INNOVATIV TVÄRKRAFTSFÖRSTÄRKNING AV TUNNELBANEBRO VID SLUSSEN

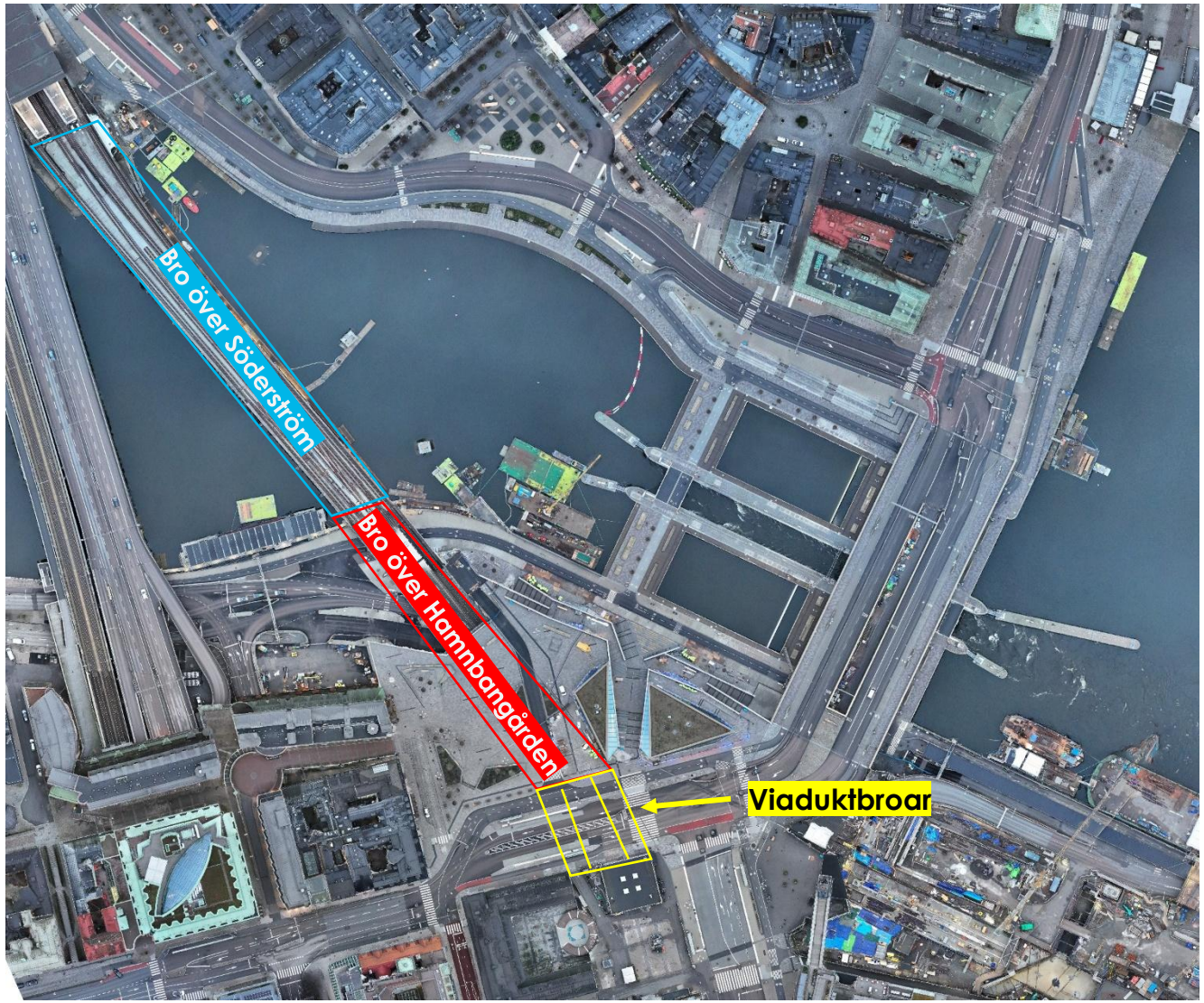




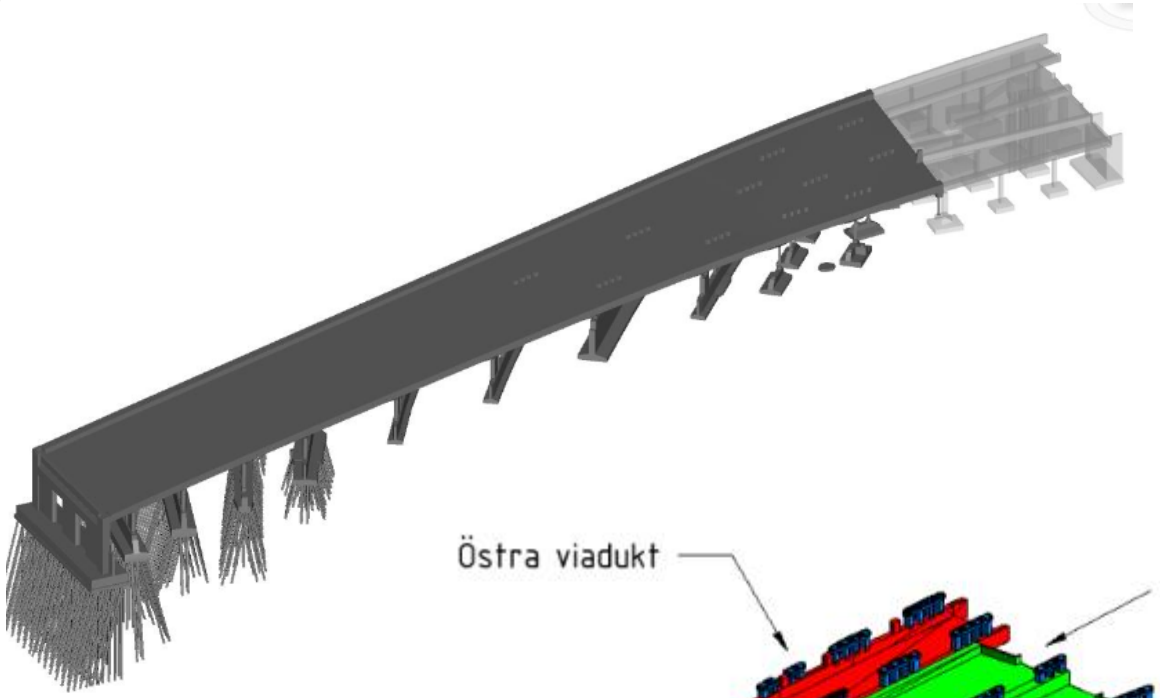
Markus Steiner, ELU

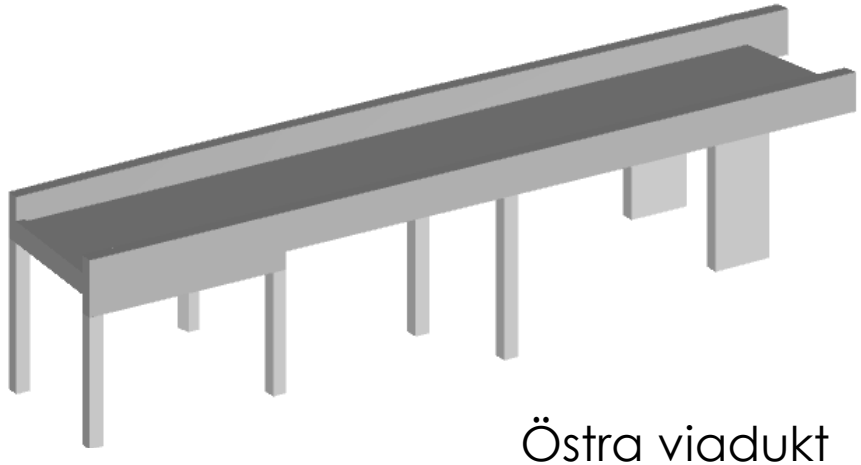
Rickard Bergeryd, HILTI

INTRODUKTION TILL SLUSSEN

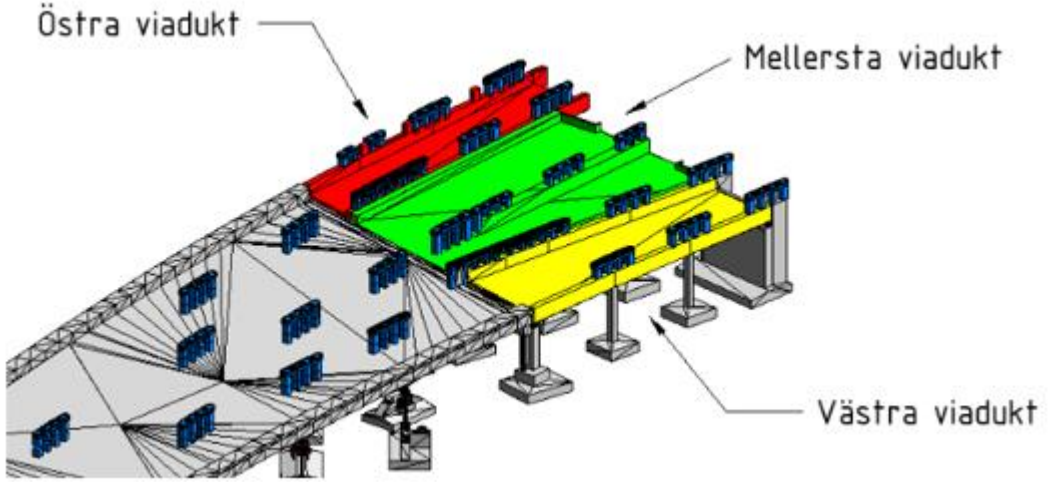


TUNNELBANEBRON, BRO ÖVER HAMNGÅRDEN, VIADUKTER

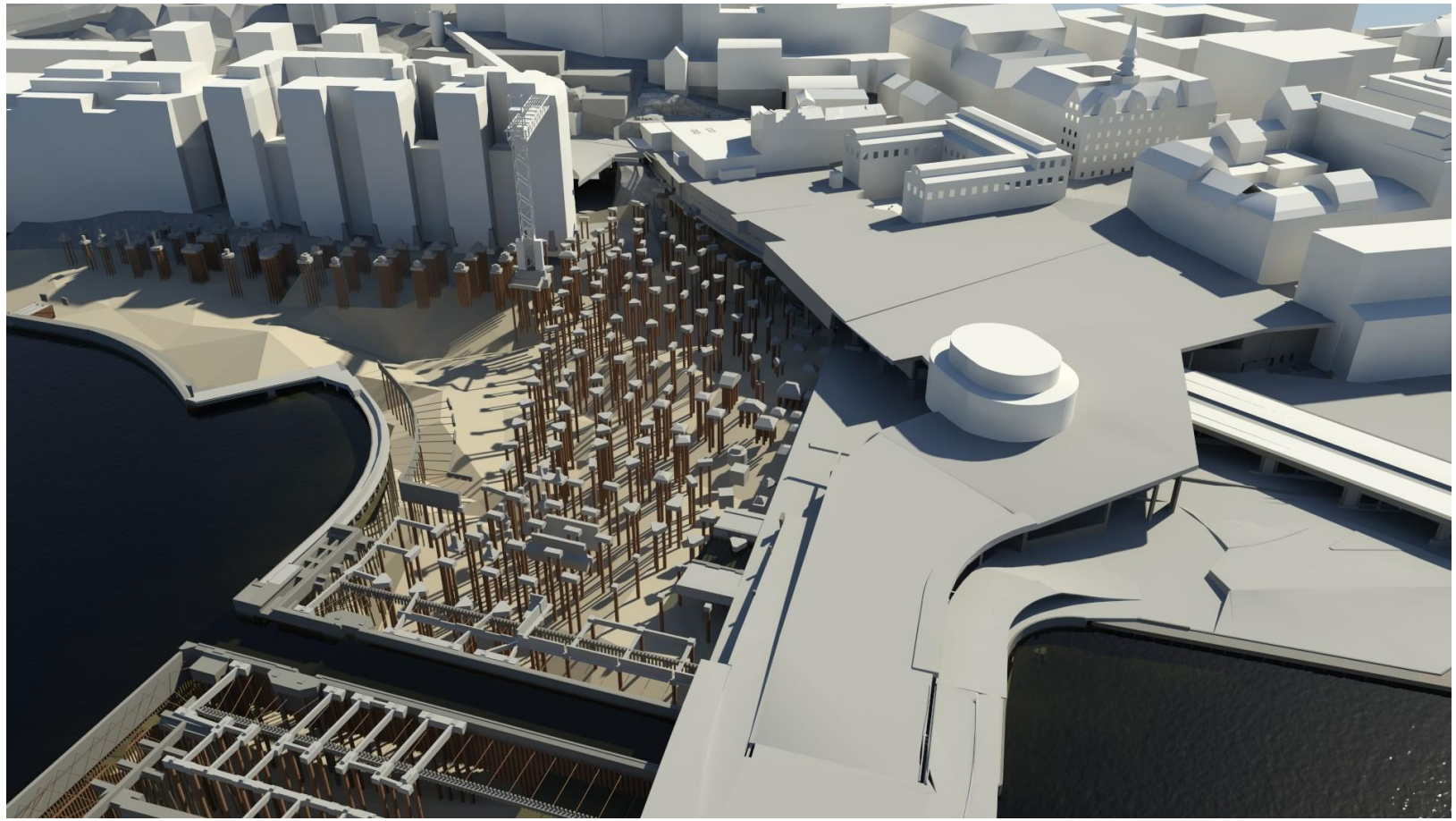




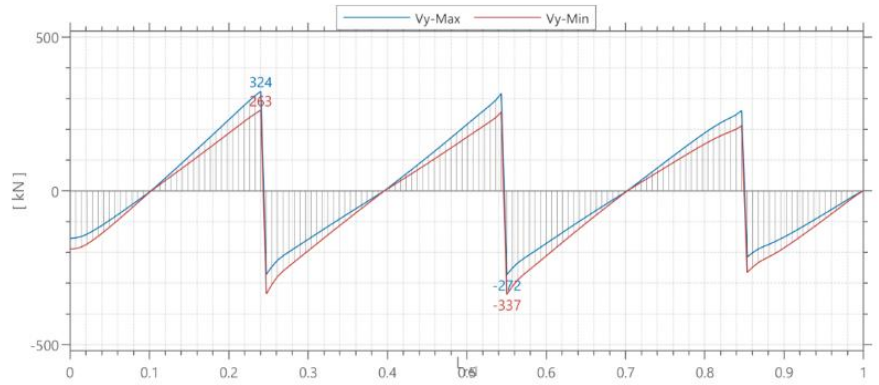
Östra viadukt
Balkbro i 3 spann



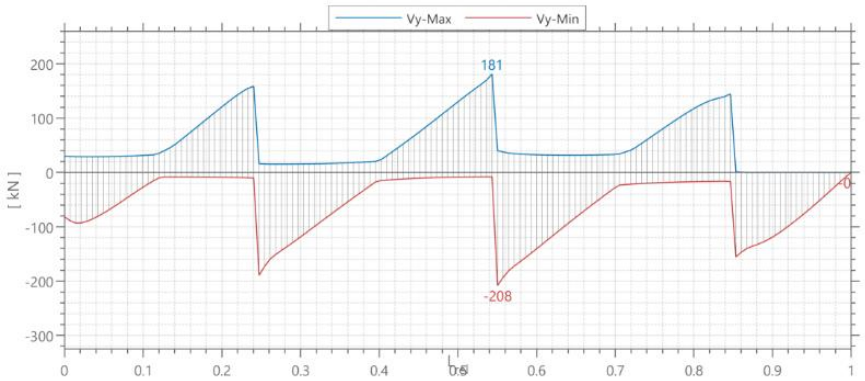
INTRODUKTION TILL BRISTANDE TVÄRKRAFTSKAPACITET



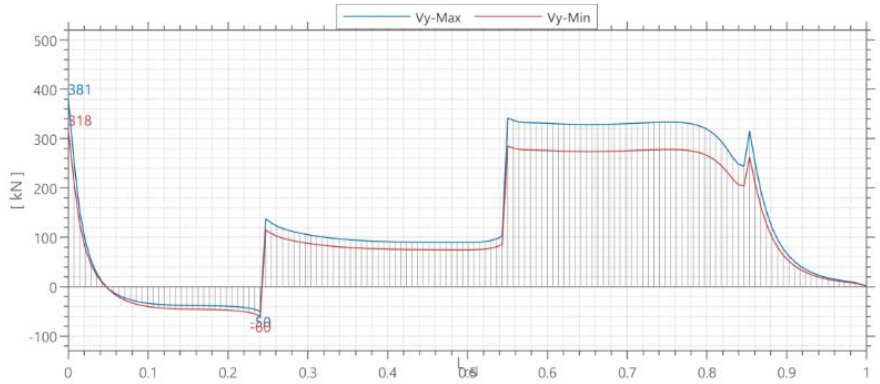
BRISTANDE TVÄRKRAFTSKAPACITET



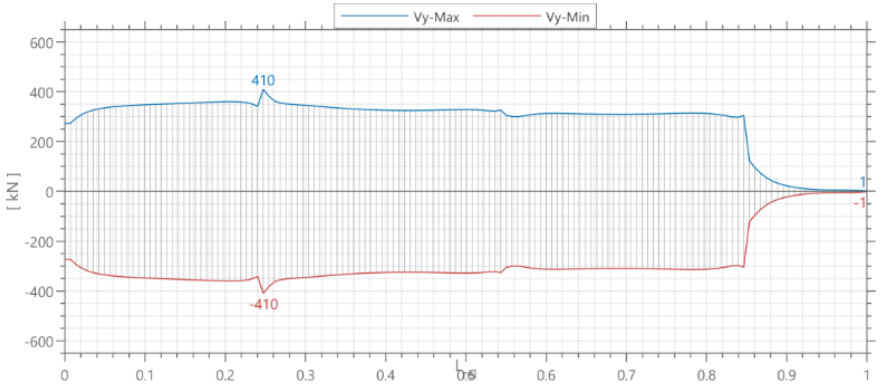
Egenvikt



Trafiklast

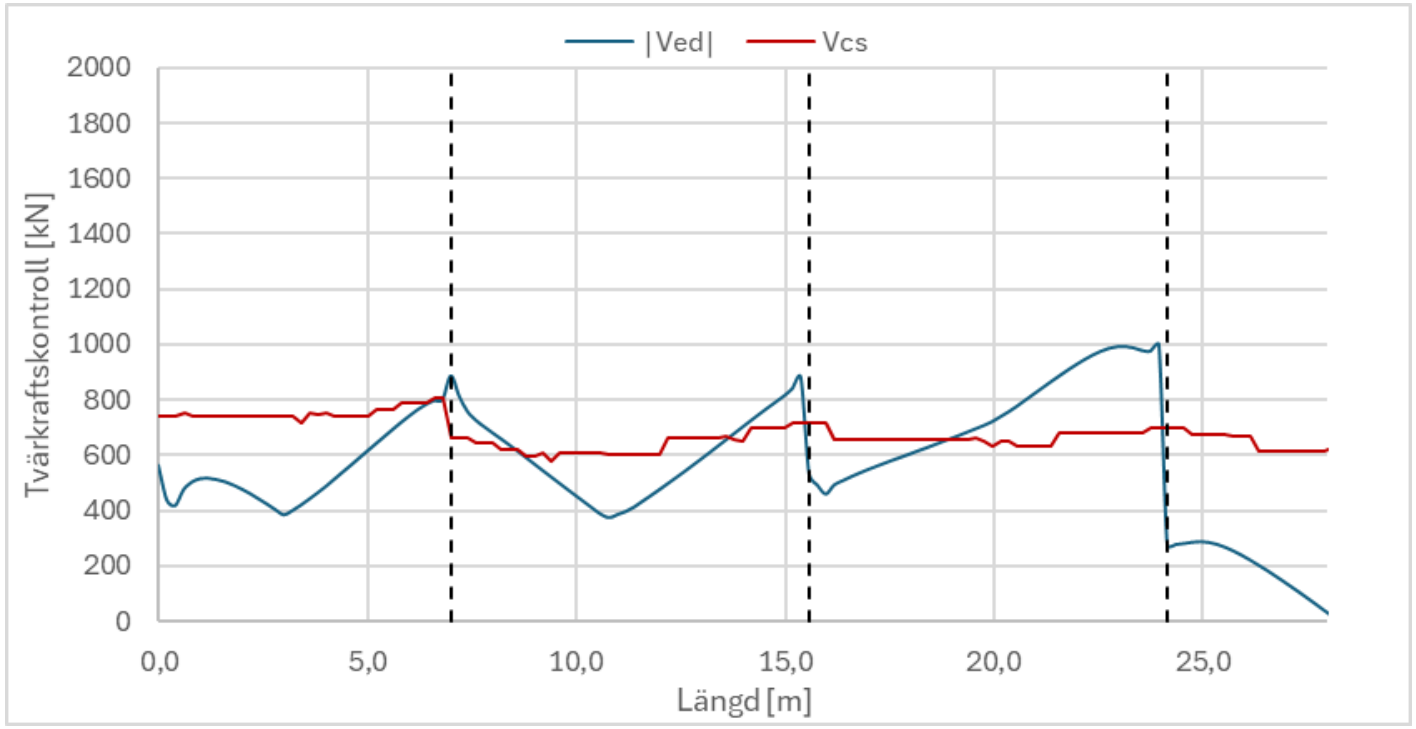


Uppmätta sättningar



Stödsättning

BRISTANDE TVÄRKRAFTSKAPACITET



Tvärkraftskontroll

PROCESSEN ATT FINNA RÄTT METOD

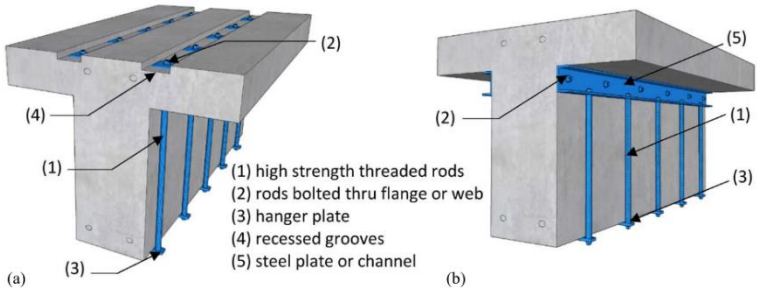


Fig. 2. T-beam with (a) flange-mounted; and (b) web-mounted external steel tendons.

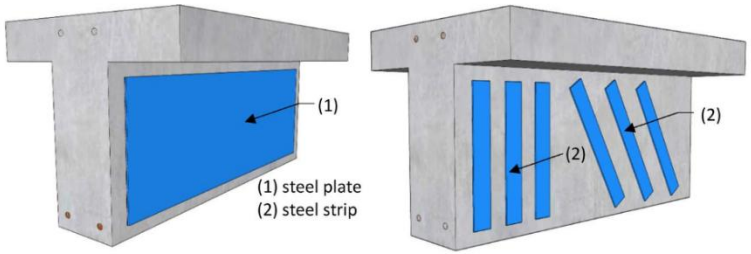


Fig. 3. Externally bonded (EB) steel plates and strips.

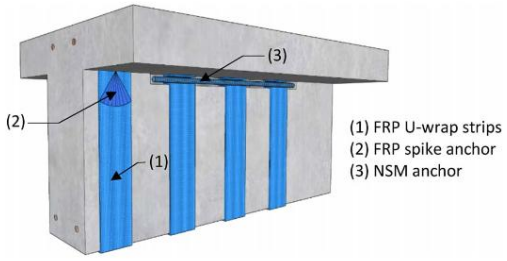


Fig. 4. Externally bonded (EB) FRP method with various anchorage options.

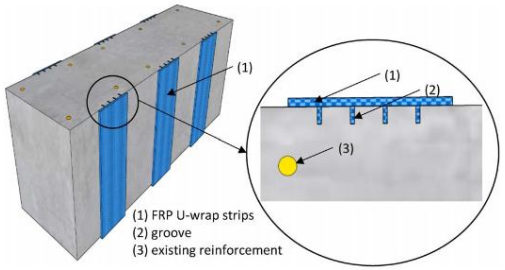


Fig. 5. Externally bonded reinforcement on grooves (EBROG).

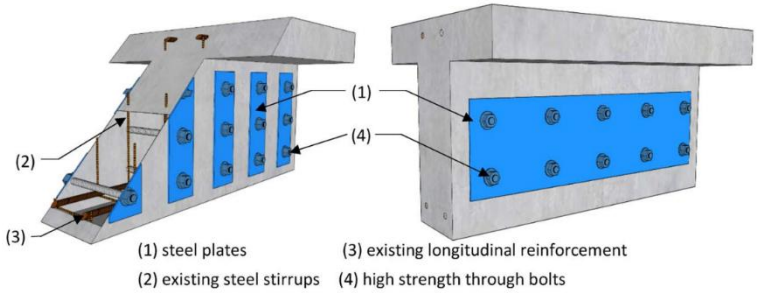


Fig. 6. Externally bolted steel-plating (BSP) method.

Fig. 7. Near-surface mounted (NSM) FRP method.

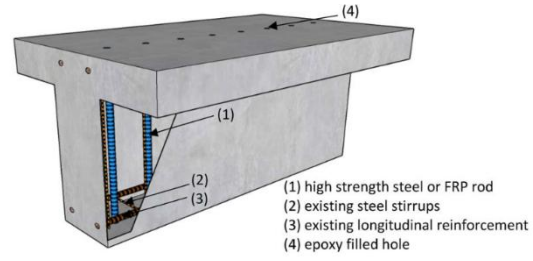


Fig. 8. Embedded through-section (ETS) method.

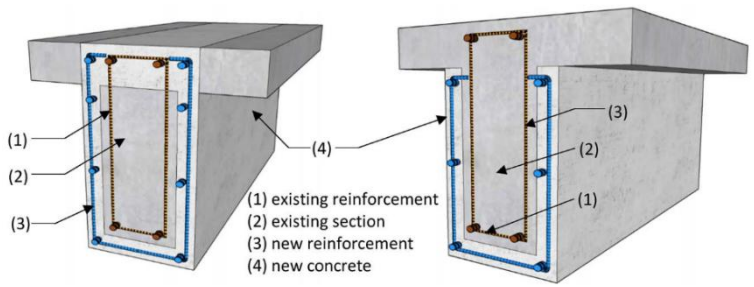


Fig. 9. Section enlargement method.

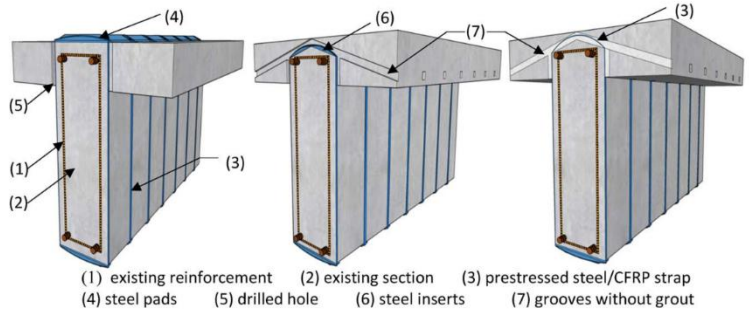
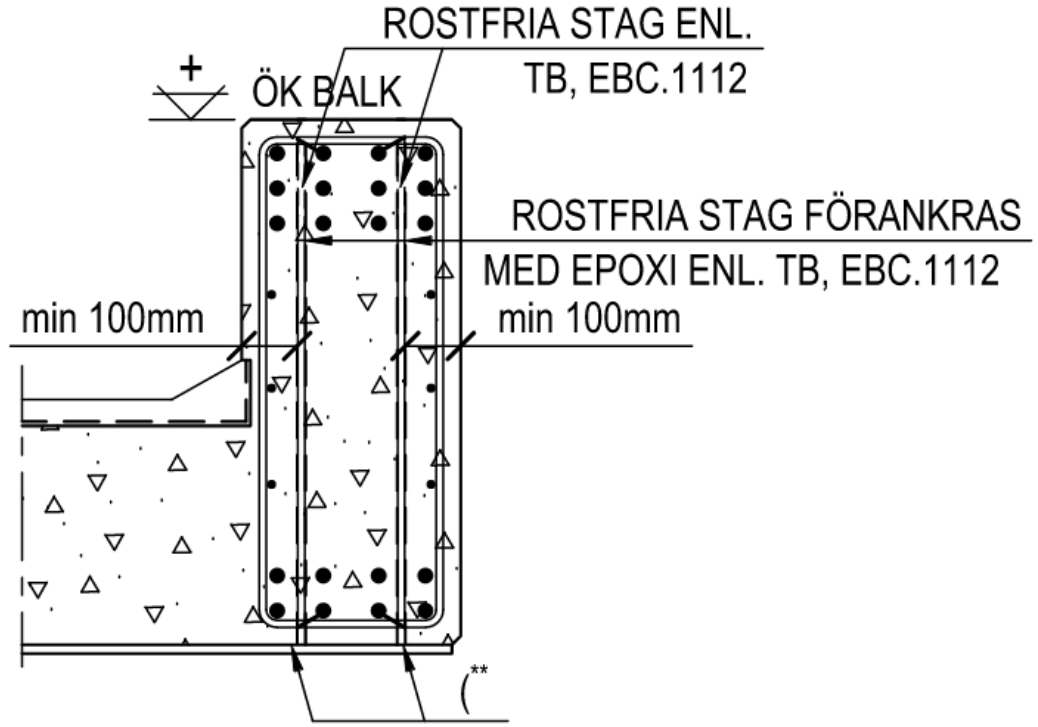


Fig. 10. External prestressed steel and nonlaminated CFRP straps.

PROCESSEN ATT FINNA RÄTT METOD

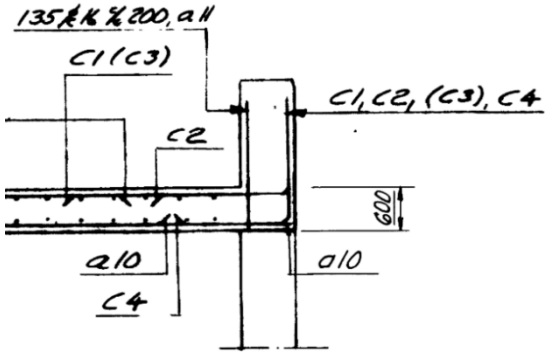


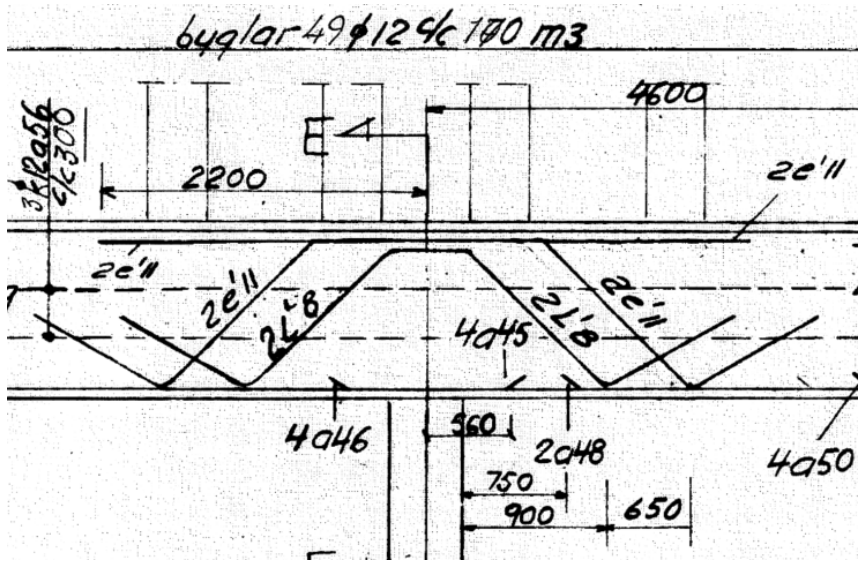
Vald metod!

PRAKTISKA UTMANINGAR



217 borrhål



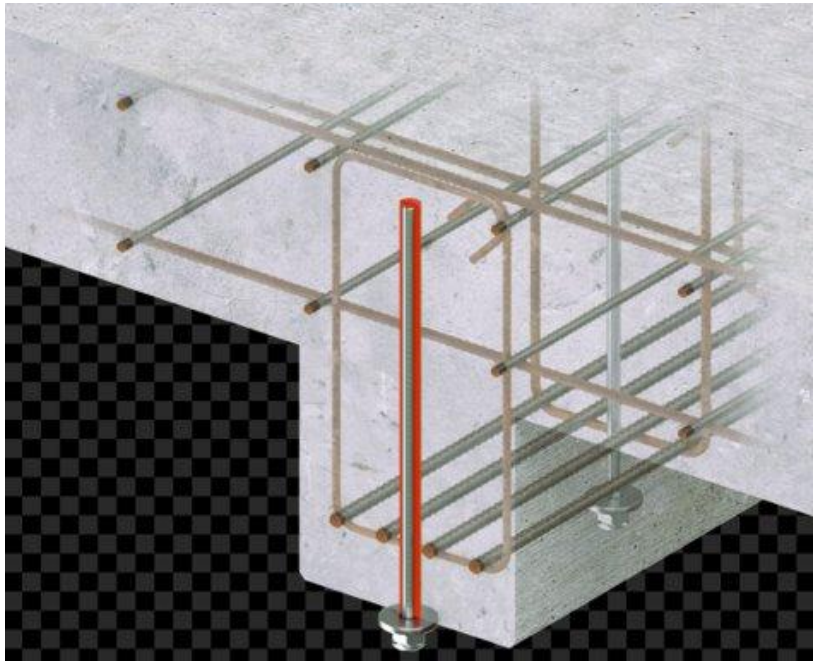




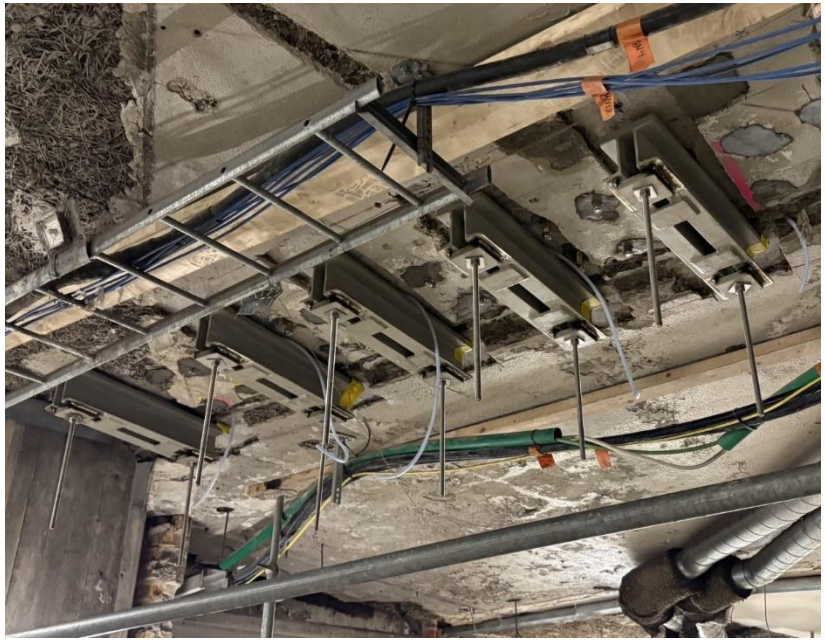
EVOLUTIONEN MOT HILTI HIT-SHEAR

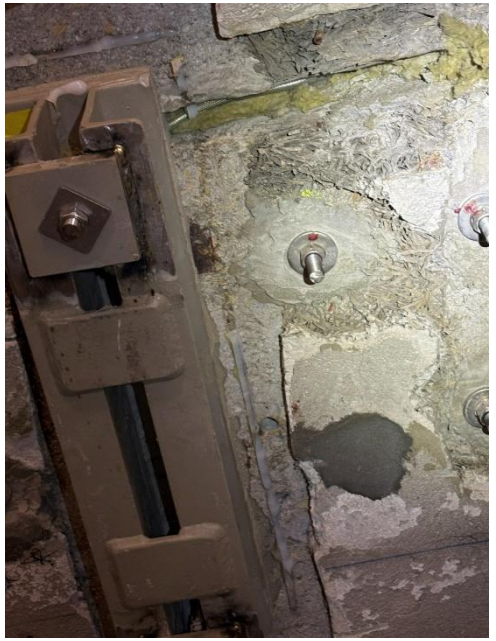


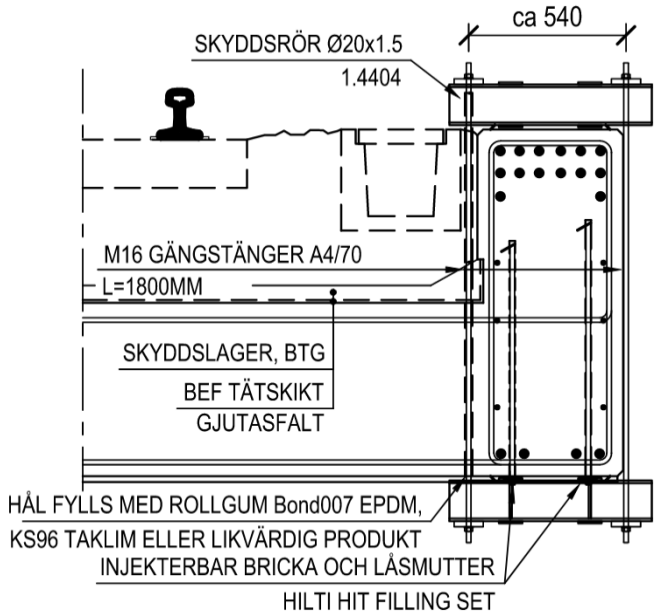
Förankring av stången i betongytan
→ 1 förankringslängd



KOMBINATION AV METODER





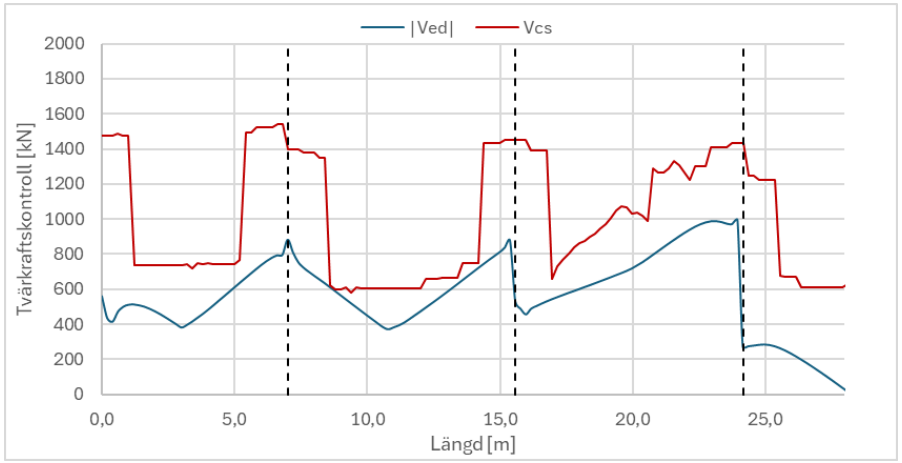


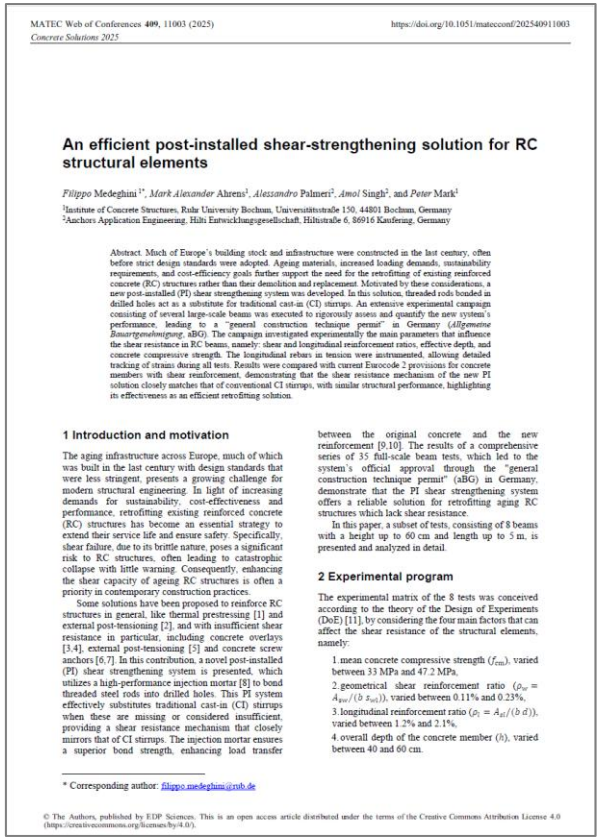
Kunde vi ha gjort något annorlunda?

BEVIS PÅ ATT HILTI HIT-SHEAR FUNGERAR

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB





MATEC Web of Conferences **409**, 11003 (2025) https://doi.org/10.1051/matecconf/202540911003
Concrete Solutions 2025

An efficient post-installed shear-strengthening solution for RC structural elements

Filippo Medeghini[1*], *Mark Alexander* Ahrens[1], *Alessandro* Palmeri[2], *Amol* Singh[2], and *Peter* Mark[1]

[1]Institute of Concrete Structures, Ruhr University Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum, Germany
[2]Anchors Application Engineering, Hilti Entwicklungsgesellschaft, Hiltistraße 6, 86916 Kaufering, Germany

Abstract. Much of Europe's building stock and infrastructure were constructed in the last century, often before strict design standards were adopted. Ageing materials, increased loading demands, sustainability requirements, and cost-efficiency goals further support the need for the retrofitting of existing reinforced concrete (RC) structures rather than their demolition and replacement. Motivated by these considerations, a new post-installed (PI) shear strengthening system was developed. In this solution, threaded rods bonded in drilled holes act as a substitute for traditional cast-in (CI) stirrups. An extensive experimental campaign consisting of several large-scale beams was executed to rigorously assess and quantify the new system's performance, leading to a "general construction technique permit" in Germany (*Allgemeine Bauartgenehmigung*, aBG). The campaign investigated experimentally the main parameters that influence the shear resistance in RC beams, namely: shear and longitudinal reinforcement ratios, effective depth, and concrete compressive strength. The longitudinal rebars in tension were instrumented, allowing detailed tracking of strains during all tests. Results were compared with current Eurocode 2 provisions for concrete members with shear reinforcement, demonstrating that the shear resistance mechanism of the new PI solution closely matches that of conventional CI stirrups, with similar structural performance, highlighting its effectiveness as an efficient retrofitting solution.

1 Introduction and motivation

The aging infrastructure across Europe, much of which was built in the last century with design standards that were less stringent, presents a growing challenge for modern structural engineering. In light of increasing demands for sustainability, cost-effectiveness and performance, retrofitting existing reinforced concrete (RC) structures has become an essential strategy to extend their service life and ensure safety. Specifically, shear failure, due to its brittle nature, poses a significant risk to RC structures, often leading to catastrophic collapse with little warning. Consequently, enhancing the shear capacity of ageing RC structures is often a priority in contemporary construction practices.

Some solutions have been proposed to reinforce RC structures in general, like thermal prestressing [1] and external post-tensioning [2], and with insufficient shear resistance in particular, including concrete overlays [3,4], external post-tensioning [5] and concrete screw anchors [6,7]. In this contribution, a novel post-installed (PI) shear strengthening system is presented, which utilizes a high-performance injection mortar [8] to bond threaded steel rods into drilled holes. This PI system effectively substitutes traditional cast-in (CI) stirrups when these are missing or considered insufficient, providing a shear resistance mechanism that closely mirrors that of CI stirrups. The injection mortar ensures a superior bond strength, enhancing load transfer between the original concrete and the new reinforcement [9,10]. The results of a comprehensive series of 35 full-scale beam tests, which led to the system's official approval through the "general construction technique permit" (aBG) in Germany, demonstrate that the PI shear strengthening system offers a reliable solution for retrofitting aging RC structures which lack shear resistance.

In this paper, a subset of tests, consisting of 8 beams with a height up to 60 cm and length up to 5 m, is presented and analyzed in detail.

2 Experimental program

The experimental matrix of the 8 tests was conceived according to the theory of the Design of Experiments (DoE) [11], by considering the four main factors that can affect the shear resistance of the structural elements, namely:

1. mean concrete compressive strength (f_{cm}), varied between 33 MPa and 47.2 MPa,
2. geometrical shear reinforcement ratio ($\rho_w = A_{sw}/(b\, s_{wl})$), varied between 0.11% and 0.23%,
3. longitudinal reinforcement ratio ($\rho_l = A_{sl}/(b\, d)$), varied between 1.2% and 2.1%,
4. overall depth of the concrete member (h), varied between 40 and 60 cm.

* Corresponding author: filippo.medeghini@rub.de

© The Authors, published by EDP Sciences. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Deutsches Institut für Bautechnik DIBt

Eine vom Bund und den Ländern gemeinsam getragene Anstalt des öffentlichen Rechts

Zulassungs- und Genehmigungsstelle für Bauprodukte und Bauarten

Datum: 18.02.2026 Geschäftszeichen: I 25-1.15.5-29/25

Allgemeine Bauartgenehmigung

Nummer:
Z-15.5-383

Geltungsdauer
vom: **18. Februar 2026**
bis: **8. Mai 2029**

Antragsteller:
Hilti Deutschland AG
Hiltistraße 2
86916 Kaufering

Gegenstand dieses Bescheides:
Hilti Querkraft-Verstärkungssystem (HIT-Shear strengthening) mit HIT-RE 500 V4

Der oben genannte Regelungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich genehmigt.
Dieser Bescheid umfasst sieben Seiten und 29 Anlagen.
Diese allgemeine Bauartgenehmigung ersetzt die allgemeine Bauartgenehmigung Nr. Z-15.5-383 vom 26. August 2025. Der Gegenstand ist erstmals am 8. Mai 2024 zugelassen worden.

DIBt

DIBt | Kolonnenstraße 30 B | D-10829 Berlin | Tel.: +49 30 78730-0 | Fax: +49 30 78730-320 | E-Mail: dibt@dibt.de | www.dibt.de

HILTI

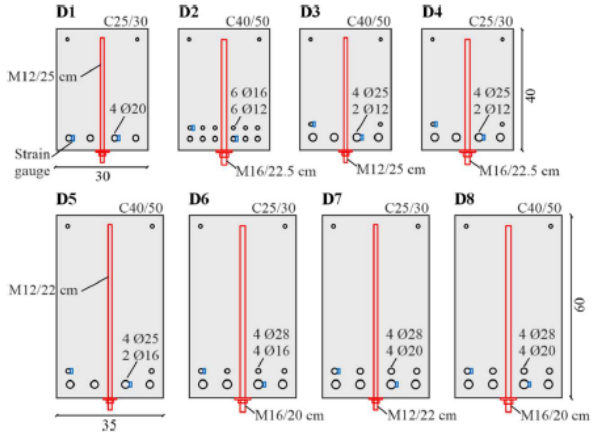
ELU

HILTIS FORSKNING TILLSAMMANS MED RUB

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB

Table 1 : Main parameters and experimental results.

Beam name	d [mm]	z [mm]	no. of rods	s_{wl} [mm]	ρ_w [%]	ρ_l [%]	f_{cm} [MPa]	τ_{exp} [MPa]	τ_{calc} [MPa]
D1	362	306	4	250	0.11	1.2	33.0	1.38	1.72
D2	348	288	4	225	0.23	1.8	47.2	2.74	2.62
D3	355	299	4	250	0.11	2.1	47.2	1.82	1.72
D4	353	293	4	225	0.23	2.1	33.0	2.54	2.53
D5	560	504	6	220	0.11	1.2	47.2	1.90	1.79
D6	544	484	7	200	0.22	1.7	33.0	2.61	2.65
D7	541	485	6	220	0.11	2.0	33.0	1.72	1.78
D8	539	479	7	200	0.22	2.0	47.2	3.01	2.76



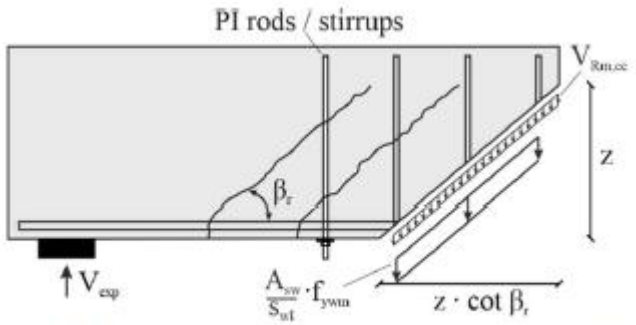


Fig. 7 : Shear carrying mechanism according to the modified truss analogy

Fig. 1 : Test set-up and measuring sensors of the two different beam sizes

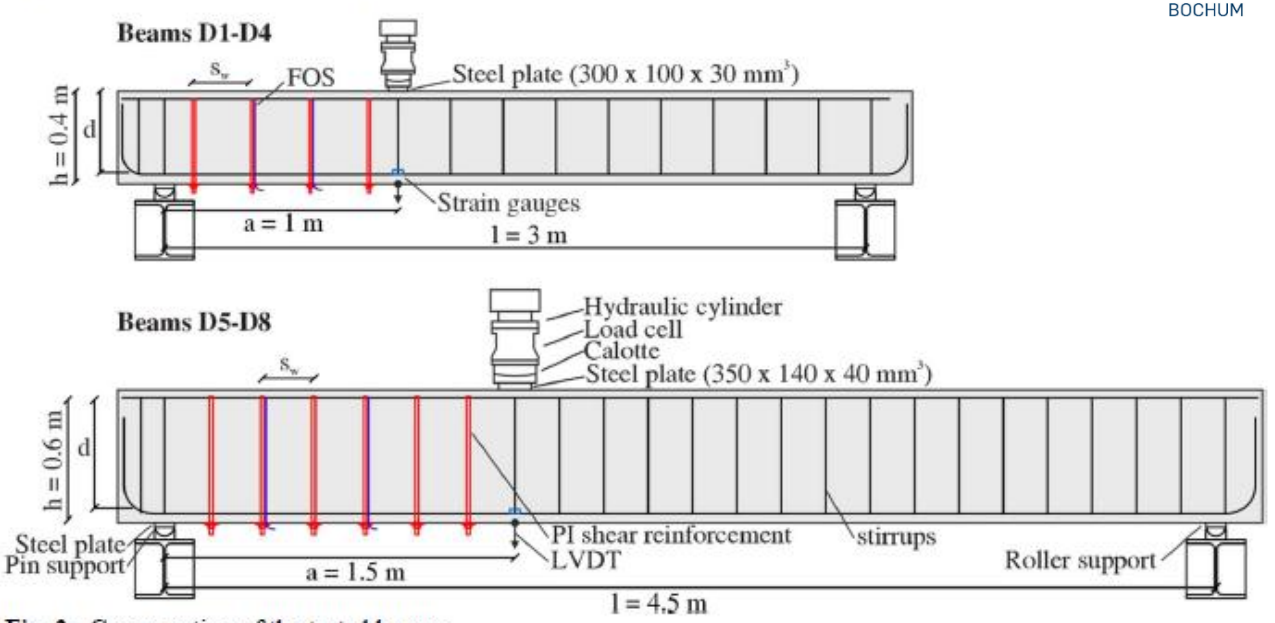


Fig. 2 : Cross-section of the tested beams

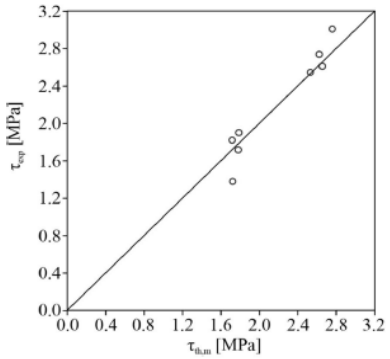
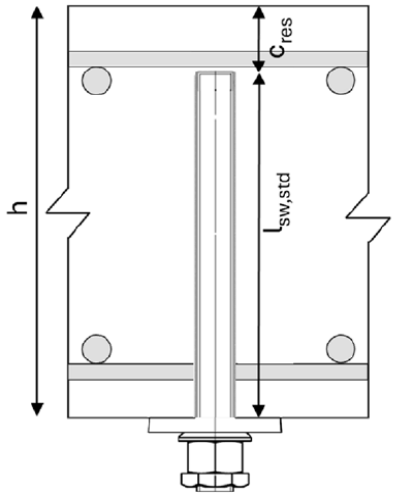


Fig. 8 : Experimental versus theoretical maximum shear stress for the 8 tested beams

HILTI ELU

YTTERLIGARE FORSKNING GIVET PRAKTISKA UTMANINGAR

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM



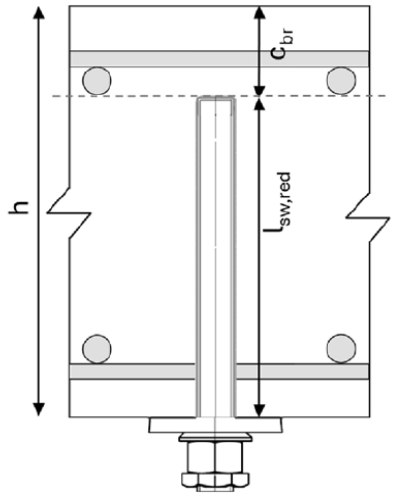


Tabelle 3: Montagekennwerte der Gewindestangen

Installationsparameter			M12	M16		M20	M24
Elementdurchmesser	d	[mm]	12	16		20	24
Bohrernenndurchmesser	d_0	[mm]	14	18		22	28
Minimale Querschnittshöhe des Betons	h_{min}	[mm]	200	200	400	600	
Maximale Querschnittshöhe des Betons (1)	h_{max}	[mm]	2200				
Standardverankerungslänge	$l_{sw,std}$		h - c_{res}				
Betondeckung am Bohrloch	c_{res}	[mm]	35	35	40	45	60
Reduzierte Verankerungslänge (2)	$l_{sw,red}$		h - c_{br} ≥ 0,75 h				
Maximales Anzugsdrehmoment für den einseitigen Einbau	T_{inst} ≤	[Nm]	40	80		150	200
Anzugsdrehmoment für die Durchsteckmontage und den versenkten Einbau	T_{inst}	[Nm]	10 bis 20	10 bis 30		10 bis 40	10 bis 50

Hilti Querkraft-Verstärkung		**Größe**		**Einseitiger Einbau Konfiguration A** (1)	**Einseitiger Einbau Konfiguration B** (1)	**Durchsteck-montage Konfiguration C** (1)
Beiwert für die nachträgliche Querkraft-Verstärkung bei Standardverankerungslänge $l_{sw,std}$	k_{pi} [-]	M12		0,735	0,588	0,735
		M16	h ≥ 400mm			
			200 mm ≤ h < 400 mm	0,529	0,423	
		M20		0,735	0,588	
		M24				
Größenabhängiger Beiwert	k_s [-]	M12		$\begin{cases} 1,0 & , \text{ wenn } z \le 0,75 \text{ m} ; \\ 1,15 - 0,20\ z & , \text{ wenn } z > 0,75 \text{ m} \end{cases}$ (2)		
		M16				
		M20				
		M24				

Hilti Querkraft-Verstärkung		**Größe**		**Einseitiger Einbau Konfiguration A** (1)	**Einseitiger Einbau Konfiguration B** (1)
Beiwert für die nachträgliche Querkraft-Verstärkung bei reduzierter Verankerungslänge $l_{sw,red}$	k_{pi} [-]	M12		0,566	0,453
		M16	h ≥ 400mm		
			200 mm ≤ h < 400 mm	0,407	0,326
		M20		0,566	0,453
		M24			
Größenabhängiger Beiwert	k_s [-]	M12		$\begin{cases} 1,0 & , \text{ wenn } z \le 0,75 \text{ m} ; \\ 1,15 - 0,20\ z & , \text{ wenn } z > 0,75 \text{ m} \end{cases}$ (2)	
		M16			
		M20			
		M24			

PROJEKTERING & PRAKTISKT UTFÖRANDE



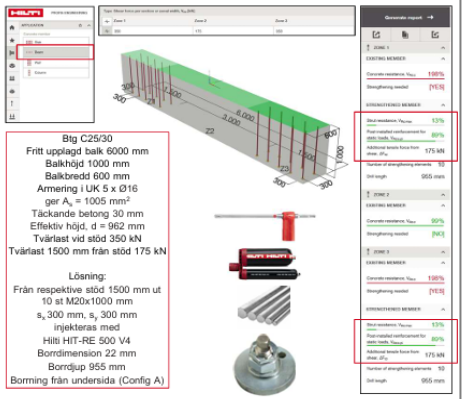


Eftermonterad tvärkraftsarmering

- **Eftermonterad tvärkraftsarmering** är en förstärkningsmetod introducerad under 2025 och omfattas av General Construction Technique Permit DiBt Z-15.5-383. Systemet fungerar på liknande sätt som en traditionell tvärkraftsbygel som omsluter huvudarmeringen. Beräkningsgången för $V_{Rd,s}$ följer SS-EN 1992-1-1, ekv. 6.8, med tillägg av effektivitetsfaktorer beroende på inborrningsdjup samt om borrning sker från tryckt eller dragen sida av konstruktionen.
- Metoden är kostnadseffektiv vid förstärkning av tvärkraftskapacitet, då montage kan utföras från en sida med borrning vinkelrätt mot betongytan. Efterinjekterade gängstänger, HAS-U 8.8 eller HAS-U A4 i dimensioner M12–M24, i kombination med Hilti HIT-RE 500 V4 och fyllnadsset fungerar som tvärkraftsarmering.
- Beräkningen utförs mot den dimensionerande tvärlasten. **Hilti HIT-RE 500 V4** är den HIT-produkt som är kvalificerad för förstärkningsåtgärden. Föreskriv borrning med sugborr och dammsugare lämpligen med borrhammare monterad i borrvagn eller annan borrigg så att position, riktning och djup garanteras. Detta minskar också vibrationsexponeringen för operatören med upp till 75%!
- Dimensionering utförs i Hilti PROFIS Engineering i modulen "Shear strengthening", där lämplig modell under Applications väljs, exempelvis en balk. Parametrar för betongkvalitet, zonindelning och geometri anges. Zoner bör definieras så att gränsen motsvarar området där betongen klarar tvärlast utan förstärkning.
- Armeringsarea för dragarmering, täckande betongskikt och effektiv höjd anges per zon, följt av vald borrmetod, eventuell försänkning och högsta tvärlast per zon. Därefter väljs dimension, inbördes avstånd och montagekonfiguration.
- Configuration A innebär borrning från dragen sida, Configuration B från tryckt sida och Configuration C genomgående montage. Effekten av förstärkningsåtgärden avläses i resultatfältet till höger. Dimension, avstånd och trycksträvans vinkel kan justeras för optimering. Minskad trycksträvvinkel medför ökad kraft i dragarmeringen.
- Före borrning måste de teoretiska borrpunkternas position kontrolleras och eventuellt justeras mot den faktiska positionen av över- eller underkantsarmeringen. Detta görs lämpligen genom att skanna betongytan lokalt med PS 300 eller PS 85. Praktiska borrpunkter kan avvika från teoretiska så länge kraven på minsta och största inbördes avstånd uppfylls enligt DiBt Z-15.5-383 utan att beräkningen behöver göras om!
- För ytterligare vägledning klicka på "View approval" under "Strengthening element".

HIT-RE 500 V4





Btg C25/30
Fritt upplagd balk 6000 mm
Balkhöjd 1000 mm
Balkbredd 600 mm
Armering i UK 5 x Ø16
ger A_s = 1005 mm²
Täckande betong 30 mm
Effektiv höjd, d = 962 mm
Tvärlast vid stöd 350 kN
Tvärlast 1500 mm från stöd 175 kN

Lösning:
Från respektive stöd 1500 mm ut
10 st M20x1000 mm
s_x 300 mm, s_y 300 mm
injekteras med
Hilti HIT-RE 500 V4
Borrdimension 22 mm
Borrdjup 955 mm
Borrning från undersida (Config A)

AMA ANLÄGGNING 26 & ANDRA TILLÄMPNINGAR MED HIT



Ange

- om identifiering av befintlig armerings läge ska utföras med oförstörande metod före borrning
- borrmetod, borrdiameter och borrdjup
- åtdragningsmoment





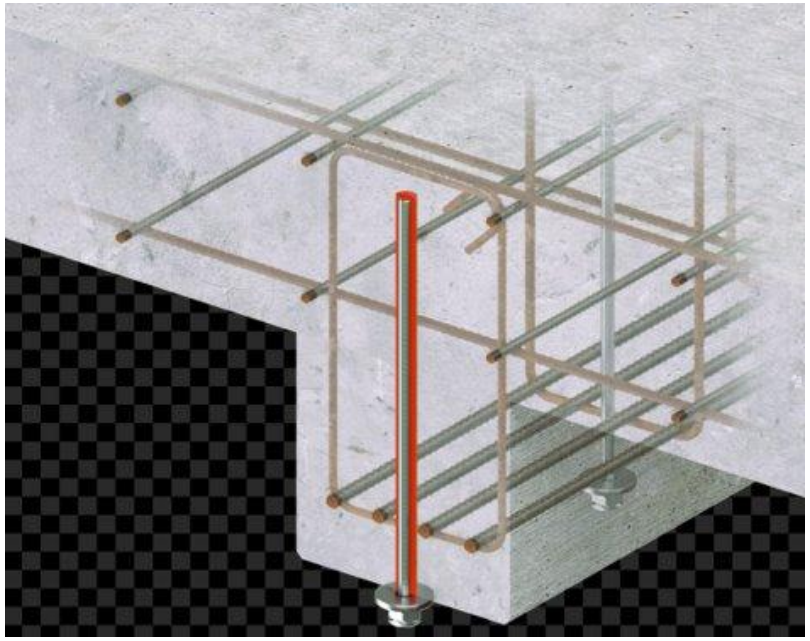


Eftermonterad:

- Omlottskarvning armering
- Armeringsförankring
- **Tvärkraftsarmering**
- Genomstansningsarmering
- Skjuvarmering vid pågjutning
- Kemisk infästning

SLUTSATS

- Det finns en rad metoder för att åtgärda brist på tvärkraftskapacitet med olika egenskaper och fördelar.
- Hilti HIT-shear har nu framgångsrikt använts på en svensk bro vid Slussen.
- Använd den metod eller den kombination av metoder som är mest kostnadseffektiv i det enskilda fallet!



INNOVATIV TVÄRKRAFTSFÖRSTÄRKNING AV TUNNELBANEBRO VID SLUSSEN



Markus Steiner, ELU



Rickard Bergeryd, HILTI

Ni är varmt välkomna att besöka vår monter för att diskutera detaljerna vidare.