

Slutrapport

Projektnamn: Reparation och förstärkning av betongkonstruktioner med korroderad armering		
Projektnr. TRV / BBT nr: 2018-011	Projektledare: Karin Lundgren	Huvudsaklig utförarorganisation: Chalmers
Rapporteringsperiod:	Rapport upprättad av:	Datum:
2019-08-01 - 2022-09-30	Karin Lundgren	2022-12-16

Exekutiv sammanfattning

Projektet startade 1 augusti 2019 och avslutades 30 september 2022. Vi har studerat lämpliga reparations- och förstärkningsmetoder för slakarmerade balkar. Arbetet har huvudsakligen utförts inom ett doktorandprojekt (Jincheng Yang, disputerade i mars 2021) och två examensarbeten (Milan Gotame och Carl Lindqvist Franklin under våren 2021, samt Akash Roshan och Omar Darwish under våren 2022).

En försöksserie om tio balkar har utförts, se Yang (2021) och Yang m.fl. (2021). Två balkar fungerade som referensprov: de var oskadade armerade betongbalkar utan förstärkning. De övriga åtta balkarna förbelastades så att de erhöll böjsprickor och exponerades därefter för accelererad korrosion. Två av de skadade balkarna var inte förstärkta, tre var förstärkta med glasfiberkompositlaminat och tre med kolfiberlaminat på balkarnas undersidor. På de sex förstärkta balkarna installerades dessutom omslutande kolfiberlaminat i U-form, lutande i förankringszonerna och vertikala längs spännvidden. Balkarna belastades till brott i fyrpunkts-böjning. Därefter togs armeringen ut och dess lokala korrosionsnivå längs stängerna utvärderades med 3D-skanningsteknik. Korrosionsmönstret varierade längs stängerna med lokal gropkorrosion i närheten av böjsprickorna, på ett liknande sätt som vid naturlig kloridinitierad korrosion i böjspruckna konstruktioner. Gropfrätningarna försämrade balkarnas last- och framförallt deformationsförmåga väsentligt för de korroderade balkarna jämfört med de oskadade. Förstärkningsåtgärderna var effektiva i att förbättra bärförmåga och böjstyvhet, trots genomsnittliga korrosionsnivåer på 20 %, lokala korrosionsnivåer upp till 57 % och upp till 1,9 mm breda korrosionsinducerade sprickor. Deformationsförmågan förbättrades dock inte märkbart.

I ett första examensarbete utfördes icke-linjära finita elementanalyser av de provade balkarna, se Gotame och Lindqvist Franklin (2021) och Gotame m.fl. (2022). En modelleringsmetod som inkluderar effekten av den korrosionsinducerade sprickorna och vidhäftning mellan olika material i 3D-analyser togs fram och validerades genom jämförelser med de provade balkarna. Därigenom kan analyserna beskriva, och vi kan bättre förstå, de komplexa brottmoderna som styr verknings sättet. I ett uppföljande examensarbete användes den utvecklade modelleringsmetoden för att undersöka ytterligare varianter av förstärkningsåtgärder (Darwish och Roshan 2022). Variationer av parametrar studerades, som spännvidd, balkbredd, korrosionsskadornas omfattning och konfiguration av vertikala och lutande omslutande kolfiberlaminat i U-form. Analyserna bekräftade att förstärkningsåtgärder med kolfiberlaminat på balkens dragda sida kombinerad med omslutande kolfiberlaminat i U-form är effektiva, och kan användas för att förbättra bärförmåga och böjstyvhet för varierande geometrier och skador. Lutande omslutande kolfiberlaminat i U-form i förankringszonerna bidrar till betydligt högre kapacitet, medan omslutande kolfiberlaminat i U-form för övriga delar inte hade någon större effekt i

analyserna. Det vore önskvärt att utföra uppföljande provningar för att säkerställa detta resultat experimentellt. Återigen är det dock viktigt att påpeka att balkens deformationsförmåga, som reduceras kraftigt om det finns djupa gropfrätningar på armeringen, inte förbättras i någon av de undersökta förstärkningsåtgärderna.

Vi har kartlagt befintlig litteratur, och konstaterat att det för oskadade konstruktioner finns väl beskrivna råd och normer. Dessutom kommer förstärkning att täckas i den kommande normen Eurocode 2. Däremot saknas råd och normer för reparation och förstärkning av korroderade konstruktioner. Följande punkter är viktiga att beakta:

- Åtgärder som borttagning av betong i förankringsregioner (inklusive skarvregioner) samt utbyte av armeringen kräver avlastning för att bära befintliga laster (som egenvikt och eventuella andra laster) under ombyggnadsfasen.
- Deformationsförmågan reduceras dramatiskt vid djupa gropfrätningar som kan uppstå vid kloridinducerad korrosion. Förmågan att omfördela laster, exempelvis mellan spann i kontinuerliga balkar, försämras därför avsevärt, och risken för sprött brott ökar.

För att kunna ta fram heltäckande råd och normer för reparation och förstärkning av korroderade konstruktioner behövs förbättrad kunskap inom följande områden:

- Metoder för att dimensionera omslutande förstärkningsåtgärder saknas. Till exempel: hur många fiberlaminat i U-form krävs, och vilka dimensioner?
- Metoder för att kartlägga detaljerad information om korrosionsmönster i befintliga konstruktioner saknas.
- Metoder för att återställa deformationsförmågan för konstruktioner med armering skadad av gropfrätningar saknas.

Vi rekommenderar att kommande insatser inom forskning och utveckling inom området fokuserar på dessa angivna områden.

Publikationer inom projektet:

Darwish, O. and Roshan, A. (2022): *FE Analyses of Corrosion-Damaged RC Beams Strengthened with FRP Components*. MSc Thesis, Chalmers University of Technology. <https://odr.chalmers.se/items/95ef2d18-8b56-4f7c-8756-78490f188aa4>

Gotame, M., Franklin, C.L., Blomfors, M., Yang, J., Lundgren, K. (2022): Finite element analyses of FRP-strengthened concrete beams with corroded reinforcement. *Engineering Structures*, Vol. 257, April 2022, Art. No. 114007, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114007>

Gotame M. och Lindqvist Franklin C. (2021): *FE analyses of strengthened concrete beams with corroded reinforcement*. MSc Thesis, Chalmers University of Technology. <https://odr.chalmers.se/items/8d62fcd5-de2f-4628-890a-6a26130ca711>

Lundgren, K. Yang, J. Blanksvärd, T., Blomfors, M., Linghoff, D. (2022): Ta hänsyn till korrosionsskador vid reparation och förstärkning av betongkonstruktioner! *Bygg &*

Teknik 2022:6. <https://byggteknikforlaget.se/ta-hansyn-till-korrosionsskador-vid-reparation-och-forstarkning-av-betongkonstruktioner/>

Yang, J. (2021): *Strengthening reinforced concrete structures with FRP composites*. PhD Thesis, Chalmers University of Technology. <https://research.chalmers.se/publication/522501>

Yang, J, Haghani, R., Blanksvärd, T., Lundgren, K (2021): Experimental study of FRP strengthened concrete beams with corroded reinforcement. *Construction and Building Materials*. Vol. 301, 27 September 2021, 124076, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124076>.

Projektet har presenterats

- Sto Betongdag, Göteborg 18 oktober 2022
- Structural Engineering MSc Seminar, Göteborg 18 juni 2022
- Structural Engineering MSc Seminar, Göteborg 11 juni 2021 (online)
- Disputation Jincheng Yang, Göteborg 26 mars 2021 (online)
- Design- & konstruktionsdagen 16 november 2020, tema: Sustainable Concrete Structures (online)
- Rebetdagen, Stockholm 12 mars 2020 (av Mats Karlsson då Karin Lundgren fick förhinder)
- Ytskyddsdagarna, Göteborg 28 januari 2020

Sökta forskningsanslag med anknytning till projektet

- Flera ansökningar för medfinansiering gjordes innan projektet startades, till SBUF och InfraSweden. De har dock avslagits.
- Under projektiden har en ansökan om medfinansiering skickats in till Åforsk i mars 2020: Reparation och förstärkning av betongkonstruktioner med korroderad armering, Karin Lundgren, 1 857 kkr. Avslag.

Forskarstuderande inom projektet

- Jincheng Yang, tog doktorsexamen 26 mars 2021

Händelser/resultat i projektet som kan ge feedback till framtida forskning.

- De främsta behoven för framtida forskning listas i slutet av den exekutiva sammanfattningen.

Implementering av resultaten

- Försöks- och analysresultaten bidrar, tillsammans med övrig forskning inom området som är starkt växande internationellt, till en utökad kunskapsbank som på sikt kan ge standarder inom området.
- Vi har följt den implementeringsplan vi hade i ansökan, med ett flertal presentationer och populärvetenskaplig publicering i Bygg&Teknik som sammanfattar de viktigaste resultaten i projektet.

Ekonomisk rapport

Förbrukade medel, se specifikation nedan: 4 039 083 kr

Utbetald kontantfinansiering
från samtliga finansiärer:

TRV 2 381 000 kr

Chalmers 963 700 kr

Totalt utbetald kontantfinansiering 3 344 700 kr

Upparbetad in-kind finansiering
från samtliga medfinansiärer*:

694 383kr

Specifikation över förbrukade medel

	Kostnader [kr]	In-kind kostnader, förutom Chalmers del [kr]	Totala kostnader [kr]
Personalkostnader	2 127 794	436 000	
Lokaler	233 769		
Utrustning	8 278		
Konsultkostnader, licenser mm.	136 701		
Övriga direkta kostnader inkl. resor	46 618	70 000	
Indirekta kostnader	979 923		
Summa	3 533 083	506 000	4 039 083

* I den ekonomiska rapporten 2022-06 var Chalmers medfinansiering upptagen som in-kind. Här är den uppdelad så att insatta Fofu-medel i projektet står som medfinansiering (963 700 kr), och negativt resultat på projektet på Chalmers (188 383 kr) står som in-kind-finansiering.