4975	Konflikt format
17	5305	5280		
18	5655	5630		
19	6005	5980		
20	6355	6330		
21	6705	6680		
22	7055	7030	7050	Konflikt
23	7405	7380		
24	7755	7730		
25	8105	8210	5480	8240
26	8715	8690		
27	9155	9170		
28	9675	9650		
29	10155	10130		
30	10635	10610	10680	Konflikt
31	11185	11160	5550	11170
32	11735	11710		
33	12285	12260		
34	12835	12810		
35	13385	13360	13395	Konflikt
36	13935	13910	13310, 13	Konflikt format
37	14485	14460		
38	15035	15010		Slutsvev
39	15585	15560	15565	Konflikt
40	16135	16110	16090	
41	16685	16660	16680	Konflikt
42	17235	17210	17282	
43	17785	17760		
44	18335	18310		
45	18885	18860	18920	
46	19435	19410	19415	Konflikt, se även spricka i bvg
47	19985	19960	19988	Konflikt
48	20535	20510	20510	Konflikt
49	21085	21060	21090	Konflikt
50	21635	21610		



PORTBRON - UTFÖRANDE

BORRNING



PORTBRON - UTFÖRANDE

BORRNING – LUTANDE FLÄNS



PORTBRON - UTFÖRANDE

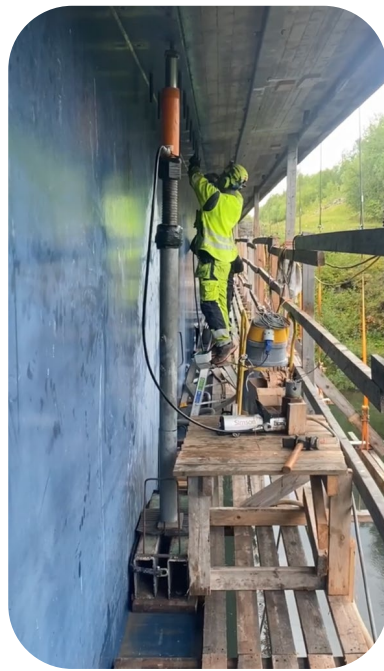
MÄTNING STÅL / BETONG

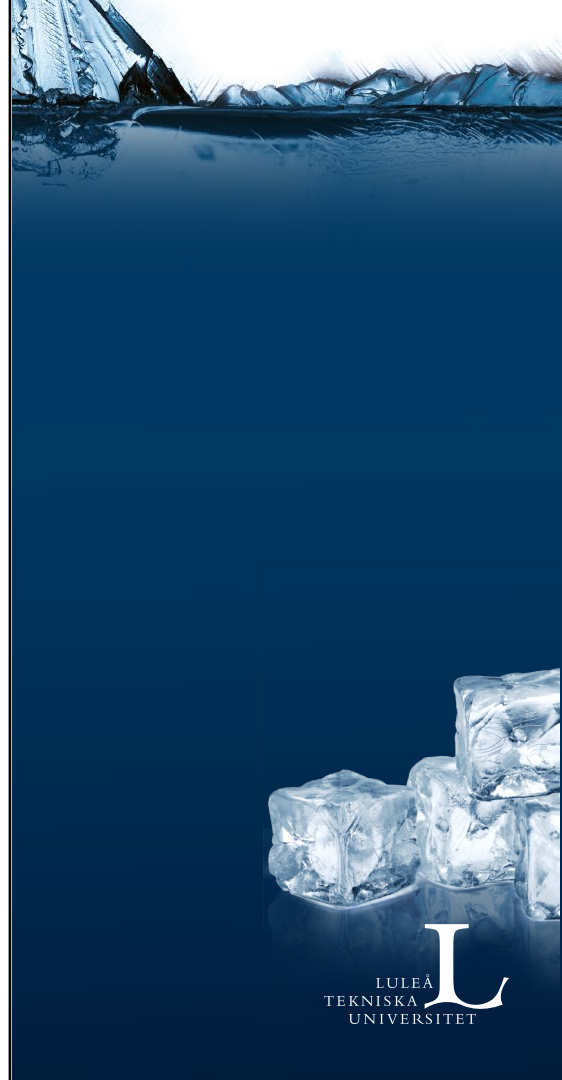


BEE.221				GBD.1	
Hälrad	Linje	Borrdjup min 163mm djupt	Diameter stål 19,75-20,25mm	Diameter bgt 19,75-20,25mm	Bultinstallation 0-2mm utstick från fläns
1	A	165-170	20,011	19,907	0,104 <2
	B	165-170	20,064	20,073	0,009 <2
2	A	165-170	20,035	20,011	0,024 <2
	B	165-170	20,044	20,040	0,004 <2
3	A	165-170	20,027	20,000	0,027 <2
	B	165-170	19,993	19,967	0,026 <2
4	A	165-170	20,027	20,072	0,045 <2
	B	165-170	20,050	20,009	0,041 <2
5	A	165-170	19,939	19,968	0,029 <2
	B	165-170	20,011	20,023	0,012 <2
6	A	165-170	20,006	20,018	0,012 <2
	B	165-170	20,016	19,993	0,023 <2
7	A	165-170	20,014	20,038	0,024 <2
	B	165-170	20,011	20,008	0,003 <2
8	A	165-170	19,987	19,999	0,012 <2
	B	165-170	20,032	20,042	0,010 <2
9	A	165-170	20,004	20,005	0,001 <2
	B	165-170	20,007	19,991	0,016 <2
10	A	165-170	20,036	19,994	0,042 <2
	B	165-170	20,016	19,953	0,063 <2
11	A	165-170	20,017	19,993	0,024 <2
	B	165-170	20,046	19,998	0,048 <2
12	A	165-170	20,040	20,008	0,032 <2
	B	165-170	20,002	20,028	0,026 <2
13	A	165-170	20,022	19,962	0,060 <2
	B	165-170	19,999	20,013	0,014 <2

PORTBRON - UTFÖRANDE

INPRESSNING AV BULTAR





LULEÅ
TEKNISKA
UNIVERSITET

PORTBRON - UTFÖRANDE

MÅLNING / FOGNING



PORTBRON - UTFÖRANDE

MÅLNING – IDENTIFIERING AV KULÖR??



Lathund över sättning VV färglikare till NCS

VV-likare

NCS

Nr 1 vit	S 0502-Y	GL
Nr 2 vitgrå täckfärg / mellanfärg	S	GL
Nr 3 ljusgrå mellanf. / täckfärg	S 5010-B10G	GL

Kuriosum

Första täckfärgen, vid nybyggnad, var nr 2 vitgrå. Vid ommålning användes vitgrå som mellanfärg och ljusgrå som täck. Detta för att se vilka broar som ommålats. (Innan BaTMan) Även en utörandeteknisk förde.

Ljusgrå	5005-B20G
„"	5020-B10G
Vitgrå	4010-B10G
Lillån Stråkan	6020-G10Y
Böle	4020-G10Y
Juktrån	3020-B10G
Svarthyn	„"
Björksele	„"
Nedre Åbyn	„"
Rappasubdet	3010-B
Portbron	7020-R90B
Råstrand	6020-R90B
Lögde älv E4	„"
Stamsjön väg 935	„"
Byske älv väg 902 Åbyn	„"
Joesjö	„"
Rokån	5020-R90B
Botsmark	„"
Åby älv Åbyn	4020-R90B
Sjaunialåbron	4040-(Y90)R
Pärälven	2502-Y
Pajala	1002-Y



PORTBRON



Startsida Aktuell Arbetsätt Stöd och verktyg Min anställning Om Trafikverket

Startsida / Aktuellt / Nyhetsarkiv / Höjdpunkter från sommarens Investering

25 augusti 2022 – Investering

Höjdpunkter från sommarens Investering

I månadens uppstickare presenterar vi några höjdpunkter från den gångna sommaren. Läs om broförstärkning i Hemavan, den tillfälliga E4:an i Stockholm, enfilig 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 Umeälvs - 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 stål balken och en bit in i betongplattan, varpå man pressar in spiralbultarna, vilket ökar samverkan mellan stål balkar 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 stål balken och en bit in i betongplattan.



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