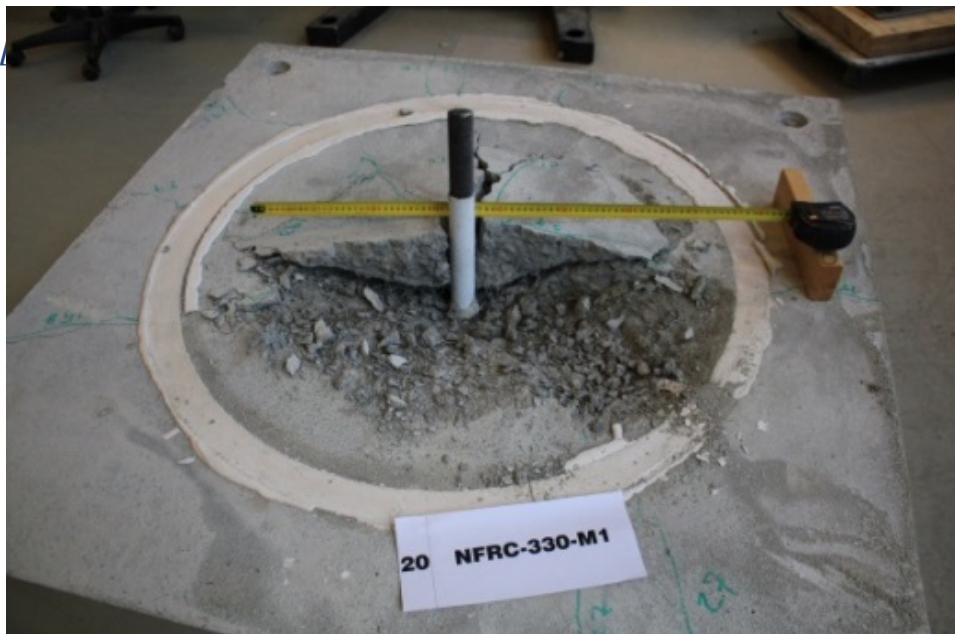


INFÄSTNINGAR I FIBERARMERAD HÖGPRESTERANDE BETONG



Rasoul Nilforoush, Martin Nilsson och Lennart Elfgren

2018-05-02

FÖRORD

Denna rapport presenterar resultat från en serie försök med infästningar i fiberarmerad högpresterande betong.

Huvuddelen av arbetet har utförts av Rasoul Nilfroush som en del i hans doktorsarbete vid avdelningen för konstruktionsteknik vid Luleå tekniska universitet.Handledare har varit biträdande professor Martin Nilsson, senior professor Lennart Elfgren och avdelningens vetenskaplige ledare professor Andrzej Cwirzen.

Vid försöken har laboratoriechef Mats Petersson och forskningsingenjör Erik Andersson deltagit. Vid utvärderingen har professor Rolf Eligehausen vid universitetet i Stuttgart medverkat.

En styr- och referensgrupp har stött arbetet. Den har bestått av Hans Hedlund, Skanska; Tobias Larsson, NCC och Anders Bergkvist, Vattenfall/Energiforsk.

Vi tackar för ekonomiskt stöd från SBUF och Skanska och från Energiforsk, Elsa och Sven Thysells stiftelse samt Luleå tekniska universitet.

Luleå i maj 2018

Rasoul Nilfroush

Martin Nilsson

Lennart Elfgren

SAMMANFATTNING

I all byggverksamhet behöver krafter tas upp i konstruktioner. I betongkonstruktioner förs dragkrafter ofta in med hjälp av ingjutna eller inborrade infästningar. Detta sker såväl vid nybyggnad som vid om- och tillbyggnader.

Målsättningen för arbetet är att genom pilotförsök ge underlag för riktlinjer och dimensioneringsmodeller för användning vid förankringar i normal- och högpresterande fiberarmerad betong. Sådana riktlinjer kan ge mervärde för kunderna i byggbranschföretagens produkter och tjänster genom att billigare, säkrare och mer effektiva förankringar kan skapas.

Utdragsförsök har genomförts på bultar som gjutits in i oarmerad och fiberarmerad normal- och höghållfast betong. Betongen hade tryckhållfastheten 40 och 80 MPa och provades med och utan fiberarmering med 80 kg/m^3

- Brotthållfastheten ökade med tjockleken H på det betongelement som infästningen satt fast i. För skruvar med dimensionen M36 och infästningsdjupet $h_{ef} = 0,22 \text{ m}$ ökade bärförmågan från ca 320 kN vid tjockleken $H = 0,33 \text{ m}$ till ca 375 kN vid tjockleken 0,66 m. Detta beror främst på att betongplattans mothållande förmåga ökade med ökad tjocklek.

- Bärförmågan ökade med ökad betonghållfasthet. När hållfastheten ökade från 40 MPa till 80 MPa ökade bärförmågan från ca 340 kN till ca 480 kN. Brottet blev dock sprödare för högre hållfastheter och brottet kunde ske plötsligt utan nämnvärd deformation. Någon form av ytarmering eller fiberarmering rekommenderas för att få erhålla ett mer segt, duktilt, förvarnande brott.

- Med en fiberarmering på 80 kg/m^3 erhöles en betydligt ökad bärförmåga från ca 320 kN till ca 620 kN vid en-tjocklek på betongplattan om $H = 0,33 \text{ m}$. Vid ökad tjocklek $H = 0,44 \text{ m}$ ökade bärförmågan från ca 340 kN till ca 685 kN,

Undersökningen ingår i Rasoul Nilforoushs doktorsavhandling vid Luleå tekniska universitet. I den redovisas även numerisk modellering av olika geometrier och förslag ges till beräkningsrekommendationer. Ytterligare försök fordras för att förutsäga bärförmågan i fiberarmerade konstruktioner vid andra geometrier och andra betongkvaliteter än de som här studerats.

INNEHÅLL

1. BAKGRUND	4
2. SYFTE	6
3. METODIK - BROTTMODER	7
4. EXPERIMENTELL STUDIE	9
4.1 PROVNINGSPROGRAM	9
4.2 PROVNINGSFÖRFARANDE.....	10
4.3 PROVNINGSRESULTAT.....	11
5. SLUTSATSER	14
LITTERATURFÖRTECKNING	15

1. BAKGRUND

I all byggverksamhet behöver krafter tas upp i konstruktioner. I betongkonstruktioner förs dragkrafter ofta in med hjälp av ingjutna eller inborrade infästningar. Detta sker såväl vid nybyggnad som vid om- och tillbyggnader. Några vanliga användningsområden och typer av infästningar i betongkonstruktioner visas i Figur 1.



Figur 1. Exempel på tillämpningar av olika förrankningar i tak, väggar och golv av betong.

Högpresterande fiberarmerad betong är ett nytt material som vinner ökad användning i bland annat industrigolv och vid bergförstärkning, se t ex materialnormerna SS 14651 (2007) och SS 812310 (2014), tillämpningsexempel i Gunnarsson & Lindell (2015) och i arbete med dimensioneringsregler Walraven (2008) och Zirgulis (2015).

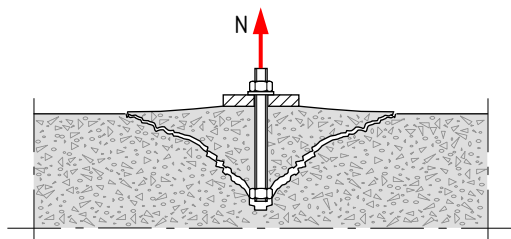
Tekniken för infästningar går tillbaka till antika sten- och murverkskonstruktioner som ofta hölls samman av förankringsstänger av metall s.k. ankarjärn, se Figur 2. Tekniken har utvecklats kraftigt under den senaste 50-årsperioden med tillkomsten av effektiva slagbormaskiner med vilka hål lätt kan borraras i befintliga betongkonstruktioner. Normer och riktlinjer har också börjat också växa fram, CEB (1991), Eligehausen et al (2006), SIS-CEN/TS 1992-4-2 (2009) och fib B58 (2011).

Reglerna gäller huvudsakligen för dimensionering av nya infästningar i oarmerade konstruktioner medan infästningar i armerade konstruktioner endast behandlats i ett fåtal undersökningar, Nilsson et al (2011). Tidigare arbeten med infästningar vid Luleå tekniska universitet redovisas även i Elfgrén et al. (1980, 1982, 1987, 1989, 1991, 2001, 2002)



Figur 2. Ankarjärn med ankarslut i murverk i kv. Cephalus i Gamla stan i Stockholm.

Brottbeteendet i en oarmerad betongkonstruktion illustreras i Figur 3. De nuvarande normerna bygger på draghållfastheten i den oarmerade betongen. Vid användning av en högpresterande fiberarmerad betong kan högre lastkapacitet erhållas i tunnare betongkonstruktioner. Fiberarmeringen förväntas öka brottlast och duktilitet så att oönskade spröda brott undviks.



Figur 3. Brott i en oarmerad betongkonstruktion.

Vid ombyggnads- och reparationsarbeten har infästningar en potential att bidra till en mer hållbar utveckling i branschen genom att befintliga byggnader och konstruktioner kan användas mer flexibelt och inte rivas lika snabbt som nu utan kompletteras och förstärkas så att de kan nyttjas under längre tid.

2. SYFTE

Målsättningen för arbetet är att genom pilotförsök ta fram riktlinjer och preliminära dimensioneringsmodeller för användning av förankringar i normal- och högpresterande fiberarmerad betong. Sådana riktlinjer kan ge mervärde för kunderna i byggbranschföretagens produkter och tjänster genom att billigare, säkrare och mer effektiva förankringar kan skapas.

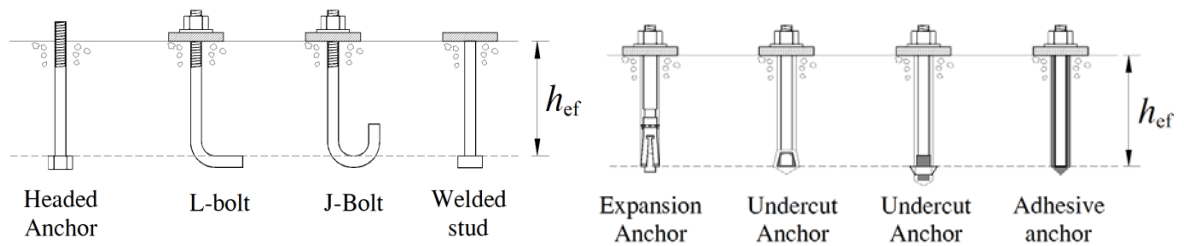
Avgränsningar: Endast platsgjutna bultinfästningar av normal- och högpresterande fiberbetong provas i denna studie.

Projektresultaten förväntas komma till nytta genom att visa på kapacitet och funktion hos den nya infästningsmetoden och de bör kunna användas av byggentreprenörer och byggkonstruktörer.

LTU har genomfört ett projekt åt Energiforsk där dimensioneringsregler tagits fram för infästningar i betongkonstruktioner med varierande tjocklek med och utan ytarmering. I detta utvecklingsprojekt från SBUF utvidgas projektet till att studera inverkan av fiberarmering i normal- och högpresterande betong. Hela studien redovisas i Rasoul Nilforoushs doktorsavhandling, Nilforoush (2017).

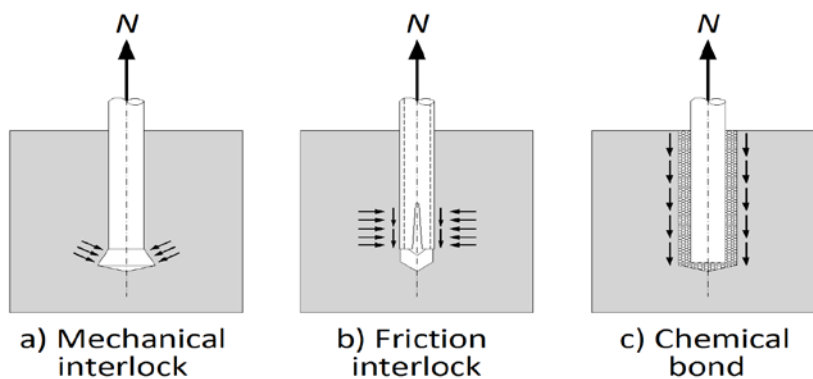
3. METODIK - BROTTMODER

Det finns många olika typer av förankringar, se Figur 4., Eligehausen et al. (2006).



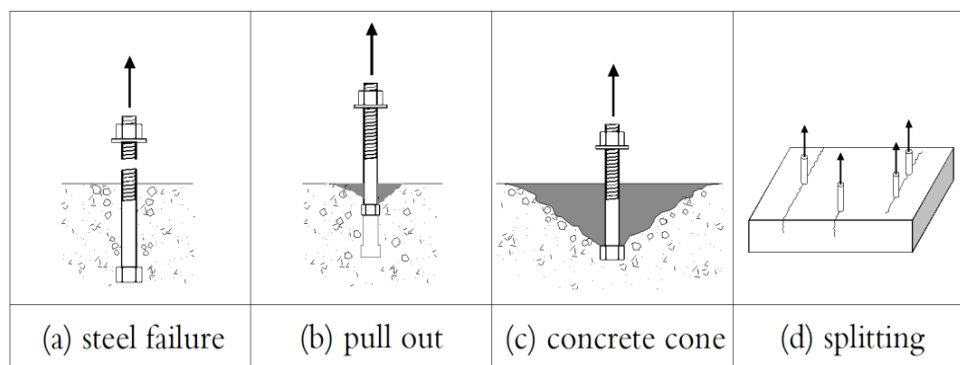
Figur 4. Från vänster fyra exempel på ingjutna förankringar (Bultformat huvud, L-järn, J-järn, Svetsat huvud) och efterinstallerade förankringar (Expanderande förankring, Underskuren förankring i två versioner, Limmad förankring), Eligehausen et al. (2006)

Kraftöverföringen kan i princip ske på tre olika sätt, se Figur 5 .



Figur 5. Lastöverföring för olika förankringstyper (Mekanisk lastöverföring; friktion; och kemisk bindning/adhesion)

För dragbelastade huvudförsedda förankringar kan brott uppkomma på fyra sätt genom (a) stålbrott; (b) utdragsbrott; (c) betongkonbrott; (d) betongspjälkning, se Figur 6.



Figur 6. Brottmoder för huvudförsedda förankringar: (a) stålbrott; (b) utdragsbrott; (c) betongkonbrott; (d) betongspjälkning.

Stålbrott är ofta en önskvärd brott-typ eftersom man anser sig ha mer kontroll över stålets draghållfasthet än motståndsförmågan hos den omgivande betongen. Det beräknas med uttrycket:

$$N_{u,s} = f_{u,s} \cdot A_s \quad \text{Ekv. 1}$$

där $f_{u,s}$ är stålets brotthållfasthet och A_s förankringsstångens area..

Utdragsbrott inträffar om betongen inte förmår hålla emot dragkraften. Brottlasten uppskattas med uttrycket

$$N_{u,p} = \tau_b \cdot \pi \cdot d_0 \cdot h_{ef} \quad \text{Ekv.. 2}$$

där τ_b är vidhäftninghållfasthetens medelvärde [MPa], d_0 är förankringsstångens diameterdiameter [mm], och h_{ef} är förankringens effektiva djup [mm].

Betongkonbrottet karakteriseras av att ett konformat brott i betongen. Det brukar beräknas med den semiempiriska formeln

$$N_{u,c} = K \cdot (f_{cc})^{0.5} \cdot h_{ef}^{1.5} \quad \text{Ekv. 3}$$

där f_{cc} är betongens tryckhållfasthet [MPa] och K är en empirisk faktor med värdet 15.5 om lastöverföringens sker mekaniskt (bulthuvud) eller med värdet 13.5 om överföringens sker genom friktion eller adhesion. Formeln har inarbetats i flera normer i Europa som CEB (1997) och CEN/TS 1992-4 (2009), och i U.S.A. i ACI 349 (2006) och ACI 318 (2014), Internationellt finns den i *fib* Bulletin 58 (2011). Den betecknas ofta som CC-metoden (Cone Capacity Method)

4. EXPERIMENTELL STUDIE

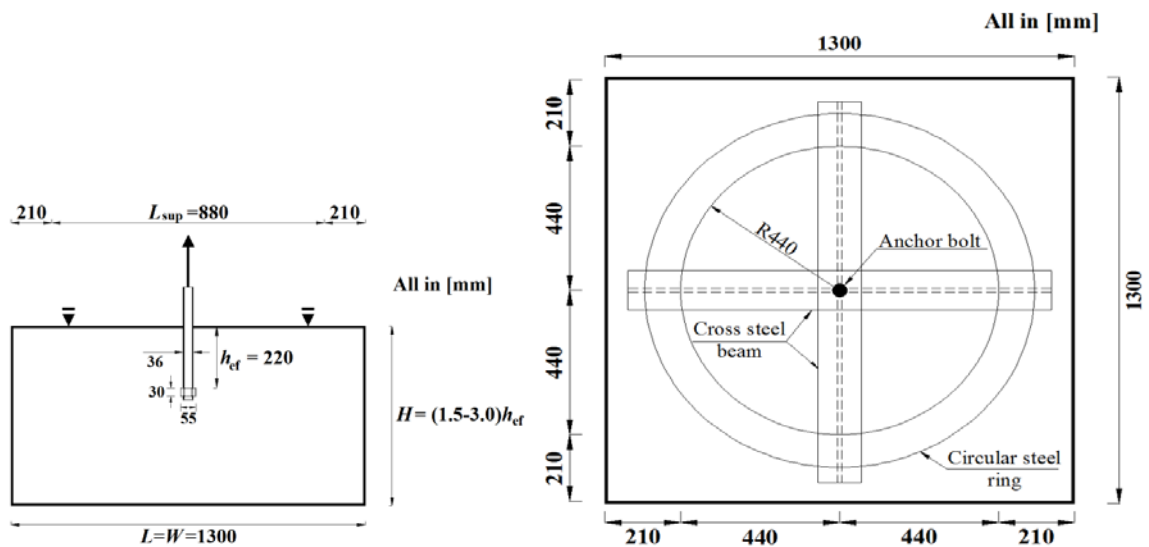
Nedan redovisas resultaten av de försök som genomförts. En mer noggrann redovisning ges i doktorsavhandlingen Nilforoush (2017) och tidskriftsartikeln Nilforoush et al. (2017c).

4.1 Provningsprogram

Provningsprogrammet omfattade fyra serier och redovisas i Tabell 1. Provuppställning och försöksgeometri visas i Figur 6. Materialdata ges i Tabell 3.

Tabell 1. Provningsprogram

Serie	Beteckning	Plattjocklek h (mm)	Längd och bredd för provplatta (mm)	Betong
i	NPC-330-T1	330	1300	Normalhållfast oarmerad betong (NPC)
	NPC-330-T2			
	NPC-330-T3			
	NPC-440-T1	440		
	NPC-440-T2			
	NPC-440-T3			
	NPC-660-T1	660		
	NPC-660-T2			
	NPC-660-T3			
ii	NFRC-330-T1	330	1300	Normalhållfast fiberarmerad betong (NFRC)
	NFRC-330-T2			
	NFRC-440-T1	440		
	NFRC-440-T2			
iii	HPC-440-T1	440	1300	Höghållfast oarmerad betong (HPC)
	HPC-440-T2			
iv	HFRC-330-T1	330	1300	Höghållfast fiberarmerad betong (HFRC)
	HFRC-330-T2			
	HFRC-440-T1	440		
	HFRC-440-T2			



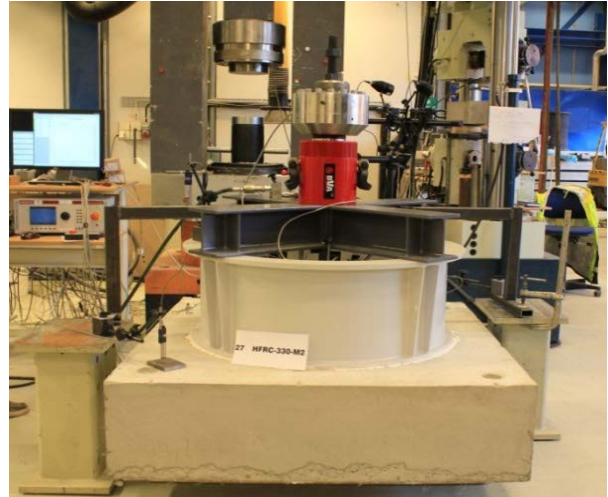
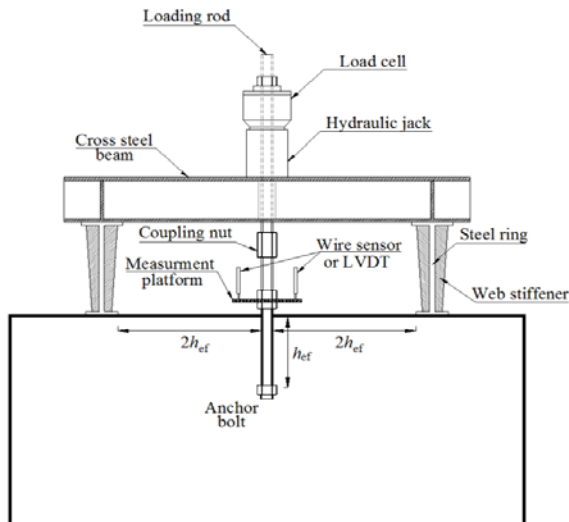
Figur 6. Provuppställning och försöksgeometri

Tabell 3. Materialdata

Betong	NPC	NFRC	HPC	HFRC
Hållfasthetsklass	C30/37	C30/37	C65/80	C65/80
w/c	0.55	0.55	0.35	0.35
Cement-CEM II/A-LL 42.5R (kg/m ³)	380	380	610	610
Aggregat 0–4 mm (kg/m ³)	500	500	400	400
Aggregat 4-8 mm (kg/m ³)	450	450	450	450
Aggregat 8-16 mm (kg/m ³)	840	840	830	830
Tillsatsmedel (% av cement vikt)	-	0.65	-	0.65
Stål fibrer (kg/m ³)	-	80	-	80
Mechanical properties	Mewdelvärden (COV %)			
Täthet (kg/m ³)	2304(0.5%)	2307(0.6%)	2353(1.1%)	2378(0.8%)
$f_{cc,m}$ (MPa)	40.1(2.8%)	39.2(4.1%)	81.7(1.9%)	80.3(3.4%)
$f_{ct,m}$ (MPa)	3.2(4.3%)	4.0(8.1%)	4.2(8.9%)	7.2(4.1%)

4.2 Provningsförfarande

Provuppställningen visas i figur 7.



Figur 7. Provpuppställning och belastningsanordning

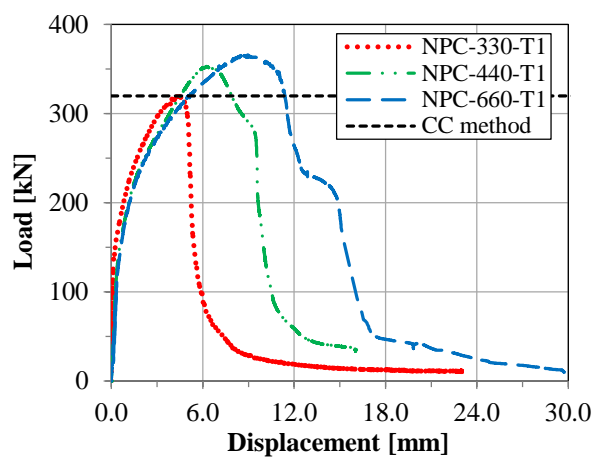
4.3 Provningsresultat

Försöksresultaten sammanfattas i Tabell 3.

Tabell 3. Försöksresultat

Serie	Beteckning	$f_{cc,m}$ [MPa]	$N_{u,test}$ [kN]	Δ_{Nu} [mm]	$N_{u,test}^*$ [kN]	$\bar{N}_{u,test}^*$ [kN]	$N_{u,calc.}$ [kN]	$\bar{N}_{u,test}^*/N_{u,calc.}$	Brott mod
i	NPC-330-T1	41.0	329.0	5.92	324.8	320.0	319.9	1.00	konbrott+ spjälkning
	NPC-330-T2	41.0	319.4	4.48	315.4				
	NPC-330-T3	41.0	323.7	5.17	319.7				
	NPC-440-T1	38.9	331.4	7.47	335.9	343.9	319.9	1.08	konbrott
	NPC-440-T2	38.9	353.2	6.25	358.0				
	NPC-440-T3	38.9	333.3	6.82	337.9				
	NPC-660-T1	40.1	384.3	6.90	383.6	374.9	319.9	1.17	konbrott
	NPC-660-T2	40.1	366.0	8.96	365.4				
	NPC-660-T3	40.1	376.5	8.45	375.8				
ii	NFRC-330-T1	39.2	401.9	11.54	405.9	411.7	319.9	1.29	kon + radiella sprickor
	NFRC-330-T2	39.2	413.5	10.51	417.6				
	NFRC-440-T1	39.2	441.5	17.99	445.9	437.1	319.9	1.37	kon + radiella sprickor
	NFRC-440-T2	39.2	424.2	11.10	428.4				
iii	HPC-440-T1	81.7	430.6	3.47	428.7	481.4	455.2	1.06	konbrott
	HPC-440-T2	81.7	536.5	3.44	534.1				
iv	HFRC-330-T1	80.3	669.1	11.39	672.2	622.7	455.2	1.37	kon + radiella sprickor
	HFRC-330-T2	80.3	570.5	7.58	573.2				
	HFRC-440-T1	80.3	681.7	12.78	684.9	686.5	455.2	1.51	kon + radiella sprickor
	HFRC-440-T2	80.3	685.0	14.09	688.1				

Några typiska lastdeformationskurvor för normalbetong redovisas i Figur 8 och några brottbilder i Figur 9. I Figur 10 visas en jämförelse mellan lastdeformationskurvorna för normalbetong och höghållfastbetong och i Figur 11 visas några typiska brottbilder från försök med höghållfast betong. Motsvarande för fiberarmerad betong visas i Figurerna 12 och 13.



Figur 8. Last-deformationskurvor för oarmerad normalbetong

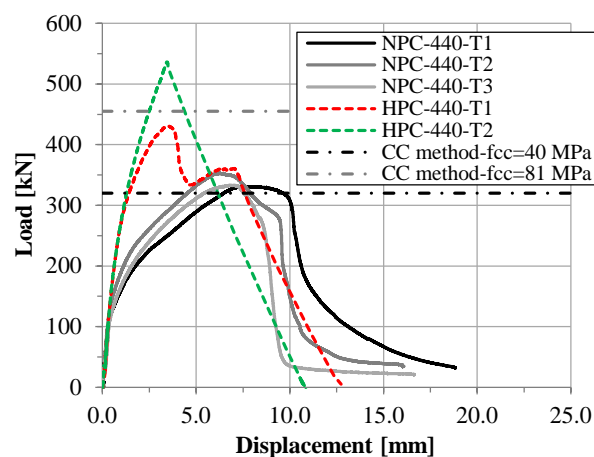


NPC-330-T1
 $H=1.5 \cdot h_{ef}$

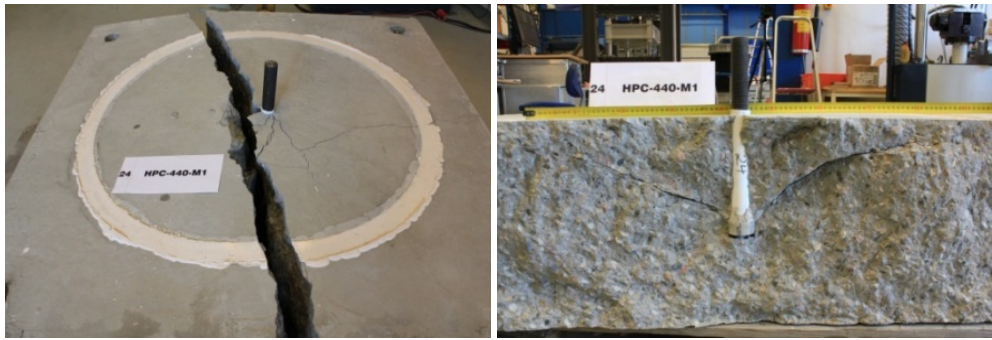
NPC-440-T1
 $H=2.0 \cdot h_{ef}$

NPC-660-T1
 $H=3.0 \cdot h_{ef}$

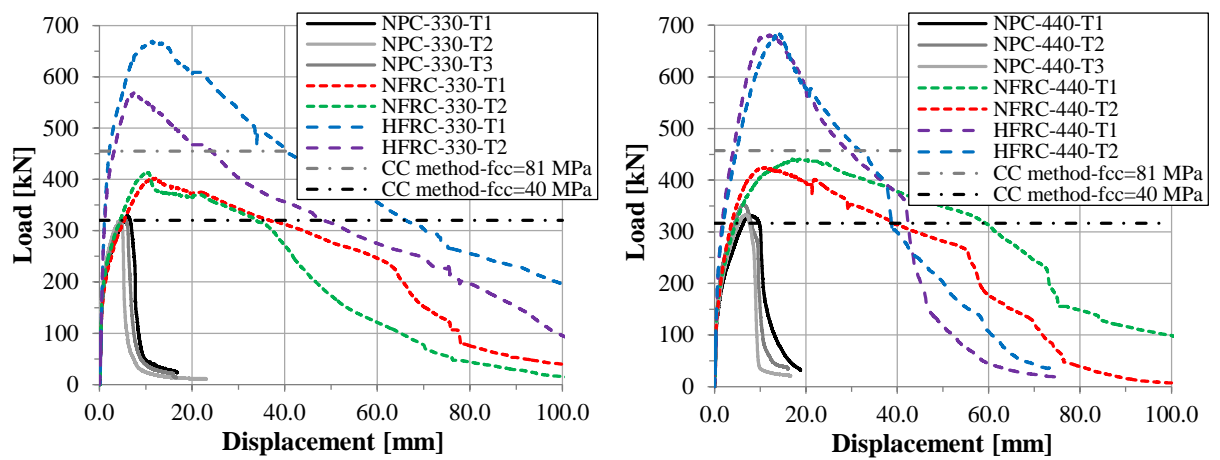
Figur 9. Typiska brottbilder för oarmerad normalbetong vid olika betongtjocklekar H.



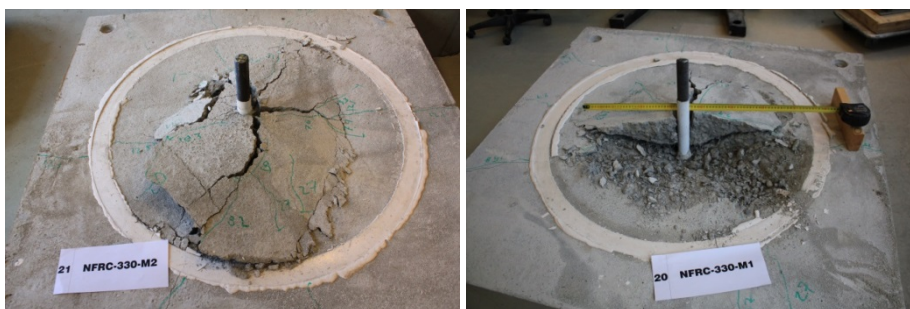
Figur 10. Last-deformationskurvor för oarmerad normalbetong och högpresterande betong



Figur 11. Typiska brottbilder för oarmerad högpresterande betong



Figur 12. Last-deformationskurvor för fiberarmerad normalbetong och höghållfast betong



Figur 13.. Typiska brottbilder för fiberarmerad normalbetong och höghållfast betong

5. SLUTSATSER

Från de utdragsförsök som genomförts med höghållfast betong och med fiberarmerad normalbetong och höghållfast betong kan följande slutsatser dras:

- Brotthållfastheten ökar med tjockleken H på det betongelement som infästningen sitter infäst i. För skruvar med dimensionen M36 och infästningsdjupet $h_{ef} = 0,22$ m ökade bärförmågan från ca 320 kN vid tjockleken $H = 0,33$ m till ca 375 kN vid tjockleken 0,66 m. Detta beror främst på att betongplattans mothållande förmåga ökar med ökad tjocklek. Konkapacitetsmetoden enligt ekv (3) kan relativt väl förutsäga brottlasten för plattor med tjockleken H mindre än dubbla infästningsdjupet h_{ef} .
- Bärförmågan ökar med ökad betonghållfasthet. När hållfastheten ökade från 40 MPa till 80 MPa ökade bärförmågan från ca 340 kN till ca 480 kN. Brottet blev dock sprödare för högre hållfastheter och brottet kan ske plötsligt utan nämnvärd deformation. Konkapacitetsmetoden gav rimliga värden för betongkvaliteter upp till hållfastheten 80 MPa. Någon form av ytarmering eller fiberarmering rekommenderas för att få erhålla ett mer segt, duktilt, förvarnande brott.
- Med en fiberarmering på 80 kg/m^3 erhöles en betydligt ökad bärförmåga från ca 320 kN till ca 620 kN vid en-tjocklek på betongplattan om $H = 0,33$ m. Vid ökad tjocklek $H = 0,44$ m ökade bärförmågan från ca 340 kN till ca 685 kN, Konkapacitetsmetoden underskattade bärförmågan.
- Ytterligare försök erfordras för att förutsäga bärförmågan i fiberarmerade konstruktioner vid andra geometrier. En sammanfattning av alla försök och numeriska studier som genomförts ges i doktorsavhandlingen Nilfroush (2017) och i tidskriftsartiklarna Nilfroush et al. (2016, 2017a,b,c och 2018).

LITTERATURFÖRTECKNING

- ACI Committee 318 (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary* (ACI 318-14), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 524 pp.
- ACI Committee 349 (2006). *Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures* (ACI 349-06), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 134 pp.
- CEB (1991): *Fastenings to Concrete and Masonry Structures. State of the Art Report*. (First issued as Bulletins d'Information No 206 and 207 by Comité Euro-International du Béton (CEB) 1991). Thomas Telford, London 1994. 250 pp. ISBN 0-7277-1937-8.
- CEB Design Guide (1997). *Design of Fastenings in Concrete*, Comité Euro-International du Béton (CEB), Thomas Telford, Lausanne, Switzerland, 92 pp.
- CEN/TS 1992-4 (2009). *CEN Technical Specification (TS): Design of Fastenings for Use in Concrete*, Final Draft, European Organization for Standardization (CEN), Brussels, Belgium, 166 pp.
- Elfgrén, Lennart; Broms, Carl Erik; Johansson, Håkan E.; and Rehnström, Arne (1980): *Anchor Bolts in Reinforced Concrete Foundations. Short Time Tests*. Research Report TULEA 1980:36. Division of Structural engineering, University of Luleå, 1980, 117 sid, ISSN0347-0881.
- Elfgrén, Lennart; Cederwall, Krister; Gylltoft, Kent; and Broms Carl Erik (1982): *Fatigue of Anchor Bolts in Reinforced Concrete Foundations*. IABSE Colloquium Lausanne 1982. Fatigue of Steel and Concrete Structures, pp 439-470.
- Elfgrén, Lennart, Anneling, Roger, Eriksson, Anders & Granlund, Stig-Ola (1987): *Adhesive anchors: tests with cyclic and long-time loads*. Statens Provningsanstalt, Borås. SP rapport, nr 1987:39
- Elfgrén, Lennart, editor (1989): *Fracture Mechanics of Concrete Structures. From theory to Applications*. A RILEM State of the Art Report. Chapman & Hall, London 1989, 407 pp. ISBN 0-412-30680-8.
- Elfgrén, Lennart och Shah, Surendra P., Editors (1991): *Analysis of Concrete Structures by Fracture Mechanics*. Proceedings of the International RILEM workshop dedicated to Professor Arne Hillerborg, sponsored by RILEM (The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures) and organized by RILEM Technical Committee 90-FMA Fracture Mechanics of Concrete Structures – Applications, Abisko, Sweden, June 28-30, 1989. London, Chapman and Hall, 305 pp, ISBN 0-412-36980-X.
- Elfgrén, Lennart; Eligehausen, Rolf and Rots, Jan G. (2001): Anchor bolts in concrete structures: summary of Round Robin tests and analysis arranged by RILEM TC 90-FMA Fracture Mechanics of Concrete - Applications. *Materials and Structures*, Vol 34, No 242, October 2001, pp. 451-457. The full report can be downloaded from <http://epubl.ltu.se/1402-1528/1998/14/index.html>
- Elfgrén, Lennart and Nohhabai, Keivan (2002): Tension of reinforced concrete prisms. Bond properties of reinforcement bars embedded in concrete tie elements. Summary of a RILEM round-robin investigation arranged by TC 147-FMB "Fracture Mechanics to Anchorage and Bond. *Materials and Structures*, Vol 35, No 250, July 2002, p. 318-325. The full report can be downloaded from <http://epubl.ltu.se/1402-1528/2001/13/index.html>
- Eligehausen, Rolf; Mallée, Rainer and Silva, John F (2006): *Anchorage in Concrete Construction*. Berlin: Ernst & Sohn, 378 pp, ISBN 978-3-433-01143-0.
- EN 12390-3 (2009). Testing hardened concrete, Compressive strength of test specimens, 19 pp.
- EN 12390-6 (2009). Testing hardened concrete, Tensile splitting strength of test specimens, 11 pp.

- fib B58 (2011): *Design of anchorages in concrete. Guide to good practice*. Lausanne: The International Federation for Structural Concrete, fib, Bulletin 58, 282 pp, ISBN 978- 2-88394-098-7
- Gunnarsson, Jakob & Lindell, Eric (2015): *Konstruktioner I stålfiberbetong. Provning och dimensionering enligt ny svensk standard*. Examensarbete i konstruktionsteknik, Luleå tekniska universitet, 162 sid.. Nedladdningsbart från <http://pure.ltu.se/portal/files/103078500/LTU-EX-2015-102973904.pdf>
- Hillerborg, Arne (1985): The theoretical basis of a method to determine the fracture energy G_F of Concrete. *Materials and Structures*, No 107, pp 407-413.
- Nilforoush, Rasoul (2017). Anchorage in Concrete Structures. Numerical and Experimental Evaluations of Load-Carrying Capacity of Cast-in-Place Headed Anchors and Post-Installed Adhesive Anchors. Doctoral Thesis in Structural Engineering, Luleå University of Technology. 352 pp. Available at <http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1153811/FULLTEXT01.pdf>
- Nilforoush, Rasoul, Nilsson, Martin, Söderlind, Gunnar & Elfgrén, Lennart (2016), 'Long-Term Performance of adhesive Bonded Anchors' *ACI Structural Journal*, 113(2), 251-261 MS No. S-2014-302.R2. Accepted for publication
- Nilforoush, R., Nilsson, M., Elfgrén, L., Özbolt, J., Hofmann, J., ; Eligehausen, R. (2017a). Influence of Surface Reinforcement, Member thickness and Cracked Concrete on Tensile Capacity of Anchor Bolts. *ACI Structural Journal*, 114(6), 1543–1556
- Nilforoush, R., Nilsson, M., Elfgrén, L., Özbolt, J., Hofmann, J., & Eligehausen, R. (2017b). Tensile capacity of anchor bolts in uncracked concrete : Influence of member thickness and anchor's head size. *ACI Structural Journal*, 114(6), 1519–1530.
- Nilforoush, R., Nilsson, M., & Elfgrén, L. (2017c). “Experimental Evaluation of Tensile Behaviour of Single Cast-in-place Anchor Bolts in Plain and Steel Fibre-reinforced Normal- and High-strength Concrete,” *Engineering Structures*, 147, 195–206.
- Nilforoush, R., Nilsson, M., & Elfgrén, L. (2018). Experimental Evaluation of Influence of Member Thickness, Anchor-Head Size, and Orthogonal Surface Reinforcement on the Tensile Capacity of Headed Anchors in Uncracked Concrete. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 144(4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001976](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001976)
- Nilsson, Martin; Ohlsson, Ulf & Elfgrén, Lennart (2011); Effects of surface reinforcement on bearing capacity of concrete with anchor bolts. *Nordic Concrete Research*, Vol 2011, No 44, pp 161-174.
- SIS-CEN/TS 1992-4-2 (2009): *Technical specification – Design of Fastenings for use in Concrete – Part 4-2 Headed fasteners*. European Committee for Standardization, Brussels, 34 pp
- SS 14651 (2007). *Provningsmetod för betong med metallfibrer – Bestämning av böjdraghållfasthet*. Stockholm, Sverige: SIS Förlag AB. Svensk standard SS-EN 14651:2005+A1:2007.
- SS 812310 (2014). *Fiberbetong – Dimensionering av fiberbetongkonstruktioner*. Stockholm, Sverige: SIS Förlag AB. Svensk standard SS-EN 812310:2014.
- Zirgulis, Giedrius; Svec, Oldfich; Vidal, Elena Sarmient; Geiker, Mette Rica; Cwirzen, Andrzej and Kanstad, Terje (2015): Importance of quantification of steel fibre orientation for residual flexural tensile strength in FRC. *Materials and Structures*, On line Nov 2015, pp 1-17, DOI 10.1617/s11527-015-0759-3
- Walraven, Joost (2008): On the way to design recommendations for UHPFRC. IN “Ultra High Performance Concrete (UHPC)”, Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete, Kassel, Germany, March 05-07, 2008. Edited by E. Fehling, M. Schmidt and S Stürwald, Kassel University Press, Kassel, pp 45-56, ISBN: 978-

3-89958-376-2. Available at <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-376-2.volltext.frei.pdf>