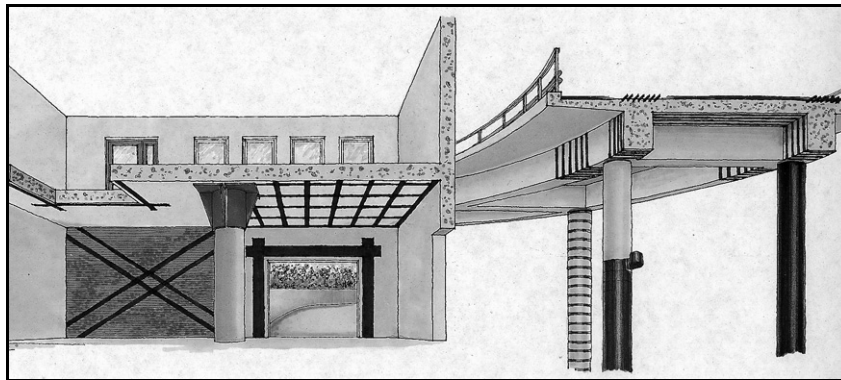


Förstärkning av betongplattor, med och utan öppningar

Ola Enochsson¹, Björn Täljsten^{1,2}, Thomas Olofsson¹ och Ove Lagerqvist³

Bakgrund

Utvecklingen av kolfiberbaserade produkter för reparation och förstärkning av betongkonstruktioner har möjliggjort nya intressanta lösningar vid reparation, ombyggnad och tillbyggnad av anläggningar och byggnader (ROT), se figur 1.



Figur 1. Exempel på användningsområden för kolfiber i ROT projekt, Täljsten (1998).

Användningen av kolfiber för att förstärka befintliga väggar och bjälklag av betong vid bl.a. håltagning har blivit ökad både i Sverige och utomlands. Orsaken är att förstärkningsmetoden är yteffektiv dvs. den påverkar inte den närmaste omgivningen i form av ett yttre bärverk som kan hindra verksamheten i byggnaden. Vid håltagningen appliceras/limmas kolfiberväven eller plattorna på den befintliga betongkonstruktionen innan man tar upp hålet, se figur 2.



Figur 2. Förstärkning av ett betongbjälklag med kolfiberväv runt öppningen innan en ny öppning görs för ett ventilationsschakt. Foto Björn Täljsten 2002.

¹ Luleå tekniska universitet

² Danmarks Tekniska Universitet, (tidigare vid Skanska Teknik)

³ Skanska Teknik

Metoden är också relativt enkel att utföra. Installationskostnaderna är ofta lägre i jämförelse med andra mer traditionella förstärkningsmetoder, speciellt i utrymmen med begränsad höjd.

Syfte och avgränsningar

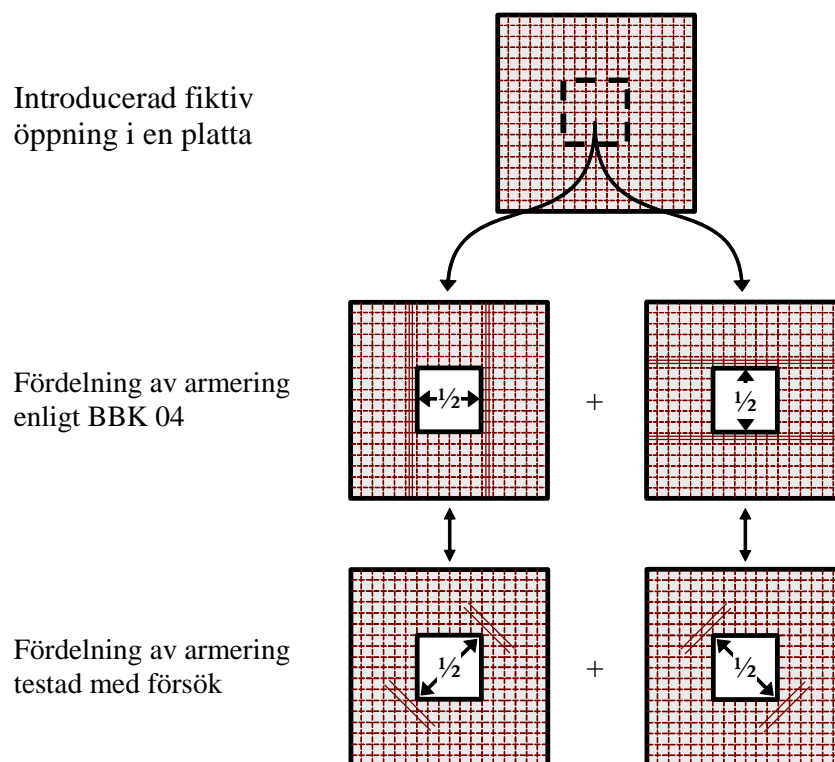
Projektet avsåg att bygga upp kunskap, samt att utveckla tekniskt och kostnadseffektiva reparations- och förstärkningsmetoder för befintliga betongkonstruktioner.

Visst fokus har lagts på kolfiberförstärkning av plattbjälklag i betong med introducerade öppningar.

Syftet har inte varit att utveckla nya material eller system för reparation och förstärkning, utan fokus har legat på förståelse av hur en konstruktion uppför sig efter håltagning, samt hur dess bärförmåga bäst kan återställas.

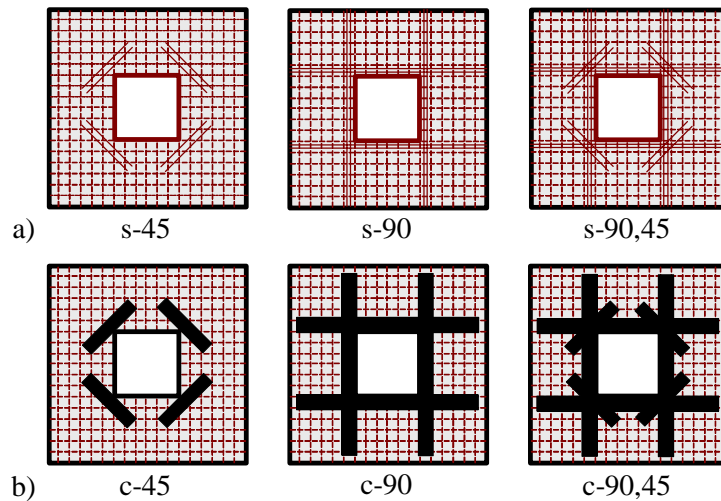
Genomförande

Kolfiber används idag för förstärkning av betongplattor speciellt vid håltagningar i många projekt både i Sverige och utomlands, trots att relativt få studier genomförts för att utröna verknings sättet av betongplattor med hål förstärkta med kolfiber runt öppningen. Mängden kolfiber bestäms ofta genom att konvertera den erforderliga mängden stålarmering som är baserad på existerande normer, till exempel BBK04. Figur 3 visar den föreslagna designen av BBK04 och en alternativ design där den ”borttagna” armeringen fördelats till hörnen istället .



Figur 3. Empirisk dimensioneringsmetod enligt BBK 04 för betongplattor med hål. Den nedre figuren visar en alternativ placering där armeringen fördelas i 45 graders vinkel vid hörnen.

I det aktuella projektet har ett antal betongplattor med två olika hålstorlekar förstärkt med konventionell armering och med kolfiberväv testat till brott med jämt utbredd last, se figur 4.



Figur 4. a) Konventionellt armerade betongplattor (BBK04) där förstärkning fördelats till hörn (s-45), längs hålkant (s-90) samt både till hörn och längs hålkant (s-90-45). b) Ekvivalent mängd kolfiberförstärkning fördelat längs hörn (c-45), hålkanter (c-90) samt både hörn och hålkant (c-90, 45).

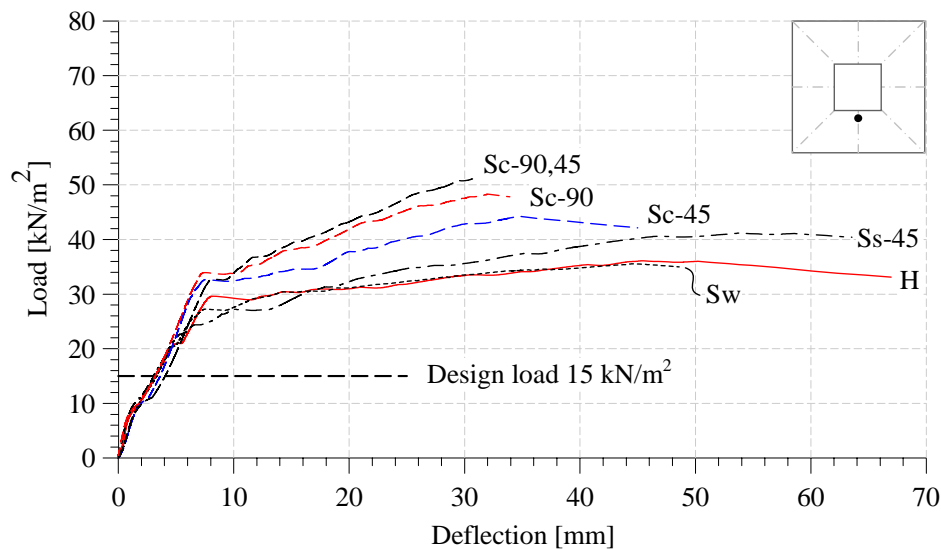
Mängden ekvivalent kolfiberarea (A_f) kan beräknas från formeln:

$$A_f = \frac{E_{s2}}{E_f} \left(\frac{h-u-x}{h-x} \right)^2 A_{s2}$$

Där E_{s2} , A_{s2} och u är E-modulen, arean samt avståndet från underkant platta till den konventionella armeringen som skall ersättas av kolfiber. E_f är kolfiberarmeringens E-modul, h plattans höjd och är x avståndet från plattans överkant till det neutrala lagret.

Resultat

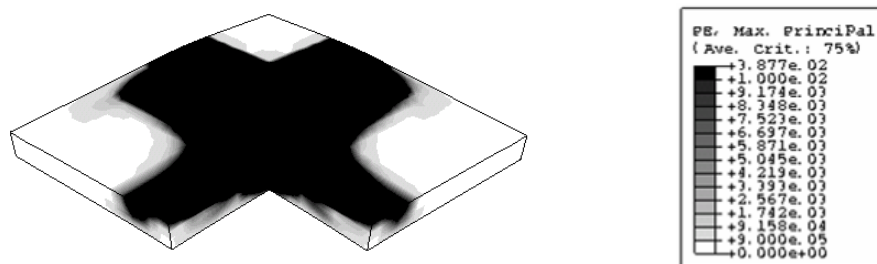
Figur 5 visar resultaten från testerna på den mindre hålstorleken. Alla försök visar att man uppnår en lika god eller bättre förstärkningseffekt med kolfiberarmering (Sc-45, Sc-90 samt Sc-90,45) jämfört med den armerade plattan (Ss-45). Som referens finns också tester inlagda på en platta utan hål (H) och en platta med hål utan förstärkning (Sw)



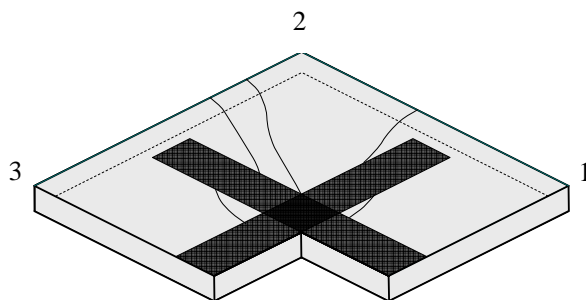
Figur 5. Resultat från tester på förstärka och oförstärka plattor med kolfiber och konventionell armering, litet hål.

Plattorna med kolfiberarmering uppvisar ett något sprödare beteende. Det slutliga brottet i plattorna kom när kolfibern gick av.

Numeriska beräkningar har också genomförts och visat god överensstämmelse med testerna se figur 6 och 7.



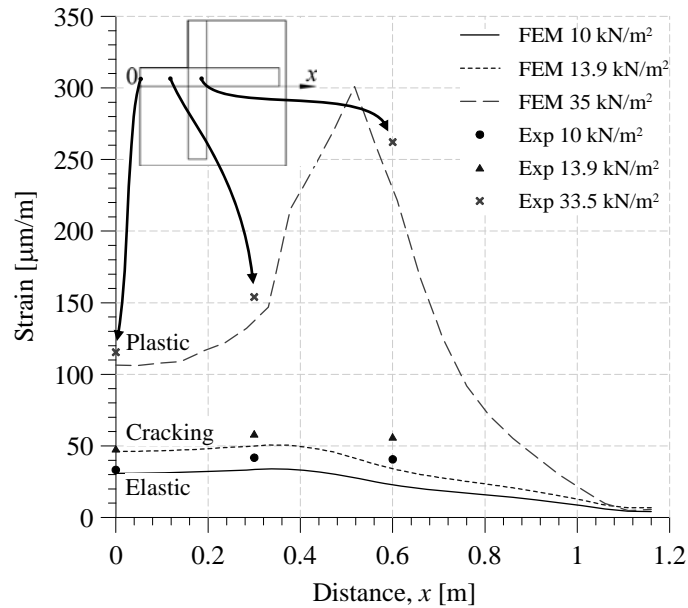
a) Final load step 58,6 kN/m², FE analysis



b) Failure load 48,3 kN/m², Experiment

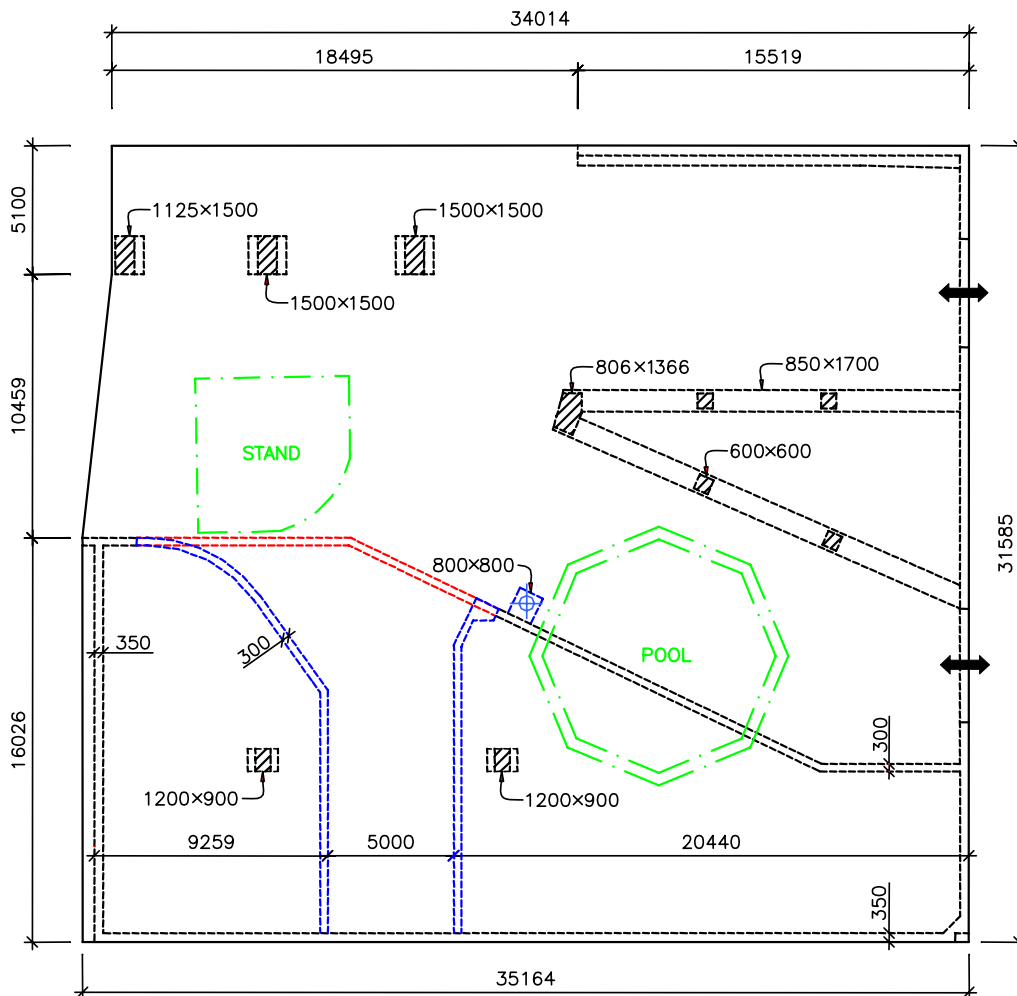
Figur 6. Jämförelse sprickfördelning i FEM analys och experiment för kolfiberförstärkt platta. Endast en 1/4 av plattan är medtagen i analysen p.g.a. symmetri.

Figur 7 visar den uppmätta töjningsfördelningen i kolfiberarmeringen jämfört med den numeriska analysen vid olika laststeg.

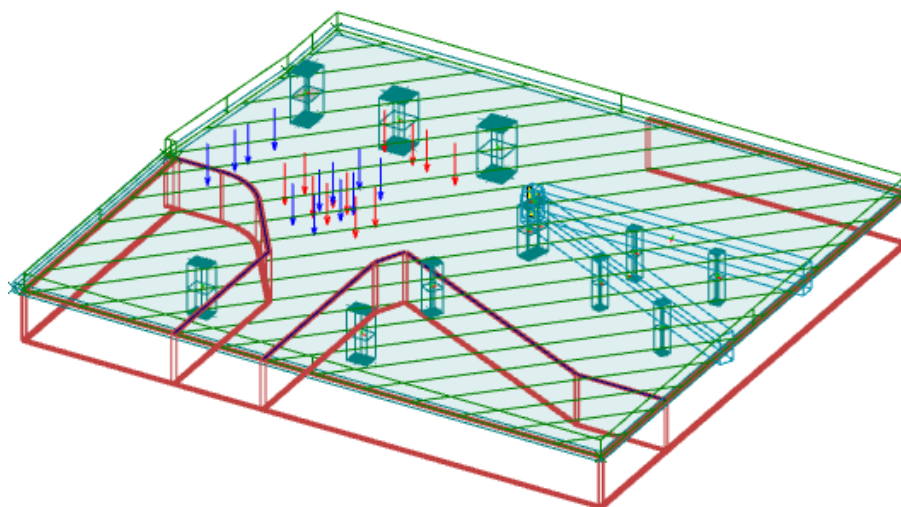


Figur 7. Uppmätt och beräknad töjning kolfiberförstärkningen vid olika laster.

Slutligen har förstärkningsbehovet av ett gårdsbjälklag i ett ombyggnadsprojekt i Vällingby studerats för att ta fram praktiska anvisningar för beräkning av kolfibermängder och placering i kritiska områden, se figur 8 och 9.



Figur 8. Ombyggnation av ett gårdsbjälklag i Vällingby. Dom blå väggarna skall ersätta den röda väggen.

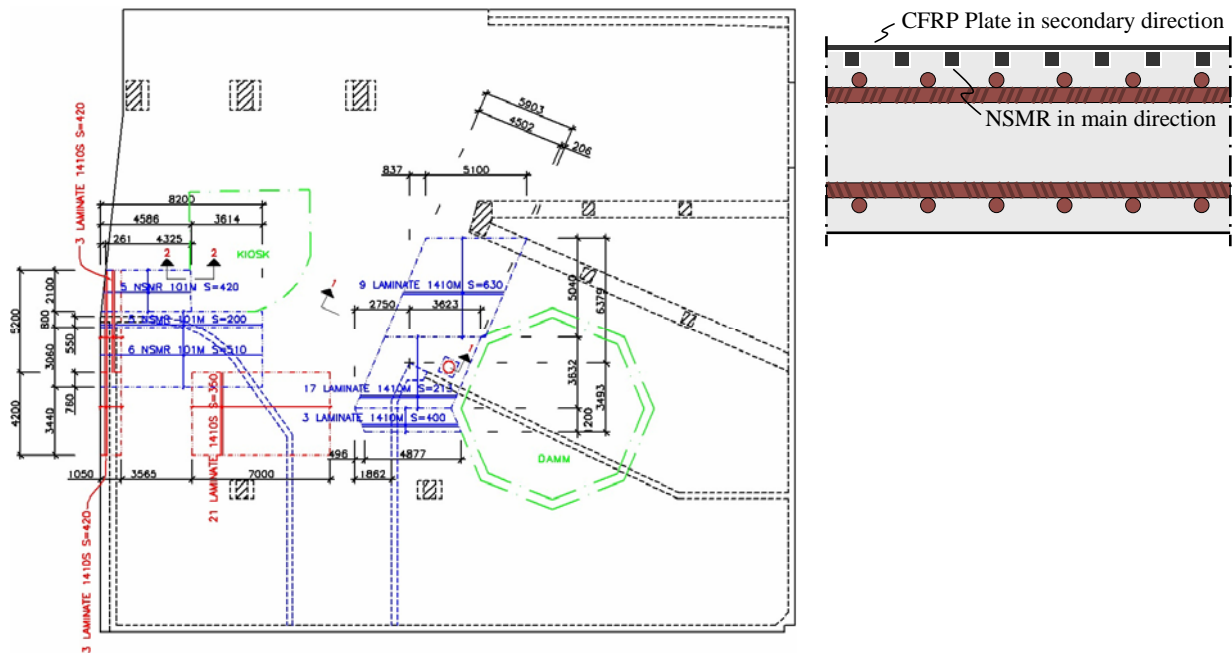


Figur 9. En 3D vy från beräkningsprogrammet FEM design som visar laster och randvillkor på gårdsbjälklaget efter ombyggnation.

Dimensioneringen har gjorts linjärelastisk analys m.h.a. FEM design följande steg:

1. Beräkning av erforderlig armering i bjälklaget före ombyggnation (moment och stansning)
2. Jämförelse med befintlig armering för bestämning av områden med över- och underkapaciter
3. Beräkning av armeringsbehov p.g.a. ombyggnation (moment och stansning)
4. Beräkning av den ekvivalenta mängden kolfiberarmering från behovet av konventionell armering

Figur 10 visar förstärkningsförslaget för gårdsbjälklaget där kolfiberplattor valdes i y riktningen (CFRP plate visat med rött) och s.k. NSMR stänger i x riktningen (blå).



Figur 10. Förstärkningsförslag för gårdsbjälklaget i Vällingby

Den slutliga utformningen av förstärkningen blev förändrad då det visade sig att överytan var för dålig för att kunna applicera s.k. NSMR armering.

SBUF projektet har bedrivits vid avdelningen för Byggnadskonstruktion vid Luleå tekniska universitet under tiden 2003 - 2005 där Skanska varit byggindustrins representant i projektet.

Projektet finns sammanställt i en licentiatavhandling av Ola Enochsson, "CFRP Strengthening of Concrete Slabs, with and without Openings - Experiment, Analysis, Design and Field Application", Licentiate thesis 2005:87 vid Luleå tekniska universitet, <http://epubl.ltu.se/1402-1757/2005/87/index.html>.

Slutsatser

Projektet har visat att kolfiberförstärkning med fördel kan användas istället för konventionell armering vid förstärkning av betongplattor både med och utan öppningar, om tillräcklig förankringslängd och vidhäftning kan försäkras.

Speciellt kan noteras:

- Det traditionella sättet att förstärka hål ger högre lastkapacitet i kN/m² jämfört med en platta utan hål.
- Den förenklade metoden att beräkna mängden kolfiber som tagits fram i projektet är på den säkra sidan.
- Den numeriska analysen visar bra överensstämmelse med försöken.
- Design av kolfiberförstärkta plattor bör ske med en linjärelastisk metod (t.ex med Finita Element metoden) eftersom kolfibern är linjärelastisk upp till brott.
- Kolfiber bör förankras på ett sådant sätt att förankringsbrott undviks.

Rekommendationer för dimensionering av förankringslängder och metoder för säker förankring (i böjzon) av kolfiberarmering vid förstärkning av betongplattor bör tas fram. Storleksberoendet mellan en öppning och omgivande platta bör undersökas närmare. Finita element modellen som tagits fram i projektet lämpar sig väl för det sistnämnda. Kolfiberarmeringens bidrag till stanskapaciteten bör också undersökas mer.