

# Bärighetsutredning av betongbroar med rostande armering

Två av broarna längs Essingeleden i Stockholm har systematiska skador i form av spjälksprickor och bortspjälkat täckskikt vid gjutfogar, där en stor mängd armering är skarvad. Med tanke på dessa skador kunde inte tillräcklig bärförmåga påvisas med konventionella metoder. På Chalmers har man under ett flertal år forskat kring metoder för att kunna beräkna bärförmåga för betongkonstruktioner med rostande armering. En nyutvecklad modell tillämpades på de aktuella broarna. Modellen visade sig vara lättanvänd i praktiskt konstruktörsarbete. Arbetet är ett bra exempel på vilken potential det finns i att med förbättrade beräkningsmodeller kunna påvisa tillräcklig bärförmåga, och därigenom kunna undvika dyra förstärkningsåtgärder.

I takt med att vår byggda miljö blir allt äldre, uppkommer frågor om hur man kan säkerställa åldrade konstruktioners bärförmåga. Sveriges broar har en medelålder om 40 år, och en hel del har beständighetsproblem. Den vanligaste skadeorsaken är rostande armering. Möjligheten att kunna bedöma och beräkna bärförmåga för betongkonstruktioner med rostande armering har studerats i ett antal projekt vid Betongbyggnad, Chalmers tekniska högskola. Framförallt har korrosionens effekt på förmågan att förankra armeringen studerats. Eftersom korrosionsproduk-

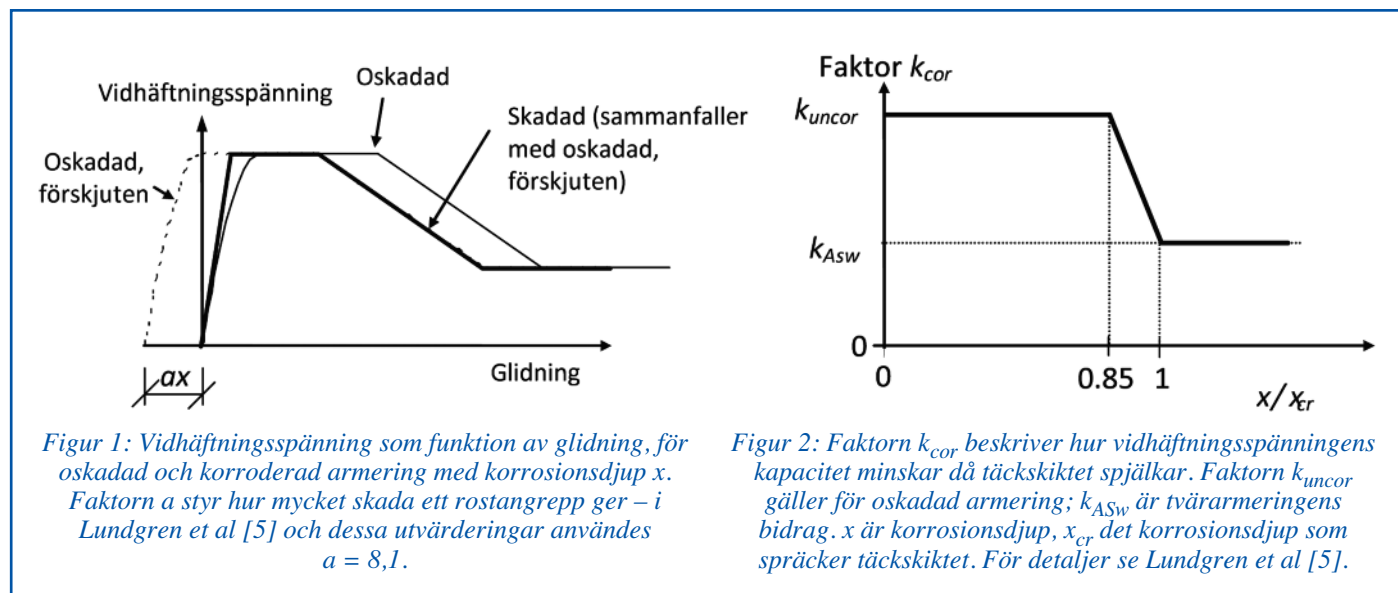
ter upptar större volym än det stål den bildades av, orsakar korrosion spjälkande krafter, vilket kan leda till sprickor, och i ett längre förlopp till bortspjälkade täckskikt. Detta påverkar förmågan att överföra krafter mellan armering och betong, vilket i sin tur kan påverka konstruktionens bärförmåga om armeringen korroderar i förankringsområden som till exempel skarvar eller ändförankringar. För att bedöma återstående bärförmåga av skadade befintliga konstruktioner, behövs därför modeller för att uppskatta den återstående vidhäftningen och förankringskapaciteten. Vid Chalmers har en modell som beskriver rostens svällande egenskaper och dess effekt på vidhäftningen utvecklats, *Lundgren* [1, 2]. I *Zandi Hanjari* [3] inkluderas även effekten av att korrosionsprodukterna kan tränga ut genom sprickor, vilket minskar den spjälkande effekten. Modellen används i detaljerade tredimensionella finita elementanalyser, där betongens uppsprickning beskrivs med ickelinjär brottmekanik, och har främst kalibrerats mot accelererade laboratorieförsök. Nya försöksresultat indikerar att förankringskapaciteten reduceras mindre för armering som är naturligt korroderad, se *Tahershamsi* [4], – därmed torde det vara på säkra sidan att tillämpa metoder som verifierats för accelererad korrosion på verkliga konstruktioner.

## Förenklad modell för vidhäftning

Som nämnts har en modell avsedd att användas i detaljerade tredimensionella analyser utvecklats. Detta sätt att modellera rostens volymökning och betongens uppsprickning är väsentlig för forskningen, då den lett till en betydligt bättre förstå-



else för inblandade fenomen. Vid praktisk tillämpning finns dock behov av en förenklad metod. Baserat på den kunskap som vunnits genom mer detaljerade analyser, föreslogs i *Lundgren et al* [5] hur vidhäftningsmodellen i CEB-FIP Model Code 1990, *CEB* [6], kan kompletteras för att även kunna beskriva korroderad armering – förslaget valideras även vidare i *Zandi* [7]. Enkelt uttryckt antas ett rostangrepp ge samma skada som en påtvingad glidning mellan armering och betong, med en faktor  $a$  mellan korrosionsdjup och glidning, se *figur 1*. Dessutom



tas särskild hänsyn till den minskning av vidhäftningen som uppkommer då täcksiktet spjälkar – därefter beror kapaciteten på mängden tvärarmering, se *figur 2*. Dessa båda antaganden ger ett vidhäftning-glidningssamband för ett givet korrosionsdjup. I en enkel Matlab-rutin integreras detta vidhäftnings-glidningssamband till kraft-ändglidning för varierande ingjutningslängder. Den ingjutningslängd som precis klarar att förankra flytkraften benämns förankringslängd.

### Tillämpning på befintliga broar

Den beskrivna förenklade modellen tillämpades i utvärderingar av Gröndals- och Blommenbergsviadukternas bärförmåga. Det är två av broarna längs Essingeleden i Stockholm, byggda på 1960-talet, se *figur 3*. Broarna byggdes etappvis där den första etappen bestod av pelare, tvärbalk och del av överbyggnad enligt *figur 4*. Resterande del av överbyggnaden göts med hjälp av en rörlig upphängd form. Detta medför att det finns en gjutfog vid respektive huvudbalk på ömse sidor om varje pelarrad. Som framgår av *figur 4* innebär det valda byggsättet att en stor

mängd armering skarvas vid varje gjutfog. Utförda inspektioner visar att ett flertal huvudbalkar har skador invid gjutfogarna. Skadorna kan i huvudsak uppdelas i två kategorier. Den ena består av spjälkad betong med frilagd armering och beror sannolikt på ett otillräckligt täckande betongskikt, se exempel i *figur 5*. Den andra huvudsakliga skadetyper består av en spricka parallell med den längsgående armeringen. Denna spricka beror sannolikt på ett undermåligt arbetsutförande i kombination med ett förankringsbrott i det undre armeringslagret på grund av för tätt placerad armering.

I en första utvärdering, utförd av Ramböll, kunde tillräcklig kapacitet påvisas om konstruktionerna antogs vara oskadade. Men med tanke på de synliga dokumenterade skadorna ansågs det vara ett orimligt antagande. Eftersom de dokumenterade skadorna är belägna nära momentnollpunkterna undersökte man om det möjligen skulle vara tillräckligt med ett förenklat antagande om att förankringskapacitet helt saknades i de skadade områdena – men då kunde inte tillräcklig bärförmåga påvisas. Följaktligen behövdes

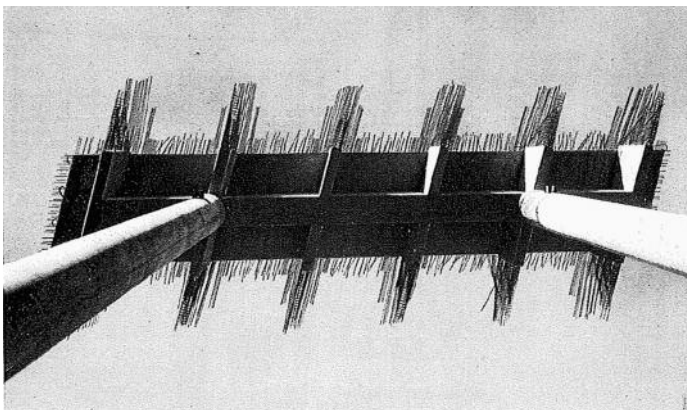
en noggrannare undersökning av förankringsförmågan i de skadade områdena. Denna noggrannare undersökning utfördes av Ramböll och Chalmers i samarbete, se *Nilsson & Lundgren* [8, 9].

Det bör påpekas att för andra skadade konstruktioner kan armeringskorrosion påverka bärförmågan även på andra sätt. Om korrosion med täcksiktsspjälkning sker på trycksidan bör effekten på den inre hävarmen vid beräkning av momentkapaciteten inkluderas – i detta fall var skadorna på täcksiktet på dragsidan och påverkar därför inte den inre hävarmen. Rostande dragarmering påverkar förstas också momentkapaciteten i och med att dragarmeringsarean minskar – men i dessa broar bedömdes inte huvudarmeringen ha börjat rosta ännu, utan enbart de utanpåliggande byglarna. Av dessa anledningar var förankringen i fokus vid utvärdering av bärförmåga för dessa broar. Den förenklade modellen från *Lundgren et al* [5] tillämpades, med följande grundläggande antaganden:

- Dimensionerande värden på hållfasthet enligt ritningar och Vägverkets publikation MB 802 [10] användes för både armering och betong.
- Eftersom modellen är baserad på vidhäftningsmodellen i CEB-FIP Model Code 1990, *CEB* [6], måste ett antagande om vidhäftningsförhållanden göras. Den antogs vara "all other bond conditions", vilket innebär cirka hälften av kapaciteten jämfört med "goda" förhållanden.
- Tvärarmeringen antogs ha rostet så att dess diameter minskat från 10 till 9 mm. Detta kan antas vara konservativt, då korrosion skett på undersidan av bron och är en följd av karbonatisering, ej klorider.
- Täckande betongskiktet till byglar i underkant balk antogs vara helt avspjälkad inom armeringsskarven.
- På säkra sidan antogs skadorna ha påverkat förankringen så att den är som sämst under konstruktionens livslängd. Förankringslängden (den ingjutningslängd som precis klarar att förankra flytkraften) beräknades för varierande korrosionsdjup på huvudarmeringen, se *figur 6*. Trots att huvudarmeringen alltså inte antogs ha börjat korrodera ännu, valdes



*Figur 3: Blommenbergsviadukten.*

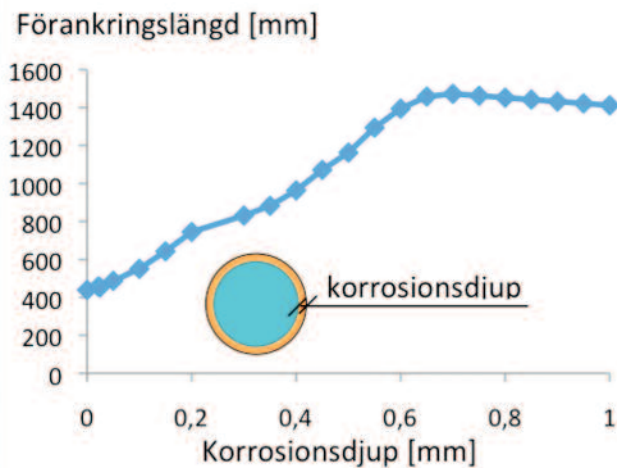
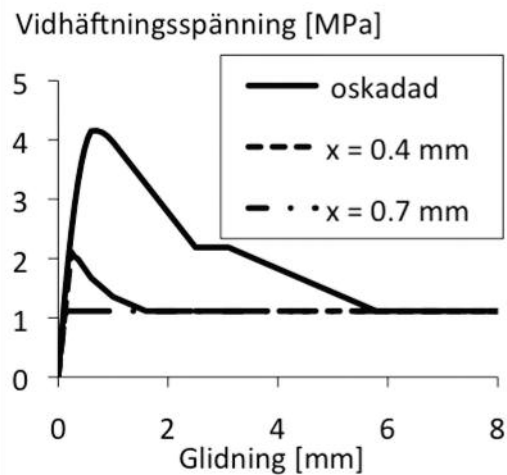


*Figur 4: Bild från byggtiden som visar första gjutetappen och den mängd armering som ska skarvas till nästa etapp.*



*Figur 5: Exempel på en skada med bortspjälkat täcksikt, Blommenbergsviadukten.*





Figur 6: Vänster: Vidhäftningsspänning som funktion av glidning för några olika korrosionsdjup  $x$ . Höger: Förankringslängd som funktion av huvudarmeringens korrosionsdjup, resultat från numerisk lösning av endimensionell differentialekvation för vidhäftning-glidning längs en stång, med vidhäftningsspänning-glidning till höger som indata.

maximal förankringslängd under livslängden – i figur 6 motsvarar det 1472 mm.

● Förankringen antogs vara skadad endast i de understa en-två armeringslagren, då det är där armeringen är tätt placerad.

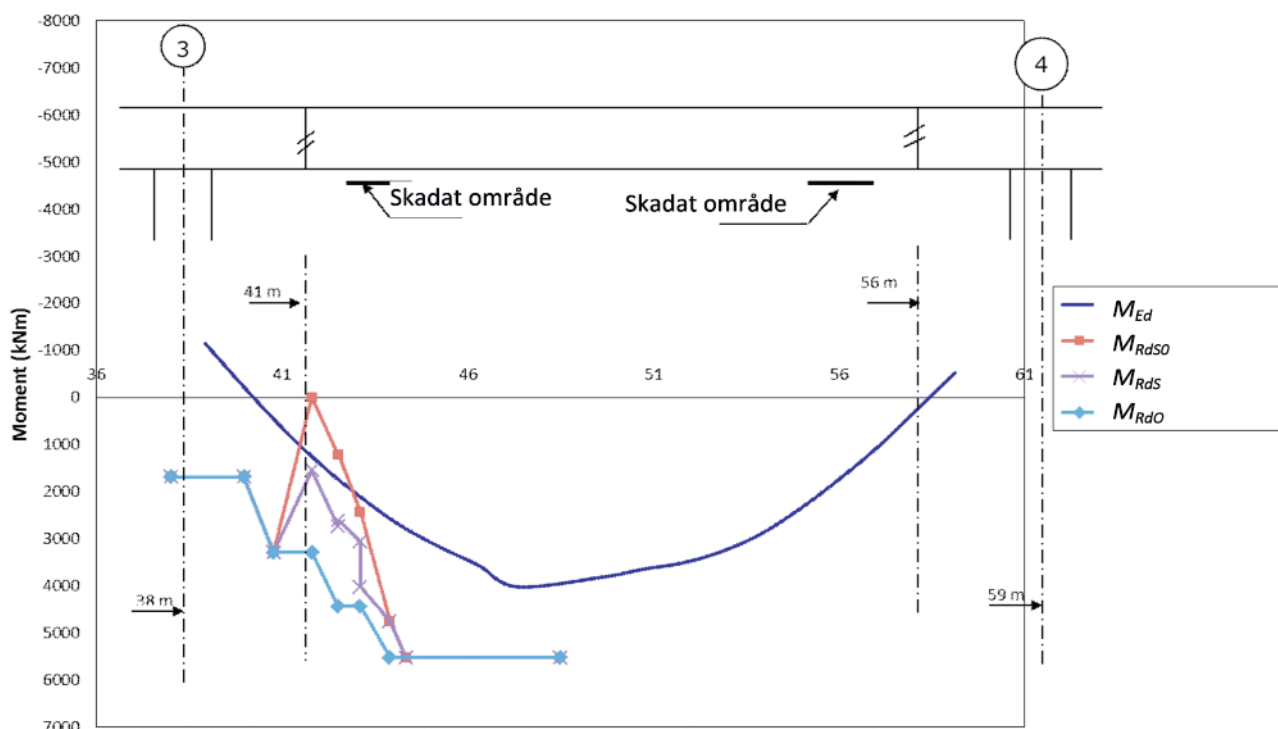
Förankringslängden användes för att beräkna armeringens dragkraftskapacitet inom skarvområdet – linjär spänningsökning antogs. Effekten på strukturnivå exemplifieras i figur 7, där böjmoment i en balk i ett spann av Gröndalsviadukten visas. Som synes kunde kapaciteten i detta exempel visas vara tillräcklig i den mer

detaljerade undersökningen. Så var fallet även för alla andra balkar i alla spann förutom ett. Det överskridandet var litet och ansågs kunna försummas om inga skador finns på just de balkarna, vilket alltså bör kontrolleras. Slutsatsen av den mer detaljerade utvärderingen blev alltså att båda broarna bedömdes ha tillräcklig bärighet, men att en ny, mer detaljerad skadekartering bör utföras invid samtliga gjutfogar, där bland annat skadornas placering i förhållande till armeringsskarvarna i längsled och i höjdlid bör mätas in. Med allra

största sannolikhet kan därmed dyra förstärkningsåtgärder undvikas. Istället för att förstärka broarna till en beräknad kostnad om 46 miljoner kronor, beräknar nu Trafikverket att underhåll kommer kosta 19 miljoner kronor. Denna utredning, som kostade 0,2 miljoner kronor, har alltså gett en beräknad besparing om 27 miljoner kronor.

#### Slutsatser och framtidsutsikter

Genom forskning finns nu tillräcklig kunskap för att kunna beräkna bärförmå-



Figur 7: Böjmoment i ytterbalk, fack 3 i Gröndalsviadukten.

$M_{Ed}$ : Dimensionerande moment, inkluderande krafttillskott av sneda sprickor.

$M_{RdSO}$ : Beräknad momentkapacitet, utan vidhäftning i skadade zoner.

$M_{RdS}$ : Beräknad momentkapacitet, med vidhäftning i skadade zoner enligt förenklad modell.

$M_{RdO}$ : Beräknad momentkapacitet, oskadad konstruktion.

ga för betongkonstruktioner med rostskadad armering. En utvecklad modell visade sig vara mycket användbar i praktiskt ingenjörarbete. Tillämpning på två broar har visat potential att med dess hjälp kunna påvisa tillräcklig bärförmåga, och därigenom kunna undvika dyra förstärkningsåtgärder – bara för de två studerade broarna beräknas besparingen till 27 miljoner kronor. För just dessa broar kommer en mer detaljerad skadekartering att utföras, där detaljer som visat sig vara kritiska i denna utvärdering kommer studeras.

Ett problem vid utvärdering av befintliga konstruktioner är dock att kunna bedöma korrosionsdjup. Vid utvärderingen av de broar som presenteras här har därför det mycket konservativa antagandet gjorts att förankringslängden är den längsta som beräknas uppträda under konstruktionens livslängd – för ännu större rostangrepp kommer istället avslitning av armeringen att bli avgörande. För just dessa broar kunde tillräcklig kapacitet påvisas trots detta konservativa antagande. För andra fall, och framför allt för andra brottmoder såsom moment- och tvärkraftsbrott med armeringsmängden som begränsande faktor, behöver korrosionsdjupet uppskattas. Mätmetoder för korrosionshastighet finns, men de måste kombineras med antaganden om hur länge korrosionen har pågått för att

man ska kunna uppskatta korrosionsdjup, och då uppmätt korrosionshastighet typiskt varierar mycket över tid blir resultaten osäkra. I ett pågående forskningsprojekt [11] kommer det verkliga korrosionsdjupet att mätas i ett relativt stort antal provkroppar, och resultaten kommer att korreleras till synliga skador i form av sprickmönster och sprickvidder. Därigenom hoppas vi kunna ta fram metoder för att korrelera synliga skador med effekt på bärförmåga. ■

## Referenser

- [1]. Lundgren, K. *Modelling the effect of corrosion on bond in reinforced concrete*. Magazine of Concrete Research, 2002. 54(3): p. 165–173.
- [2]. Lundgren, K. *Effect of corrosion on the bond between steel and concrete: An overview*. Magazine of Concrete Research, 2007. 59(6): p. 447–461.
- [3]. Zandi Hanjari, K. *Structural Behaviour of Deteriorated Concrete Structures*, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 2010.
- [4]. Tahershamsi, M. *Anchorage of Corroded Reinforcement in Existing Concrete Structures: Experimental Study*, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, 2013.
- [5]. Lundgren, K., Kettil, P., Zandi Hanjari, K., Schlune, H. & Soto San Ro-

man A. *Analytical model for the bond-slip behaviour of corroded ribbed reinforcement*. Structure and Infrastructure Engineering, 2012. 8(2): p. 157-169.

[6]. CEB. *CEB-FIP Model Code 1990*. 1993, Lausanne, Switzerland: Bulletin d'Information 213/214. 437.

[7]. Zandi, K. *Corrosion-Induced Cover Spalling and Anchorage Capacity*. Accepterad för publicering i Structure and Infrastructure Engineering, 2014.

[8]. Nilsson, U. & Lundgren, K. *Gröndalsviadukten, 2-2034-1. Kompletterande bärighetsutredning med avseende på kontroll av kapacitet i gjutfogar baserat på beräkningsmodell utvecklad av Chalmers tekniska högskola*. Ramböll, Stockholm 2014.

[9]. Nilsson, U. & Lundgren, K. *Blommenbergsviadukten, 2-2033-1. Kompletterande bärighetsutredning med avseende på kontroll av kapacitet i gjutfogar baserat på beräkningsmodell utvecklad av Chalmers tekniska högskola*. Ramböll, Stockholm 2014.

[10]. *Vägverkets publikation 2009:61: MB 802 Bärighetsutredning av byggnadsverk*; ISSN 1401-9612.

[11]. <http://www.chalmers.se/sv/institutioner/cee/forskning/Sidor/forskningsprojekt.aspx>. Projektet Att koppla visuell inspektion till respons och bärförmåga hos naturligt korroderade armerade betongkonstruktioner.