

Verkningsätt hos och dimensionering av pålunderstödda industrigolv av fiberbetong - avslutning av doktorandprojekt

Ärende: 12566

Jerry Hedebratt¹ & Johan Silfwerbrand²

Sammanfattning

Fiberbetong används ofta i industrigolv, både för plattor på mark och pålunderstödda golv. Forskningen har dock främst handlat om plattor på mark. Några försök har genomförts med pelarstödda fiberbetongplattor för att simulera pålunderstödda golv men dessa har enbart fokuserat mot korttidslast. De har dessutom varit knapphändigt redovisade i litteraturen. För att utnyttja fiberbetong i pålunderstödda betonggolv krävs därför gedigna försök. Denna avhandling behandlar korttids- och långtidsförsök i fullskala (hälften av ett normalbelastat industrigolv i avseende på tjockleken) där ett pålunderstött golv har simulerats av ett pelardäck gjutet av stålfiberbetong. Försöken visar att lösningen med stålfiberbetong fungerar väl i plattor för industrigolv. Dels ger det möjlighet till produktionsmässigt överlägsna utläggningsmetoder som potentiellt kan gynna miljön med minskad armeringsmängd, dels medför SFC ett segt brottbeteende för laster långt större än det normala i brottstadiet, och vidare så medför stålfiberbetongen ett styvare beteende med möjlighet att utföra plattor med liten krypdeformation. Dessutom har visats, både när det gäller korttidslast (brottstadiet) och långtidslast (bruksstadiet) att man kan lita på bärförmågan och det sega brottbeteendet hos fiberbetong. Slutligen visas att man kan påverka båda stadierna genom att variera stålfiberbetongen och armeringsinnehållet. Detta gäller för en verkligt bärande konstruktion, det pålunderstödda industrigolvet, och det på ett tryggt sätt.

Bakgrund

Skador på golv kostar användare och ägare till industrigolv årligen stora belopp. Pengar som under ett golvs livslängd sammantaget skulle kunna räcka till en nyinvestering av ett golv, kan istället förbrukas vid reparationer och utebliven produktion. De flesta skador är onödiga och går att undvika med en serie rätta val. Skador kan påverka funktionen, beständigheten vid användning av golvet, utseendet hos golvet samt människors hälsa. De funktionsnedsättande skadorna innebär att golvet får försämrade eller utebliven förmåga att upprätthålla brukarens krav på funktion. Med beständighetsnedsättande skador kommer golvet att förbrukas snabbare än man har tänkt sig och underhållskostnaderna blir ofta dyrare än planerat. Golvet utseende har i många fall en underordnad betydelse men kan i mer prestigefulla objekt – såsom t.ex. i hallar för försäljning av bilar eller andra dyra varor – inverka menligt på försäljningen eller trivseln hos dem som vistas i lokalen. Vissa skador kan leda till emissioner och radontransport som gör att hälsan kan försämrats för dem som vistas i lokalen.

Otillräcklig bärförmåga erhålls vid val av för små tvärsnittsdimensioner och för lite armeringsinnehåll i t.ex. pålunderstödda betongplattor. Pålunderstödda golv har ofta dimensionerats enbart i brottgränstillståndet och då främst för utbredd belastning. Utredningen av bruksgränstillståndet

¹ TeknD & chefskonstruktör vid Byggnadstekniska byrån i Stockholm, tidigare Tyréns och under avhandlingsarbetet CBI Betonginstitutet & KTH

² VD för CBI Betonginstitutet och professor i brobyggnad vid KTH

har varit av enklare karaktär, även enligt gällande normer. Oftast har man använt minimiarmering med antagandet att full friktion råder till underlaget, utan undersökning; vilket genom den svenska normen har än mer reducerat inläggning av sprickarmeringen. Sprickvidderna har man inte kontrollerat, förrän sprickorna de facto har uppstått. För pålunderstödda golv finns markstödet kvar, åtminstone för en tid, efter gjutningen. Allteftersom marken sätter sig, då avvattning alltid sker, via dränering och taktäckning som utestänger nederbörden att nå marken, blir plattan ofta helt fribärande mellan pålarna. Minimiarmeringen baseras på antagandet att enbart det övre skiktet behöver armeras på grund av uttorkningskrympning – trots att hela golvets sektion på sikt erhåller samma fuktprofil och lika stor slutkrympning. Man utesluter ofta inverkan av krypning, temperatur, påverkan av yttre last och lokalt varierande tvång i beräkningar i bruksstadiet. Forskningen inom verkningssätt i bruksstadiet har varit blygsam, trots att det är de problemen som ofta drabbar entreprenör, kunden och slutligen användaren av golvet.

Det har i avhandlingen konstaterats att krympningen för den betong som används i industrigolv är stor, 0,9-1,1 %, och att problemen främst härrör till sprickor och problem med fogar och ojämnheter i golvet. Den integrerade metoden för projektering och produktion av industrigolv (Hedebratt, 2004) är en väg till lösningen, men kräver att alla ställer upp på att samarbeta till 100 %. Dessutom krävs att man väljer rätt material till rätt konstruktion och till rätt utförandemetod. Vill man spara så blir det ofta på material som medför minskat armeringsinnehåll och minskad betongtjocklek. Detta är en felaktig väg som till sist drabbar kunden ekonomiskt. Ett sätt att lösa detta har varit att gjuta golven av stålfiberbetong, från början ofta lite tjockare och med moderat stålfiberinnehåll och kompletterande armering, jämfört med dagens utförande. Konkurrensen från utlandet har dock skapat lösningar med tunnare plattor, minskad mängd fibrer och mindre eller utesluten traditionell armering och ogiltiga dimensioneringsberäkningar, dvs. lösningar som konkurrerar på felaktiga grunder. Detta går ut över golvets verkningssätt i brottstadiet och bruksstadiet.

Syfte och avgränsningar

Det överordnade syftet med hela doktorandprojektet var att utveckla metoder för att öka kvaliteten hos industrigolv i betong. I licentiatavhandlingen (Hedebratt, 2004) presenterades en metod för integrerad projektering och produktion av industrigolv. Andra halvan av doktorandprojektet har haft syftet att ytterligare förbättra kvaliteten på industrigolv men här har projektet fokuserats specifikt mot pålunderstödda fiberbetonggolv, aktuella laster, verkningssätt och utveckling av dimensioneringsregler.

Avhandlingen behandlar inte fribärande fiberbetongplattor även om försöken genomförts på ett pelarunderstött bjälklag (pelardäck) av fiberbetong. Försöksmodellen valdes så för att simulera det pålunderstödda betonggolvet efter en tid då marken mellan pålarna sätter sig. Försöksresultaten kan dock inte direkt tillämpas på fribärande plattor eftersom säkerhetsnivån och dimensioneringslösningarna för detaljer och anslutande konstruktionselement inte är identiska i pålunderstödda betonggolv och fribärande bjälklag.

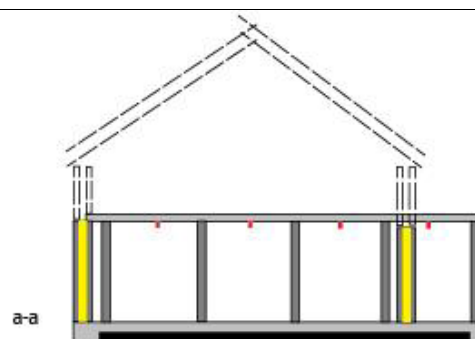
Metod

Avhandlingen innehåller förutom en gedigen litteraturstudie (bl.a. diskuteras åtta europeiska försök med fiberbetongplattor vilande på pelare) en detaljerad presentation av korttids- och

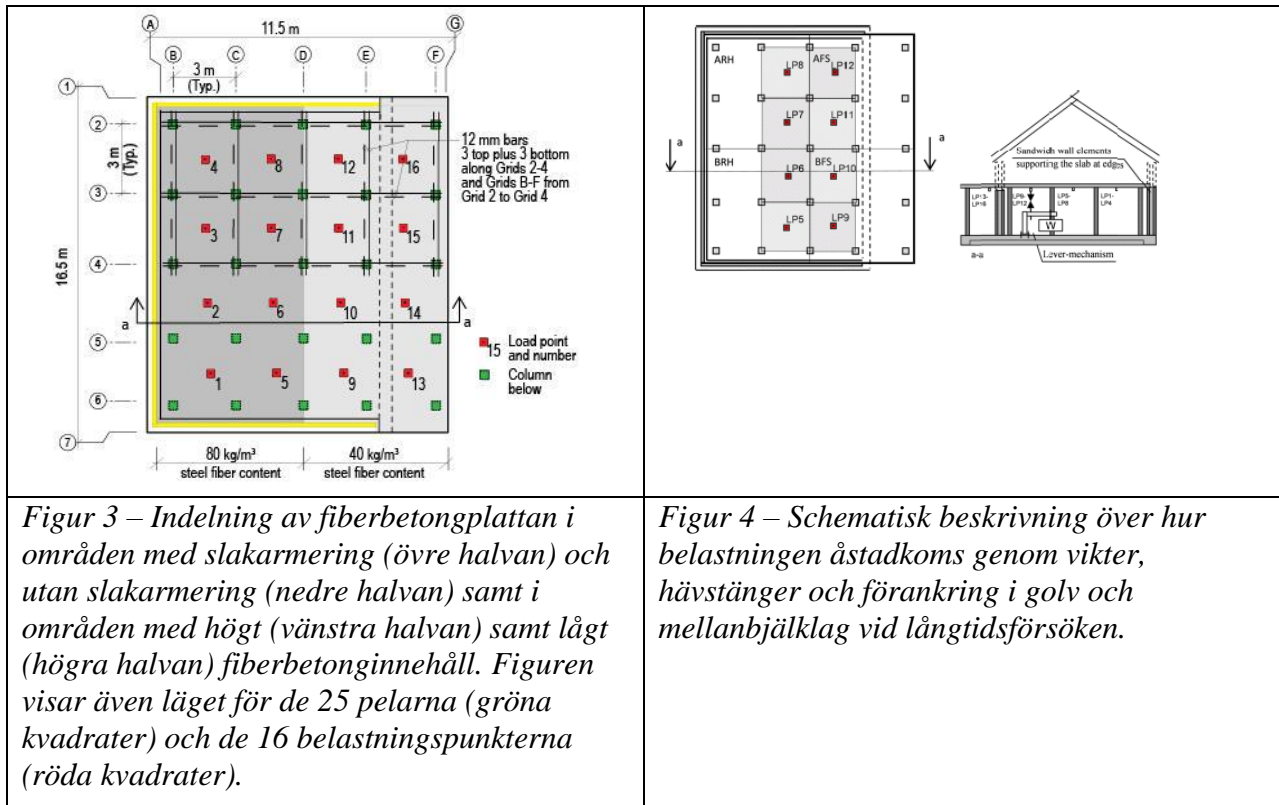
långtidsförsök på en fiberbetongplatta som vilar på pelare. Plattan utgör mellanbjälklag på ett betonghus som uppförts 7 km utanför Västerås (figur 1). Bjälklaget är $16,5 \times 11,5 \text{ m}^2$ stort och 130 mm tjockt. Det är upplagt på 16 pelare med längden 2,7 m och tvärsnittet $200 \times 200 \text{ mm}^2$ samt vidare upplagt på betongväggar längs tre sidor (figur 2 och 3). Bjälklaget var indelat i fyra delar. I långa riktningen var en halvan försedd med slakarmering i band ($3 + 3 \phi 12 \text{ s } 100 \text{ mm}$) över pelarna, medan den andra halvan saknade slakarmering. I den korta riktningen användes två olika fiberbetonger (båda i hållfasthetsklass C30/37), vänstra delen med ett högt fiberinnehåll (avsett värde = 80 kg/m^3) och högra delen med ett lägre fiberinnehåll (40 kg/m^3). Härigenom skapades fyra kvadranter med fyra olika kombinationer av slakarmering och fiberinnehåll. Genom att lasten senare placerades i olika punkter av bjälklaget (figur 3) kunde verkningssättet för olika upplagsförhållanden studeras (inre belastning \approx fast inspänning, belastning nära kontinuerligt upplag, belastning nära hörn samt belastning nära fri kant). Pelare och väggar vilade på en 250 mm tjock, kraftigt armerad mothållsplatta av betong, en platta som även användes som mothåll under både korttids- och långtidsbelastning. Mothållsplattan göts i november 2007 medan mellanbjälklaget göts den 18 februari 2008. Korttidsförsöken genomfördes den 11-12 maj 2008 (betongens ålder = 83-84 dygn) och långtidsförsöken under drygt tolv månader, mellan maj 2008 och maj 2009.



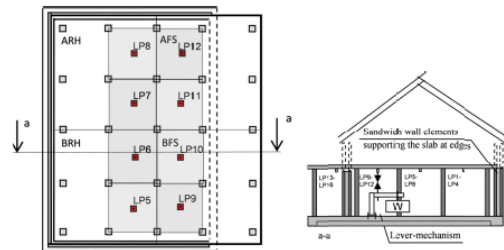
Figur 1 – Produktion av det betonghus som användes för fullskaleförsöken.



Figur 2 – Schematisk bild som visar pelarunderstött fiberbetongbjälklag (som utgjorde försöksobjekt), pelare och bottenplatta (som användes som mothållsplatta).



Figur 3 – Indelning av fiberbetongplattan i områden med slakarmering (övre halvan) och utan slakarmering (nedre halvan) samt i områden med högt (vänstra halvan) samt lågt (högra halvan) fiberbetonginnehåll. Figuren visar även läget för de 25 pelarna (gröna kvadrater) och de 16 belastningspunkterna (röda kvadrater).



Figur 4 – Schematisk beskrivning över hur belastningen åstadkoms genom vikter, hävstänger och förankring i golv och mellanbjälklag vid långtidsförsöken.

Resultat

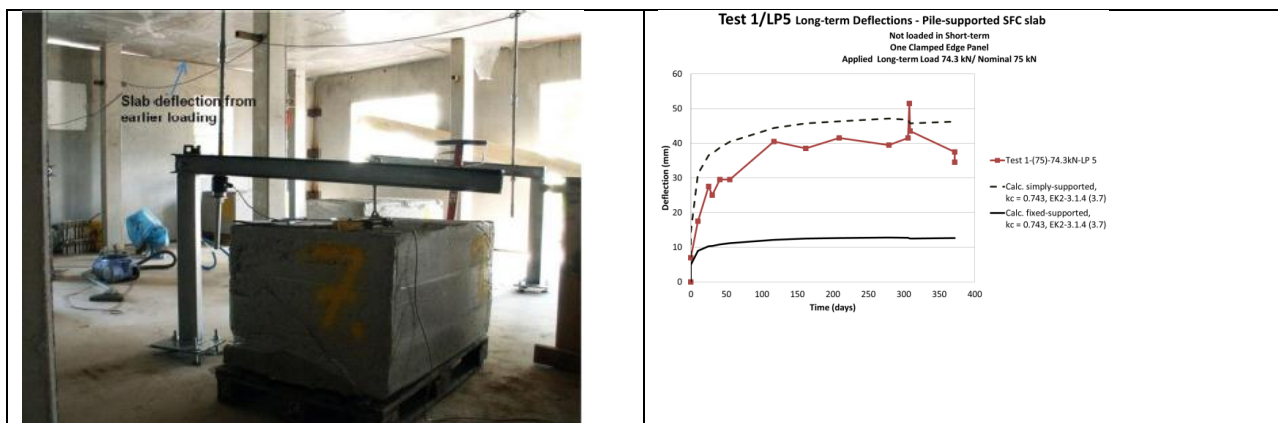
Under korttidsförsöken belastades provplattan (= mellanbjälklaget) i tur och ordning i åtta olika punkter (figur 3 & tabell 1). Lasten, som påfördes vida domkraft, var en punktlast som anbringades i centrum av ett kvadratisk plattfält som bildades mellan fyra pelare. Plattans uppläggning på pelare och väggar innebar att belastningen approximativt sett kan ses som lokal, dvs. belastningen i en av belastningspunkterna påverkar endast marginellt de delar av plattan som innehåller övriga belastningspunkter. Resultaten visar att bandarmeringen gav en höjning av uppmätt bärförmåga på i genomsnitt 25 %. Det verkliga armeringsinnehållet avvek från det nominella och visade sig vid kontrollräkning i utborrade cylindrar vara c:a 32 resp. c:a 75 kg/m³ med stor spridning i mätresultaten. Tryckhållfastheten mätt på utborrade kärnor 27 månader efter gjutning uppmättes till c:a 65 MPa.

Korttidsförsöken visade att spänningarna omfördelas både i fallen med och utan bandarmering, omfördelning är en grund för dimensionering enligt brottlinjeteori. Plattfälten med det högre fiberinnehållet uppvisade endast en spricka på ovasidan medan fälten med det lägre fiberinnehållet hade både fler och grövre sprickor på såväl ovan- som undersidan. Uppmätta brottlaster jämfördes även med dimensionerade laster. Vid dimensioneringen användes nominella fiberinnehåll, nominella hållfasthetsvärden (utan partialkoefficienter), brottlinjeteori (för böjande moment) och beräkningsmetoder enligt Svenska Betongföreningens golvrappport (2008). Uppmätta laster var alltid större än motsvarande dimensionerade värden även om marginalen varierade kraftigt.

Tabell 1 – Resultat från korttidstest

Försök, nr	Armering, nominellt fiberhinnehåll (kg/m^3) + stänger	Be-lastningspunkt, nr	Upplagsförhållande	Beräknad brottlast (kN)	Uppmätt maxlast (kN)	Nedböjning vid maxlast (mm)	Slutgiltig brottmod
1	80	13	Fritt hörn	69,3	125,8	46,4	Böjning
2	40 + stänger	16	Fritt hörn	69,3	166,1	60,0	Böjning
3	80	1	Inspänt hörn	151,7	180,6	43,5	Stansning
4	80 + stänger	4	Inspänt hörn	151,7	221,7	48,2	Stansning
5	80 + stänger	7	Inre	85,5	278,4	32,7	Böjning
6	40 + stänger	12	Inspänd kant	58,3	194,9	58,9	Böjning
7	80	6	Inre	85,5	297,7	40,1	Böjning
8	40	9	Inspänd kant	58,3	151,1	37,1	Böjning

Under de tolv månader långa *långtidstestet* studerades hur deformationerna växte under inverkan av stora hängande vikter på 1000 till 1200 kg som uppväxlades till 5000 till 7500 kg genom hävstångseffekt (figur 5). Laster anbringades i åtta symmetriskt placerade lastpunkter under provplattan (mellanbjälklaget). Deformationen beräknades med hjälp av en ingenjörsmässig metod i vilken först den elastiska nedböjningen uppskattas med hjälp av tabeller i handboken Bygg 1B, ett antagande om styvhetsreduktion p.g.a. uppsprickning och därefter beräknas den successiva ökningen av deformationen genom att elasticitetsmodulen E ersätts av en fiktiv elasticitetsmodul $E' = E/(1 + \phi)$, där kryptalet ϕ uppskattas med ekvationer i Eurokod 2 (2010). I figur 6 visas ett exempel som indikerar att överensstämmelsen mellan beräknad och uppmätt deformation är tämligen god ifall plattfältet mellan fyra pelare förutsätts motsvara en frysigt inspänd platta.



Figur 5 – Fotografi som visar långtidsförsöken.

Figur 6 – Uppmätt långtidsdeformation (röd kurva) jämfört med beräknade värden för två olika antaganden ([1] plattan fritt upplagd på kanterna, streckad svart linje, resp. [2] fast inspänd, heldragen svart linje). Vi ser att uppmätt deformation ökar över tid p.g.a. krypning och ansluter tämligen väl till antagandet [1].

Slutsatser

Från avhandlingen kan följande huvudslutsatser dras:

- Fiberbetong fungerar väl vid både kort- och långtidslast.
- Deformationerna växer inte obegränsat trots stor last.
- Beräkning av deformation kan göras med hjälp av tabellverk + reduktion för uppsprickning + krypning enligt EK 2.
- Fortsatt forskning rekommenderas för att speciellt studera bl.a. båg-, kupol- och membranverkan i fiberbetongplattor, genomstansning i fiberbetongplattor, krypdeformationer i ett årstidsvarierande klimat samt verkningssätt och deformationskapacitet hos betongplattor med töjningsmjuknande och -hårdnande fiberbetong under såväl korttids- som långtidslast.

Tack

Huvudfinansiärer var Sven Tyréns Stiftelse, SBUF och avdelningen för brobyggnad, KTH. Andra finansiärer och företag som bidrog med byggmaterial: Tyréns AB, Stockholm, Bekaert Building Products, Belgien, Bekaert Svenska AB, Göteborg, CBI Betonginstitutet, Stockholm, AB Linotolgov, Kungsör, Kilenkryss AB, Strängnäs, och Modern Betong AB, Täby.

Avhandlingen och dess delar

Hedebratt, J., (2012). *Industrial Fibre Concrete Floors – Experiences and Tests on Pile-Supported Slab*. Bulletin 113 (doktorsavhandling). KTH, Skolan för arkitektur och samhällsbyggnad, Institutionen för byggvetenskap, Avdelningen för brobyggnad, Stockholm, 230 s.

Avhandlingen inkluderade en kappa plus fyra vetenskapliga artiklar (Paper A-D).

Paper A: Hedebratt, J. & Silfwerbrand J. (2008). *Damages in Industrial Concrete Floors, published in Swedish Concrete Society, Concrete reports no 13: Industrial floors – recommendations for design, material selection, execution, operation and maintenance*. Swedish Concrete Society, Stockholm. Chapter 2 (Skador), pp. 63-85, Translated from Swedish by Jon Van Leuven.

Paper B: Hedebratt, J. & Silfwerbrand J. (2012a). *Lessons Learned – Swedish Design and Construction of Industrial Concrete Floors*, published in Nordic Concrete Research, vol. 45, June 2012, pp. 75-91.

Paper C: Hedebratt, J. & Silfwerbrand J. (2012b). *Full Scale Test of a Pile Supported Steel Fibre Concrete Slab*. Submitted to Rilem: Materials & Structures, 6th Mars 2012, 29 pp.

Paper D: Hedebratt, J. & Silfwerbrand J. (2012c). *Long Term Full Scale Test of a Pile Supported Steel Fibre Concrete Slab*. Submitted to American Concrete Institute ACI, Concrete International, 5th May 2012, 20 pp.

Övriga referenser

Eurokod 2 (2010). *Dimensionering av betongkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader*. SS EN 1992-1-1:2005/AC:2010. SIS Swedish Standards Institute, Stockholm, 195 s (exkl. bilagor).

Hedebratt J. (2004). *Integrerad projektering och produktion av industrigolv - metoder för att öka kvaliteten*. Bulletin nr 78 (licentiatavhandling), KTH. Institutionen för byggvetenskap, Avdelningen för brobyggnad, Stockholm, 232 s.

Handboken Bygg (1972), Huvuddel 1 B *Allmänna grunder*. (Handbok för hus-, väg- och vattenbyggnad). AB Byggmästarens förlag, Stockholm, 603 s.

Svenska Betongföreningen (2008). *Industrigolv - rekommendationer för projektering, materialval, produktion, drift och underhåll*. Svenska Betongföreningens rapportserie, nr 13, Stockholm, 296 s.