

Examensarbete

Byggingenjör 180 hp



Fiberarmerad betong

En analys av fiberarmerat plattbärlag

Byggteknik 15 hp

Halmstad 2021-05-27

Albin Lundgren och Rudolf Bengtsson

Sammanfattning

Fiberbetong är ett material som använts i 3500 år och utvecklingen av detta material har kommit en lång väg. Fiberns största bidrag till betongen är att den minskar sprickbredden och förbättrar dess eftersprickbildande egenskaper. Förutom detta har fibern även en påverkan på betongens hållfasthetsegenskaper.

Denna utveckling inom fiberteknologi har gjort fiberbetongen till ett högteknologiskt material som kan ge konstruktionen en väldigt hög prestanda, men detta material kräver också en hög kompetens både i design och utförande fasen. Men trots detta materials stora potential är det ett relativt outnyttjat material i dagens läge. En historisk avsaknad av standarder, erfarenhet och exempel har gjort att byggindustrin föredrar konventionella armeringsmetoder. Ett annat område som vi såg kunde utvecklas är plattbärlag. Plattbärlag är en tunn kvarsittande form gjord av betong som monteras på arbetsplatsen med stämp och kompletteras med installationer och armering för att sedan gutas på för att uppnå den hållfastheten man erfordrar. Vi ansåg det därför naturligt att sammanföra områdena fiberbetong och plattbärlag för att skapa en lösning som kan utmana det traditionella sättet att armera plattbärlag på.

Målet med detta examensarbete har således varit att utforska hur ett plattbärlag skulle påverkas av ett utförande med fiberbetong i någon eller flera av kategorierna kostnad, arbetsmiljö, hållfasthet och arbetsmiljö. Detta syftar till att utforska och skapa nya användningsområden för fiberbetongen.

Detta arbete började därför med en litteraturstudie för att granska områdena fiberbetong, arbetsmiljö samt plattbärlag. Vi tror att genom att applicera den kunskap som idag finns inom fiberbetong på plattbärlag att vi kan väcka en tanke om hur utvecklingen kan fortsätta för både fiberbetongen och plattbärlag.

Vad vi kan se när vi jämfört den traditionella metoden att armera plattbärlag med och en metod baserad på fiberbetong är att det inte finns någon solklar vinnare i alla dessa kategorier. Man kan tydligt se att fiberbetongen kan förbättra plattans hållfasthetsegenskaper men detta kommer till en kostnad, både pengamässigt och för miljön. Detta beror på att fiberbetongsutförandet kräver en mycket högre mängd armering och cement räknat i kg än vad ett utförande med armeringsjärn skulle kräva. Det vi däremot kan se är att tiden för utförandet kan reduceras med upp till 25% samt att flera påfrestande arbetsställningar kan helt tas bort från utförandet.

Abstract

Fiber-reinforced concrete is a construction material that holds high promise in progressing the construction industry. The fibers impact on crack properties as well as strength means there is a wide array of application areas. Still this material holds a very limited area of application as of today. One of the main reasons for this is the lack of examples and tests in new application areas. This work therefore aims to identify whether fiber-reinforced lattice girder elements can compete with an element reinforced in the traditional way in any of the categories cost, work environment, strength or environmental impact. Through literature study and calculations, we were able to see that this method of reinforcing lattice girder elements could be applicable at least in some of the areas. The study saw that the steel fiber came with an increase in cost, decrease in time, bigger impact on the environment and a better work environment. This means that this method could be used in some specific cases where time and work environment is of importance. We also see that further advancements in this method can be made if the fibers are combined with normal rebar.

Förord

Detta examensarbete är gjort som den sista delen av Byggingenjörsprogrammet 180 hp vid Högskolan i Halmstad. Arbetet är utfört på eget initiativ där grundtanken utvecklades under arbetets gång.

Vi vill tacka vår handledare Yahya Ghasemi som har assisterat och väglett oss under tiden av detta projekt.

Vi vill även tacka Skandinaviska byggelement som tillhandahöll information gällande pris, utförande och miljöpåverkan av deras plattbärlag.

Till sist vill vi tacka Elecosoft som tillhandahöll ett exemplar av Bidcon som var till stor nytta under kostnadsberäkningarna för detta arbete.

Halmstad, Maj 2021

Albin Lundgren

Rudolf Bengtsson

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problematisering	1
1.3 Mål och syfte.....	2
1.4 Avgränsningar.....	2
1.5 Metod.....	3
1.6 Forskningsfrågor	4
1.7 Utförande	4
1.7.1 Armeringsförslag för standardarmering.....	5
2. Teori	9
2.1 Fiberbetong.....	9
2.2 En introduktion till Plattbärlag	15
2.3 En introduktion till Arbetsmiljö	17
2.3.2 Betongarbete	18
2.4 Introduktion till hållfasthetsberäkningarna	20
2.4.1 Dimensionerande laster	20
2.4.2 Dimensionering av traditionellt armerad konstruktion	20
2.4.3 Dimensionering av fiberarmerad konstruktion.....	21
2.5 Introduktion miljö.....	22
3. Resultat.....	23
3.1 Hållfasthetsberäkningar.....	23
3.1.1 Förutsättningar för beräknings exempel	23
3.1.2 Plattbärlag med standardarmering	23
3.1.3 Plattbärlag med fiberarmering.....	24

3.2 Kostnadsberäkningar.....	25
3.3 Miljö	28
3.3.1 Traditionellt utfört plattbärlag.....	28
3.3.2 Fiberbetong utfört plattbärlag.....	28
4. Diskussion	30
4.1 Validiteten av studien samt dess mål.....	32
5. Slutsatser	33
5.1 Hållfasthetsegenskaper.....	33
5.2 Kostnadsberäkning.....	33
5.3 Miljön.....	33
5.4 Arbetsmiljö.....	33
5.5 Vidare forskning.....	34
Referenslista.....	35
Bilagor.....	40

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Fiberbetong är ett material som består av traditionell betong blandat med fiber för att förbättra betongens egenskaper. Den största bidragande faktorn som fibern har på betongen är att minska bredden på de sprickor som bildas i betongen samt att förbättra dess eftersprickbildande egenskaper. Användningen av fiber har förekommit i över 3500 år då man använde sig av hästhår samt vegetabiliska fibrer för att förstärka sina konstruktioner (Brandt, 2008). Utvecklingen har sedan dess fortsatt och idag förekommer fibrerna i olika utförande. Dessa fibrer kan komma i olika material beroende på vilka egenskaper man är ute efter. Stålfiber är ett vanligt val då det stärker hållfastheten, minskar sprickorna och det är även det material vi valt att fokusera på i detta arbete. Betong med olika typer av fiberarmering håller idag på att bli ett högteknologiskt byggnadsmaterial som skapar en väldigt hög prestanda, men användningen av fiberbetong kräver en hög kompetens både i designstadiet samt i utförandet. Det är i dagsläget här som industrin fallerar. Även fast Fiberbetong kan medföra en förbättring i hållfasthetsegenskaper samt arbetsmiljö så har inte materialet använts i särskilt hög utsträckning, speciellt i Sverige. Det saknas därför den stora bank av erfarenhet och exempel som finns för konventionell armering.

Plattbärlag är en typ av halvprefabricerat betongelement som består av en 40 till 50 mm tjock betongplatta samt ingjuten armering. Detta betongelement används flitigt i Sverige för att skapa betongbjälklag. I dagens läge uppnås de hållfasthetskrav som finns för plattan genom armeringsjärnen som gjuts in i plattan som den tilläggsarmering som monteras på arbetsplatsen. Vi ser det som naturligt att stålfiber kan ha en roll att spela för att förbättra plattbärlaget utifrån punkterna hållfasthet, miljö, kostnad samt arbetsmiljö. Genom att använda fiberbetong vid gjutningen av plattbärlag kan mängden tilläggsarmering minskas och dess sprickbildningsegenskaper förbättras.

1.2 Problematisering

I dagens läge begränsas användningsområdet för fiberbetong främst till industrigolv och bergsförstärkningar (Silfwerbrand, 2020). Användningen begränsas främst på grund av en historisk avsaknaden av standarder, rekommendationer och handböcker. Eurokod 2 innehåller dimensioneringsregler för bärverk och byggnader och den innehåller just nu ett tillägg för hantering av fiberbetong. Anledningen att fiberbetongen inte används i fler konstruktioner beror på okunskap och osäkerhet. Tydliga regler för dimensionering fattas för konstruktörer vilket gör att många konstruktörer väljer det vanliga (Sjödin & Lind, 2016).

Plattbärlag kräver en mängd arbete med armering på plats. Installationer, underkantsarmering och överkantsarmering skall alla monteras på en begränsad yta som gör att arbetet blir svårt och ofta tidskrävande. Om man kan reducera mängden armeringsnät och stänger och istället tillsätta fiberbetong så bör arbetstiden drastiskt reduceras och sprickbildningsegenskaperna förbättras. Vi ser det således som naturligt att slå ihop dessa problem. Genom att undersöka fiberbetongens

påverkan på kostnad, miljö, hållfasthet och arbetsmiljö kan vi förbättra plattbärlaget samtidigt som vi skapar ett nytt användningsområde för fiberbetong.

1.3 Mål och syfte

Målet med detta arbete är att ta fram teoretiska beräkningar för hållfasthet, kostnad och miljöpåverkan för ett fiberbetongsarmerat plattbärlag samt ställa detta i jämförelse med ett traditionellt plattbärlag.

Syftet med arbetet är att undersöka om ett fiberbetongsarmerat plattbärlag är att föredra i någon eller flera av kategorierna kostnad, arbetsmiljö, hållfasthet eller miljö istället för ett traditionellt plattbärlag. Om de teoretiska beräkningarna visar sig lyckade hoppas detta skapa en större kunskap om vilka fördelar och vilka begränsningar en sådan lösning kan ha.

1.4 Avgränsningar

Detta arbete kommer att begränsa sig till ett bjälklag gjort av tre stycken plattbärlagsplattor med en bredd på 2,4 m, längd 8 m och tjockleken 50 mm samt 150 mm betong som bildar ett homogent bjälklag. Andra bjälklag så som HFD kommer inte beaktas i beräkningarna. Detta homogena bjälklag är fast inspänt i alla dess fyra sidor. Fiberbetongen som används kommer begränsas till stålfiber.

Hållfasthetsberäkningarna för bjälklaget kommer inte beakta nedböjning, sprickbildning, genomstansning, brandhållfasthet, ljudisolerande egenskaper eller långtidseffekter. Även fast bjälklaget innehåller både överkants och underkants-armering så kommer endast överkantsarmeringen kontrolleras. Lasterna som bjälklaget begränsas till i exemplet begränsas till egentygn och jämnt fördelad nyttig last. Enbart nyttig last för kontor användes i beräkningarna.

De ekonomiska beräkningarna begränsas till de material och arbeten som kan kopplas direkt till plattbärlaget, dvs omkringkostnader såsom bodar kommer inte att tas i beaktande.

Ofta när det kommer till fiberbetong och dess egenskaper handlar det om sprickbildning. Detta på grund av att fiberbetongen ger en bättre sprickhållfasthet som i sin tur förbättrar livslängden samt integriteten av konstruktionen. Dock har vi inte kontrollerat någon långtidseffekt eller sprickbildning även fast detta kunde vara en avgörande faktor vid valet av fiberbetong kontra vanlig betong.

Eftersom vi enbart tittat på CO2 utsläpp vid produktion missar vi viktiga delar, som hur länge konstruktionen håller och hur detta förhåller sig till andra material. T.ex. ett mellanbjälklag av trä kanske är mindre miljöpåfrestande att göra men håller bara i 20 år medans ett betongbjälklag är mer miljöpåfrestande men håller i 100 år. Vidare finns det andra delar som innefattar miljöaspekten, som utsläpp av andra farliga ämnen i naturen och hur naturen påverkas vid utvinning av olika material. Dessa delar har vi inte alls kontrollerat men kan vara direkt avgörande om ett material är miljövänligt eller ej.

Arbetet har utgått från synen av en projektör som tar sig an att dimensionera detta mellanbjälklag. Den informationen som finns tillgänglig och som är lättförstådd är den informationen som kommer användas men det är inte alltid den är den mest optimala. Som till exempel vid val av fiberbetongblandning så för att få ett optimalt hållfasthetsvärde skulle man ha gjort en egen fiberbetong blandning.

Arbetet saknar också ett längre perspektiv av konstruktionen vilket är en kritisk del av tillämpning i verkligheten. Det är ofta det kommer upp att fiberbetong kan ge en ökad livslängd då den gör sprickorna mindre i betong men dock hittade vi inga relevanta metoder att beräkna livslängden för fiberbetong som mellanbjälklag med armering.

1.5 Metod

Detta arbete är baserat på en kvalitativ studie som kan brytas ner i en litteraturstudie som presenteras vidare i teorikapitlet samt beräkningar för hållfasthet, ekonomi och miljö som baseras på den data som inhämtats i teorikapitlet.

När detta projektet inleddes hade vi endast en begränsad kunskap om fiberbetong, plattbärlag arbetsmiljö samt miljö. Detta gjorde att vi inledde arbetet med att utföra en omfattande litteraturstudie som fokuserades på dessa områdena. Denna litteraturstudie utfördes främst genom litteratursökning i databaser så som Google Scholar samt de databaser som är anslutna till Högskolan i Halmstads bibliotek. Den baskunskap som vi inhämtade från litteraturstudien använde vi för att skriva teorikapitlet, vilken skapades för att ge läsaren en baskunskap inom ämnet. Arbetet är att anses som en kvalitativ studie då vi inhämtat och analyserat åsikter gällande de område som vi hanterat.

Beräkningar utförs på både traditionellt utfört armering av plattbärlag samt på ett plattbärlag med fiberarmering för att kontrollera eventuella skillnader. Beräkningar bygger på de värden vi hämtat från litteraturstudien. Vid beräkning av dimensionerande last används Eurokoden (SS-EN 1991 Eurokod 1).

Vid beräkning av hållfasthet för fiberarmering har vi följt FIBs rekommendationer för beräkning av hållfasthet och FIB säger att momentkraft är den dominerande om inte det finns stora koncentrerade krafter vid stöd (Abid & Franzén, 2011). Momenten är desamma för fiberbetongsutförandet som för standardarmering. Dimensioneringen för armeringen vid traditionellt utfört bjälklag är baserat på beräkningsmetoder från boken Byggformler och tabeller Johannesson, Vretblad (2011) som är en samling beräkningsmetoder från Eurocode 2 (1992).

1.6 Forskningsfrågor

Följande kapitel innehåller de mål för forskningsfrågor som rapporten hoppas uppnå.

- Är det möjligt att förbättra ett plattbärlags hållfasthetsegenskaper genom att tillsätta stålfiber?
- Är ett plattbärlag med stålfiberbetong att föredra ur ett ekonomiskt perspektiv?
- Hur skulle ett plattbärlag med stålfiber förändra plattans påverkan på miljön?
- Hur förändras arbetsmiljön för ett plattbärlag när man använder fiberbetong?

1.7 Utförande

Det finns ett antal sätt att utföra armeringen för ett plattbärlag för att uppfylla kraven i BBR. I följande kapitel presenteras en modell för standardarmering samt en för utförande med fiberbetong. För att få en sammanställande analys av hållfasthet, ekonomi och ergonomi kommer båda utförandena utföras med samma ingångsvärden. Dessa ingångsvärden är:

Plattbärlag höjd: 50 mm

Total höjd av platta: 200 mm

Plattbärlag bredd: 2400 mm

Plattbärlag längd: 8000 mm

3 plattbärlag placeras i bredd för att skapa ett totalmått för hela plattan på 8x7,2 m.

Bild 1 redovisar plattan med mått och upplagsförhållanden. Upplagsförhållanden är fast inspända runt hela.

För bjälklag med standardarmering kommer en betongblandning med styrkan C25/30 användas. Anledningen till att valet föll på denna hållfasthetsklass är då kalkylerna för kostnadsberäkningarna blev lättare att beräkna.

För bjälklag utfört med fiberarmering kommer en självkomprimerande betongblandning med 1,5 % fiberinnehåll att användas. Betongen behöver vara självkomprimerande eftersom fibrerna i betongen gör så att betongen blir svårhanterlig vid gjutning och 1,5 % fiberinnehåll behövs för att uppnå den erforderliga hållfastheten.

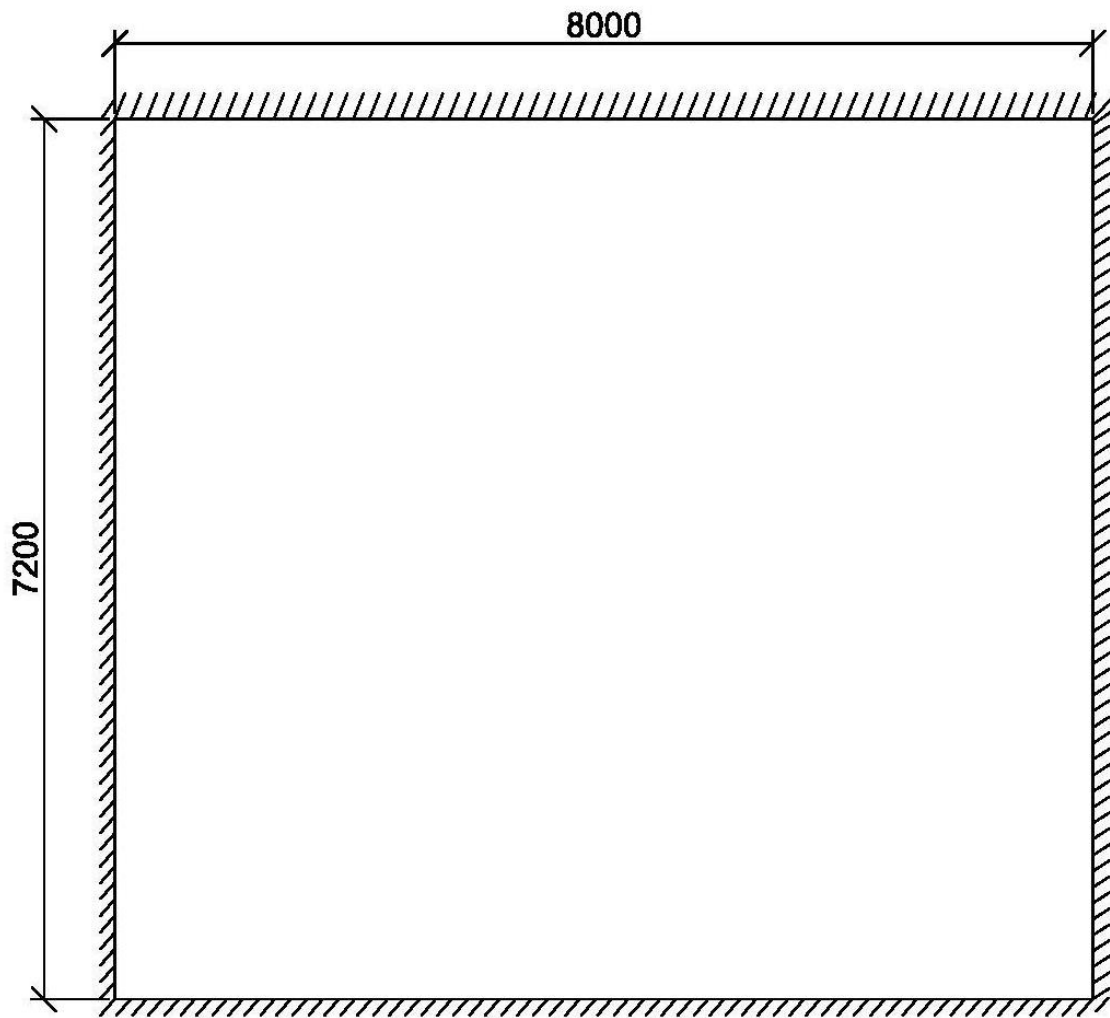


Bild 1. Dimensioner för plattan med upplagsförhållanden

1.7.1 Armeringsförslag för standardarmering

Det vanligaste utförandet av plattbärlag i dagens läge är det systemet som vi valt att kalla för standardarmering. Den består av korsarmerad underkantsarmering i plattan, armeringsstegar, skarvarmering bestående av armeringsnät samt överkantsarmering vid stöd. Underkantsarmeringen skall huvudsakligen ta upp de krafter som uppkommer i fält. Överkantsarmeringen är till för att ta upp krafterna som uppstår vid stöden. Vanligtvis krävs ingen mer montering av armering utöver skarvnäten och överkantsarmeringen ute på arbetsplatsen då underkantsarmeringen och armeringsstegarna monteras i fabriken. Tvärarmeringenens syfte är att ta upp krafterna i den sekundära riktningen. I Skarven mellan plattorna läggs ett armeringsnät för att skapa en homogen platta. Plattan kan även innehålla diverse installationer såsom rördragning för vvs, dessa dras mellan eller genom armeringsstegarna.

Vidare eftersom vi har fokus på överkantsarmeringen har vi räknat på följande armerings förslag. Beskrivning av beräkningarna för ett standarddimensionerat plattbärlag finns i kapitel 3.2.2 samt de relevanta beräkningarna utförda finns i bilaga A till C.

Bild 3 är ett förslag för överkantsarmering för vår valda platta. Här ser vi armeringen dras förbi plattan ut till det okända. Eftersom vi har valt att kontrollera fast inspänt så måste där vara överkantsarmering som antingen binder ihop plattorna över ett stöd, se bild 2, alternativt dras armeringen ner i stödet eller en kombination av dessa. Oavsett behöver järnen en viss längd. Dock varierar längden beroende på vilken av dessa förutsättningar vi har. För enkelhetens skull har vi valt att använda samma längd som behövs inne i plattan för det som behövs i det okända. Förslag för överkantsarmering redovisas i bild 4.

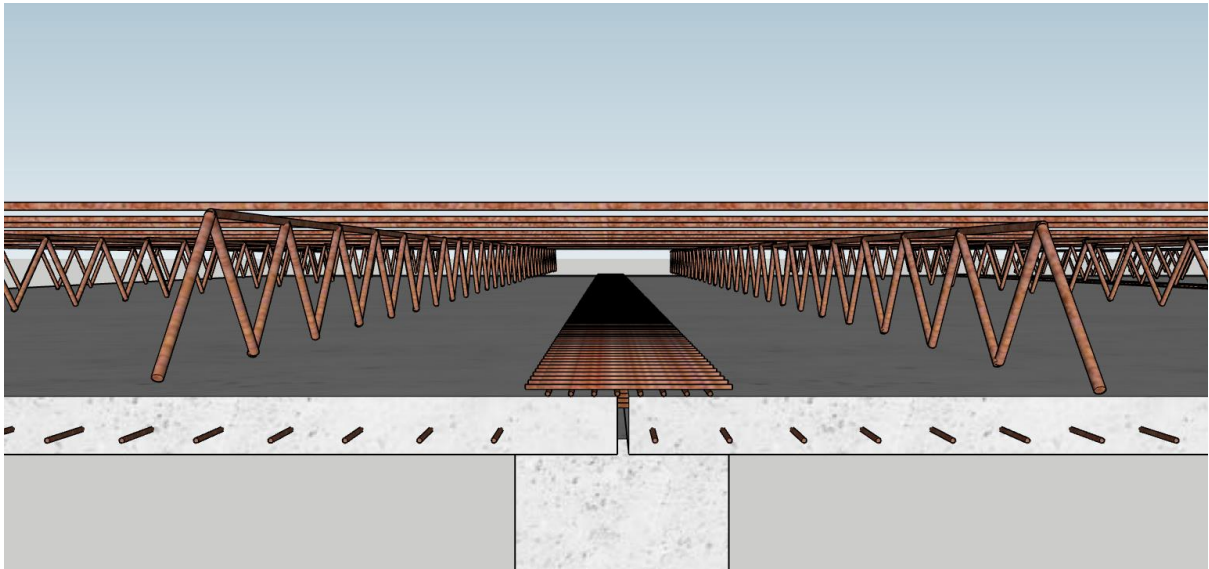


Bild 2. Armeringsmodell standardutförande

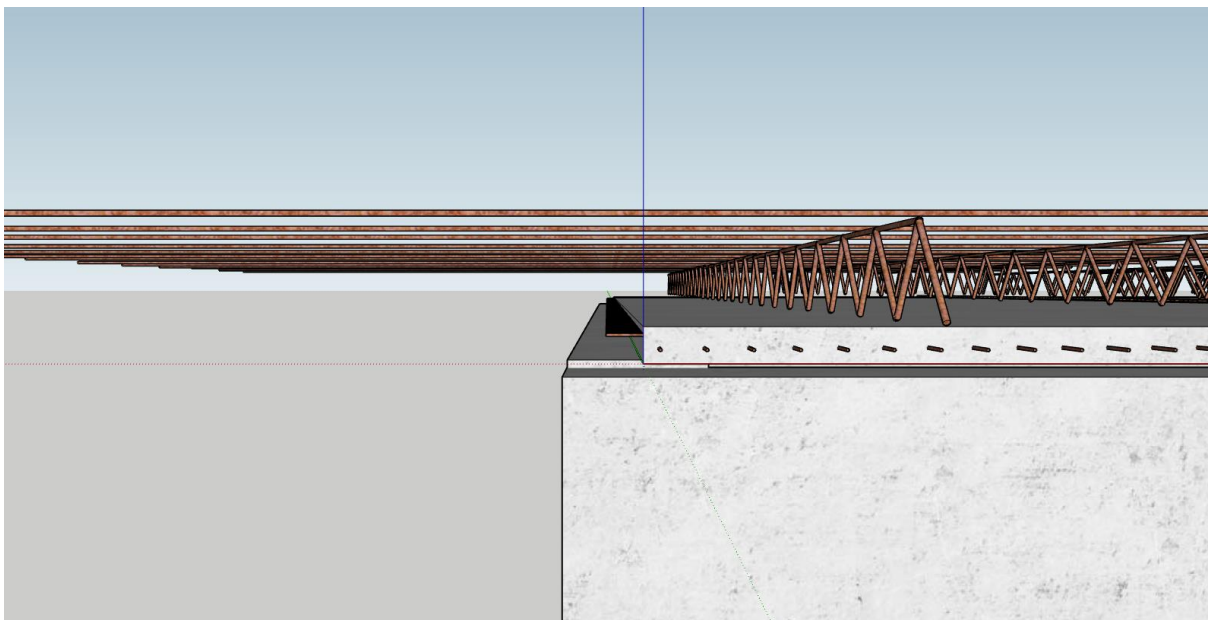


Bild 3. Armeringsmodell standardutförande

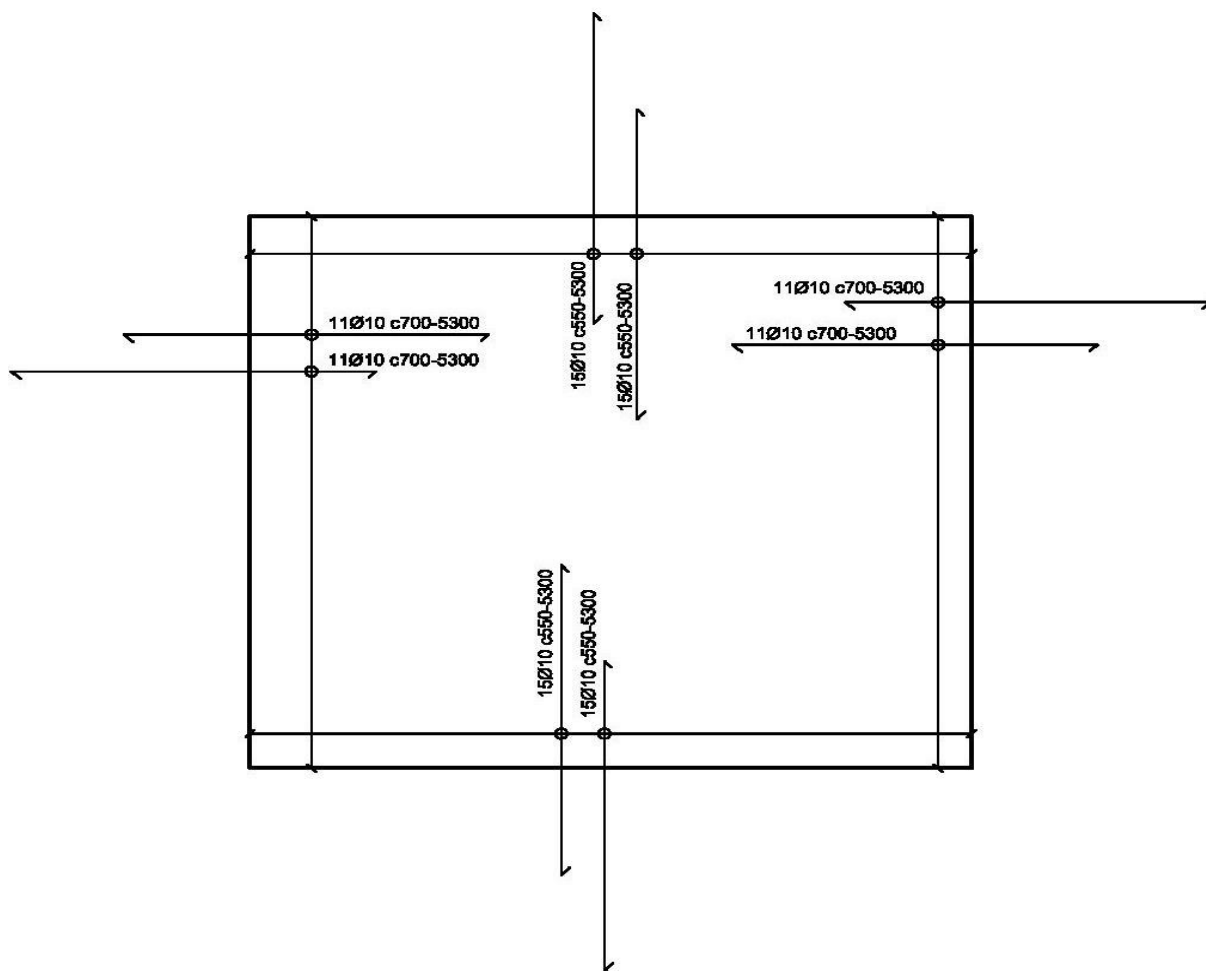


Bild 4. Förslag för överkantsarmering för standard utfört plattbärlag

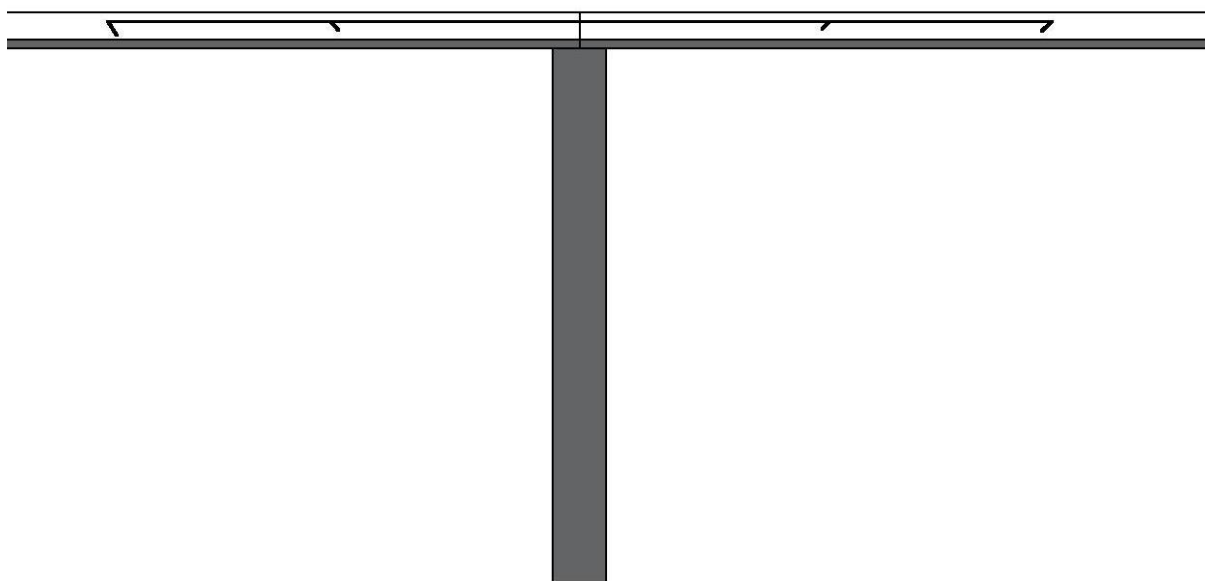


Bild 5. Exempel på utförd överkantsarmering över stöd

1.7.2 Armeringsförslag för fiberbetongsutförande

Bild 6 redovisar förslaget för armeringsförslaget för fiberbetongsutförandet. skillnaden mot tidigare förslag i 1.7.1 är att överkantsarmeringen i form av armeringsjärn med dimensionen 10 \emptyset tas bort. Krafterna i stödet som tidigare togs upp av överkantsarmeringen kommer i detta utförande istället att tas upp av fiberbetongen. Genom detta kommer en minskad arbetstid som läggs på att armera plattan, denna kostnad tas istället upp av fiberkostnaden.

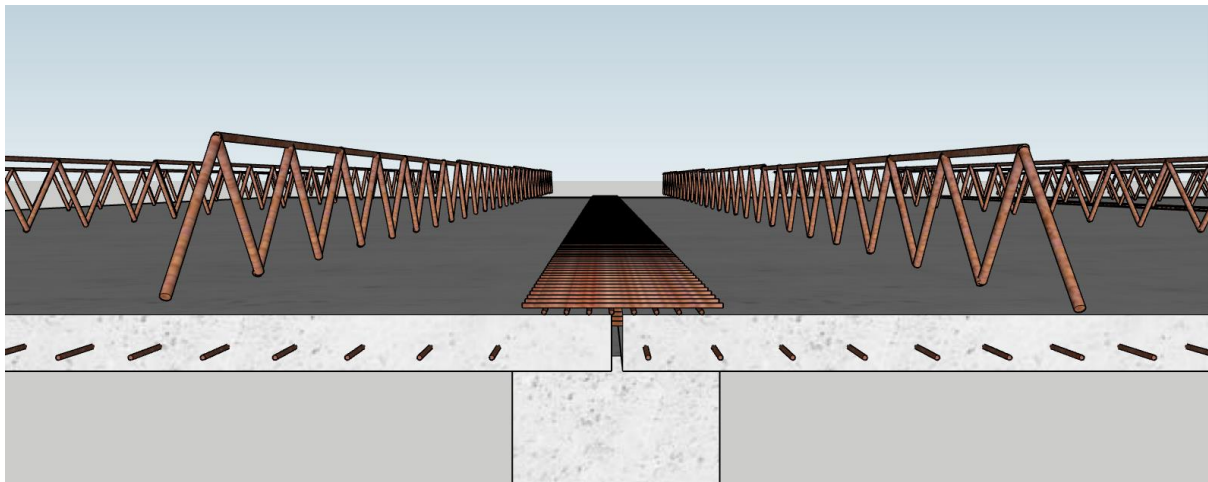


Bild 6. Armeringsmodell fiberbetongsutförande

2. Teori

2.1 Fiberbetong

Detta kapitel innehåller en litteraturstudie inom området fiberbetong. Det inledande kapitlet, introduktion, innehåller dels en förklaring av vad fiberbetong är, men även dess historia. Vidare innehåller nästa del både fibrernas olika egenskaper men även dess påverkan på betongens egenskaper. Kapitlet innehåller även hur fibrernas material, geometri och distribution påverkar dess egenskaper. Avslutningsvis presenteras några av dagens användningsområde före fiberbetong.

2.1.1 Introduktion

Fiberbetong är en betongblandning som blandats med fibrer av olika form och storlek, tillverkat av stål, syntet och glas, för att uppnå bättre hållfasthets och sprickbildningsegenskaper. Betongen i sig kan bestå av olika mix-designer som är en blandning mellan cement, vatten, ballast samt övriga tillsatsmedel beroende på önskad effekt. Fibrerna försenar sprickbildning i betongen och när sprickor bildas klarar betongen en högre påfrestning än utan fiber (Neville & Brooks, 2010).

Även fast fiberbetong kan ses som ett relativt nytt material har det förekommit i mer än 3500 år då hästhår och vegetabiliska fibrer användes för att förstärka sina konstruktioner. Utvecklingen har sedan dess fortsatt och idag förekommer fibrer av olika material och form i olika produkter. (Brandts, 2008). A. Berard Från USA var 1874 den första att patentera fiberarmerad betong men det dröjde fram till 1927 när G. Martin patenterade fiber liknande de vi använder oss av idag (Löfgren, 2005; Beddar, 2004). Utvecklingen fortlöpte och under andra världskriget började fiber användas i landningsbanor för flygplan med målet att ge banan bättre skydd mot stötar och splitter från bombningar. Nästa användning kom 1970 då stålfiber började användas i sprutbetong i bergsförstärkningar för att stabilisera vilket ersatte de traditionella armeringsnäten. (Svenska betongföreningen, 1997)

2.1.2 Egenskaper

Betong är ett kompositmaterial där ballast blandas med vatten och en matris av cement. Anledningen till att man armerar cementmatrisen med fiber är främst för att förbättra dess draghållfasthet genom att försena dess sprickbildning samt öka dess styrka genom att fördela spänningen över sprickor (Neville & Brooks, 2010). Tabell 1 redovisar egenskaperna för några vanliga fibrer. Betongens bästa mekaniska egenskaper är dess tryckhållfasthet och elasticitetsmodul. Dess svaghet är däremot dess låga draghållfasthet samt att det krymper. Problem kan uppstå när dessa två svagheter kombineras.

Sprickor kan vara ett stort problem för betongen då detta kan förändra betongens egenskaper. Det finns olika sätt som sprickor i betongen kan skapas. Sprickbildningen kan för det första delas in i före och efter härdning, vidare kan det delas in i fysisk, kemisk, termisk, strukturell samt plastisk sprickbildning. En del av den fysiska sprickbildningen beror på uttorkning av betongen. Detta kan anses vara en av de största anledningarna till sprickbildning och är anledningen till att det oftast blir i alla fall någon typ av sprickbildning vid härdning. När betongen tillsätts fukt så

expanderar den medans när den förlorar fukt så krymper den och det är denna krympning som kan orsaka problem. Ett vanligt problem är att betongen förhindras från sin naturliga krympning vilket skapar dragspänningar som överstiger hållfastheten för betongen och resultatet blir sprickor (Silfwerbrand, 2020). Meningen om fiber påverkar betongens sprickbildning har varit delad, en del rapporter redovisar att fibern inte hade någon påverkan på sprickbildningen (Grzybowski & Shah, 1990) medans andra rapporter visar att fibern kan minska sprickbildningen med upp till 65% (Sun et al., 2001; Afroughsabet et al., 2016). Ett av fiberns syfte är således dels att öka betongens draghållfasthet efter sprickbildning. Som vi kan se från Tabell 1 kan draghållfastheten (i bilden uttryckt som tensile strength) variera stort mellan olika material men även för samma material. I dagens läge finns det inte en fiber med så bra draghållfasthet att sprickbildning helt kan elimineras, men däremot kan man styra den. Detta gör att man istället för att få långa stora sprickor istället får ett större antal små harmlösa sprickor. För illustration över detta se bild 7.

Tabell 1. Fysiska egenskaper av fibrer (Löfgren, 2005).

Type of Fibre	Diameter [µm]	Specific gravity [g/cm ³]	Tensile strength [MPa]	Elastic modulus [GPa]	Ultimate elongation [%]
Metallic					
Steel	5-1 000	7.85	200-2 600	195-210	0.5-5
Glass					
E glass	8-15	2.54	2 000-4 000	72	3.0-4.8
AR glass	8-20	2.70	1 500-3 700	80	2.5-3.6
Synthetic					
Acrylic (PAN)	5-17	1.18	200-1 000	14.6-19.6	7.5-50.0
Aramid (e.g. Kevlar)	10-12	1.4-1.5	2 000-3 500	62-130	2.0-4.6
Carbon (low modulus)	7-18	1.6-1.7	800-1 100	38-43	2.1-2-5
Carbon (high modulus)	7-18	1.7-1.9	1 500-4 000	200-800	1.3-1.8
Nylon (polyamide)	20-25	1.16	965	5.17	20.0
Polyester (e.g. PET)	10-8	1.34-1.39	280-1 200	10-18	10-50
Polyethylene (PE)	25-1 000	0.96	80-600	5.0	12-100
Polyethylene (HPPE)	-	0.97	4 100-3 000	80-150	2.9-4.1
Polypropylene (PP)	10-200	0.90-0.91	310-760	3.5-4.9	6-15.0
Polyvinyl acetate (PVA)	3-8	1.2-2.5	800-3 600	20-80	4-12
Natural - organic					
Cellulose (wood)	15-125	1.50	300-2 000	10-50	20
Coconut	100-400	1.12-1.15	120-200	19-25	10-25
Bamboo	50-400	1.50	350-50	33-40	-
Jute	100-200	1.02-1.04	250-350	25-32	1.5-1.9
Natural - inorganic					
Asbestos	0.02-25	2.55	200-1 800	164	2-3
Wollastonite	25-40	2.87-3.09	2 700-4 100	303-530	-

Fibern hindrar inte endast betong från en större sprickbildning, genom att korsa sprickan överför även fibern laster mellan sprickan. Det är idag generellt accepterat att fiberns faktiska huvudeffekt är dess egenskap att förbättra betongens eftersprickbildande egenskaper (Löfgren, 2005). Det är alltså fiberns påverkan på betongen efter sprickbildningen hänt som är av högst intresse. Fiberns mekaniska påverkan på ren draghållfasthet, elasticitetsmodul, krympning samt tryckhållfasthet är väldigt liten (Svenska betongföreningen, 1997). Med ett fiberinnehåll på mellan 0,5–1 % av den

totala volymen, kan fiberbetongen ta upp 40-80 % av maxlasten efter sprickbildning, genom att sedan öka både fibermängden samt kvalitén på fibern kan man nå till och med över 100 % vilket då klassas som en töjningshårdnande fiberbetong (Silfwerbrand, 2020).

Tabell 2. Fibers påverkan på betongens egenskaper (Hinders, 2011).

Egenskaper	Stålfiberarmering
Tryckhållfasthet	Liten påverkan vid normala halter
Sprickhållfasthet	Liten påverkan vid normala halter
Brotthållfasthet	Liten påverkan vid normala halter
Residualhållfasthet	Stor påverkan
Utmattningslast	En viss påverkan, främst vid töjningshårdnande material
Draghållfasthet	Liten påverkan
Skjuvhållfasthet	En viss påverkan
Elasticitetsmodul	Liten påverkan
Krypning	Liten påverkan
Fri krympning	Liten påverkan
Sprickegenskaper vid förhindrad krympning	Stor påverkan
Vidhäftning mellan betongskikt vid pågjutning	Ingen direkt påverkan men den jämna sprickfördelningen är en fördel

En annan egenskap som däremot påverkas av tillsatsen av fiber är betongens arbetbarhet. Tillsatsen av fiber kan nämligen försämra fluiditeten av betongen vilket i sig påverkas dess arbetbarhet (Figueiredo & Ceccato, 2015). Detta kan motverkas genom att tillsätta mer vatten eller superplasticizer till mixen. Man kan även minska andelen grövre sten och öka andelen fin sten, detta då stålfibern kan ses som grövre ballast.

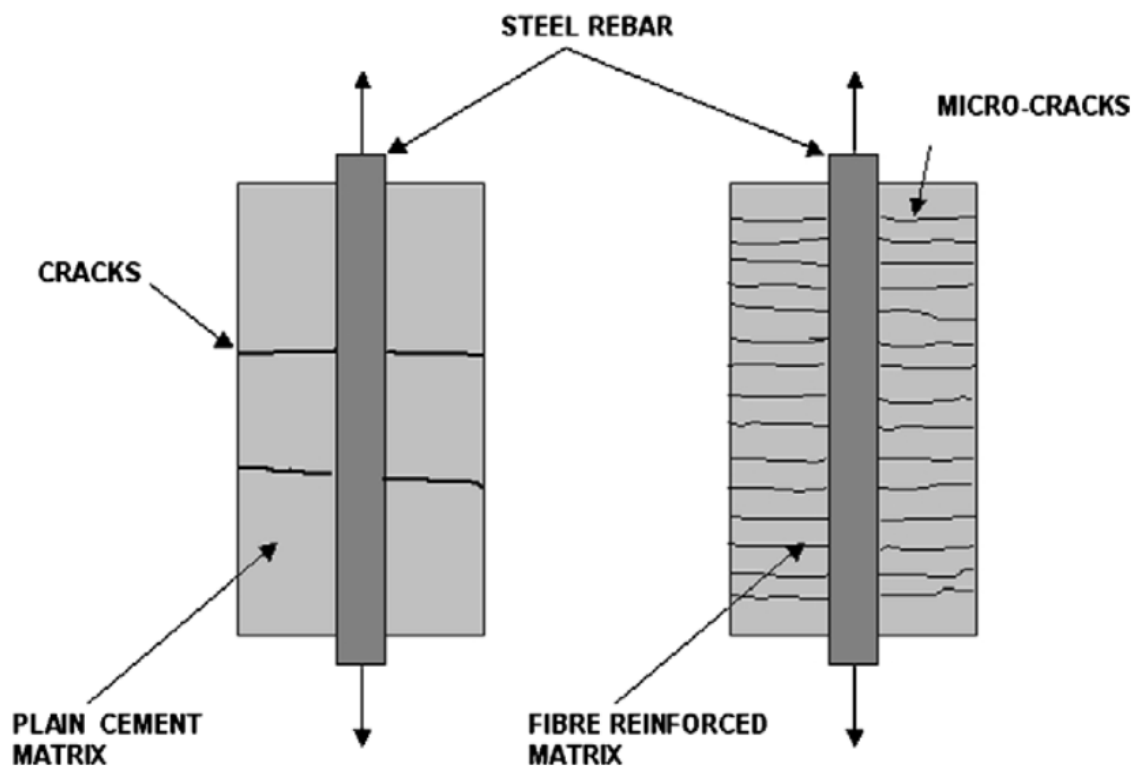


Bild 7. Fiberns påverkan på sprickbildning (Brandts, 2008).

2.1.3 Material

Olika material används för att uppnå olika egenskaper i fiberbetongen. De mest förekommande materialen är stål, syntet, glas, kol, basalt, cellulosa och hampa (Silfwerbrand, 2020). Vilket material man väljer att använda som fiber beror till stor del till vilket syfte man vill att fibern skall uppfylla i betongen samt prisskillnaderna mellan dem.

Den absolut mest förekommande fibern är stålfibern som tillverkas av antingen kolstål eller rostfritt stål. Det är även denna typ av fiber som vi kommer att applicera i vårt förslag för armering i plattbärlag. Stålfibern förbättrar både betongens sprickbildningsegenskaper och dess hållfasthet. Olika tillverkningsätt förekommer för stålfiber. Den kan tillverkas genom dragen tråd, klippta band samt genom smälta (Silfwerbrand, 2020; Löfgren, 2005).

Ett annat relativt nytt tillverkningsätt av stålfiber kommer ifrån en återvinningsprocess. Dessa återvunna stålfiber kommer främst från gamla bildäck. Dessa återvunna fibrer har länge förbisetts. Dessa återvunna stålfiber har dock visat sig vara av väldigt hög kvalitet då däcktillverkarna generellt använder sig av stål med hög draghållfasthet (Liew & Akbar, 2020).

Stålfibern kan tillverkas med olika geometri, rund, rektangulär eller oregelbunden. Oregelbundna fiber är främst de som är återvunna. Den kan även göras till exempel rak, med ändkrokar eller tandad. Geometrin på fibern diskuteras vidare under kapitel 2.1.4 (Svenska betongföreningen, 1997).

Efter stålfiber är syntetfiber den näst vanligaste. Syntetfibrer är ett samlingsnamn för plaster och polymerer. Plastfiber används främst för minska torrspäckor samt förbättra brandegenskaperna. Plastfibern förekommer även ofta i djurstallar där plastfibern hindrar djuren från att skadas efter nötning av betongen. Bild 8a samt bild 8b visar exempel för hur stålfiber samt plastfiber kan se ut.



Bild 8a. Stålfiber (Ejlertslunds grus & betong) Bild 8b. Plastfiber (Ejlertslunds grus & betong)

2.1.4 Geometri

De fibrer som förekommer idag har olika form som främst påverkas av hur fibern tillverkas och hur man vill att fibern skall förankras i betongen (Silfwerbrand, 2020). Tvärsnittet kan vara cirkulärt, rektangulärt eller oregelbundet. Även formen kan variera mellan rak, med ändkrokar, vågformad, tandad osv. Dessa skillnader i utformning påverkar främst hur det fäster vid betongen (Svenska betongföreningen, 1997).

En annan viktig aspekt när det kommer till fiberns geometri är dess slankhet. Fiberns längd l_f delas med fiberns diameter d_f för att få dess slankhet, $f = l_f / d_f$. Detta slankhetstal ligger generellt sett mellan 60 och 80. För att få en bra presterande betong skall man eftersträva ett högt slankhetstal, ett högre slankhetstal innebär nämligen att fiberbetongen klarar en högre kapacitet efter uppsprickning. Matematiska modeller har även tagits fram som visar att de som påverkar betongens tryckhållfasthet, draghållfasthet och böjhållfasthet är fiberns f värde samt den totala fibervolymen (Yazıcı et al., 2007). Däremot kan längre fibrer även påverka arbetbarheten på ett försämrande sätt vilket man även behöver ha i åtanke när man väljer formen för sin fiber (Silfwerbrand, 2020).

När man blandar fiberbetong kan dess spridning och orientering ske på olika vis och detta kan ha en stor påverkan på fiberbetongens mekaniska egenskaper. Här spelar ett antal faktorer roll. Hur mycket fibrerna sprids spelar roll, om fibrerna klumpar sig i ett område så försämras prestandan. Även vinkeln på fibern relativt till ytan på betongen samt hur många fibrer som korsar en spricka är saker som påverkar (Löfgren, 2005).

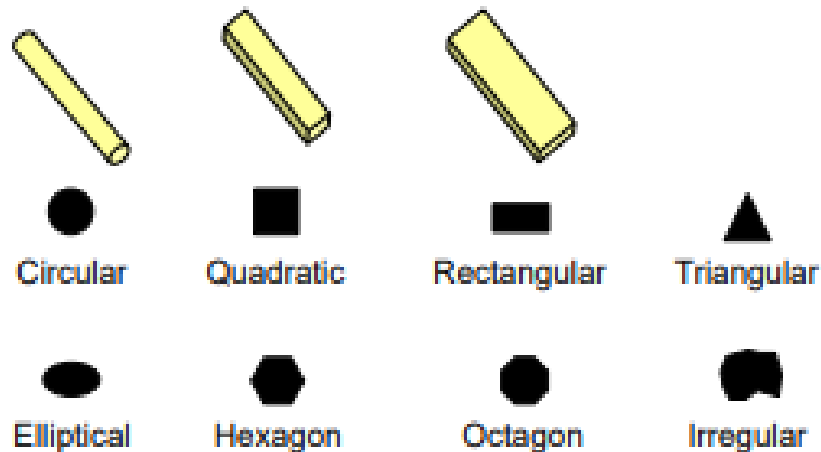


Bild 9. Fibergeometri (Löfgren, 2005)

2.1.5 Användningsområde för fiberbetong idag

Som nämnts i introduktionskapitlet så var den första användningen av fiberbetong som ett energiupptagande material i flygfält under andra världskriget. Men utveckling fortsatte och används sedan 1970-talet som bergförstärkning. Detta är ett användningsområde där fiberbetong än idag är ett väl använt material (Silfwerbrand, 2020). Vid konstruktion av tunnlar använder man sig ofta av sprutbetong med fiberarmering för ett enkelt utförande. Andra platsgjutna produkter som använder sprutbetong såsom swimmingpooler och skateboardramper använder sig ofta av fiberbetong i sitt utförande (Svenska betongföreningen, 1997).

Ett huvudområde idag för fiberbetong är i stålfiberarmerade industrigolv och övriga lagergolv. Dessa golv utsätts inte för lika stora krafter vilket gör att fiberbetong är ett utmärkt material för användning här. Genom att använda fiber istället för slakarmering i dessa golv förbättrar man ergonomin samt sparrar en stor mängd tid då den stora golvytan inte behöver armeras för hand (Svenska betongföreningen, 1997).

Det finns även andra exempel på mindre användningsområden såsom balkongdelar, kantbalkar, rör och brunnar som kan använda sig av fiberbetong i viss utsträckning.

Johan Silfwerbrand skriver i en av sina artiklar "Länge har fiberbetongs användning begränsats av att det saknas standarder, rekommendationer och handböcker. Sådana finns för industrigolv och bergförstärkning men för så kallade bärande konstruktioner som balkar och bjälklag var det först 2014 som det publicerades en svensk standard [3]. Den internationella dimensioneringsnormen för betong (Eurokod 2) behandlar inte fiberbetong men materialet kommer att ingå i nästa utgåva av EK 2 som kommer om några år." (Silfwerbrand, 2020).

Då det länge har saknats standarder och rekommendationer inom detta område så har utvecklingen till nya användningsområden saktats ner. Därför vill detta arbete undersöka möjligheten för ett nytt användningsområde, nämligen i plattbärlag.

2.2 En introduktion till Plattbärlag

2.2.1 Utformning plattbärlag

Plattbärlag ses som ett halvprefabricerat betongelement som består av en 50 mm tjock betongplatta med ingjutna armeringsstegar på som skapar en kvarsittande form i den för övrigt platsgjutna plattan. (Strandberg, 2018). Plattbärlagen härstammar från början från Tyskland och kallas normalt även filigranbjälklag.

Undersidan är slät och porfri vilket ger en yta som är redo för målning medans ovansidan är räfflad för att skapa en bättre vidhäftning mot betongen som gjuts på plats (Lindén & Wahlström, 2008; Arbetsinstruktion - plattbärlag). Normalbredden för en platta är 2,4 m och längden kan uppgå till 12 m (Svensk betong). Plattbärlagen produceras i två varianter av armering, slakarmerade samt förspänd armering. All den underkantsarmering som krävs i huvudriktningen finns i plattbärlaget medans de längsgående skarvarna kompletteras med armeringsnät innan pågjutningen sker.



Bild 10. Plattbärlag (Dala Cement)

2.2.2 Montage plattbärlag

Innan montaget av plattbärlaget kan börja sätts stämp och bockar i underkant där plattan skall monteras vars uppgift är att hålla plattan under tiden betongen härdar. Plattbärlagsplattorna tillverkas i fabrik och skickas till arbetsplatsen med lastbil. Väl på plats monteras plattorna med hjälp av en kran vars krokar fästes i utmarkerade ställen på armeringsstegarna. Markeringarna är utsatta på sådant vis att lyft vid dessa skapar stabilitet i luften. Armeringsstegarna har således även en viktig uppgift i själva montaget.

Plattbärlagsplattorna monteras på plats upplagda delvis på väggarna men även på bockryggar med stämp (Montagehandbok Skalvägg Plattbärlag). När monteringen på plats är klart görs alla installationer med rör och kabeldragningar som skall monteras i plattan och detta är huvudanledningen till att plattbärlaget görs så tunna (45–50 mm), för att pågjutningen skall ges chansen att täcka eventuella installationer i plattan.

Plattan skall även sekundärarmeras på plats, vilket kan göras på olika tillvägagångssätt. Ett vanligt sätt är att korsarmera plattan genom att trä armeringsjärn genom armeringsstegen samt att lägga armeringsnät på de längsgående skarvarna. Ett mer modernt sätt är att redan i fabriken förse plattbärlaget med korsarmering samt att förse skarvarna med ett grövre armeringsnät, denna metod får användas för plattor mellan 200–300 mm (Svensk Betong). Det är även denna metod vi kommer ha som utgångspunkt i vårt utförande. Underkantsarmeringen samt armeringsstegen är ämnade att ta upp fältmomentet medan skarvarmeringen skall ta upp stödmomenten, detta tas vidare upp i delen kopplingen till vårt projekt. Ovanpå armeringsstegen läggs vanligtvis ett armeringsnät för att hindra eventuell sprickbildning. När alla installationer är klara samt sekundärarmeringen är utförd sker pågjutningen. Stämp och balkar lämnas tills dess att härdningen av betongen nått tillräcklig styrka för att sedan monteras ned.

2.2.3 Användning plattbärlag

När man skall beskriva plattbärlagets användningsområde kan det vara bra att sätta den i jämförelse med dess närmaste konkurrenter, platsgjutet och HD/F-plattor.

Plattbärlag utnyttjas ofta i kombination med skalväggar som också gjuts på plats (Strandberg, 2018). Systemet med plattbärlag är välanvänt och typgodkänt av Boverket. Plattbärlag kan ses som en vidareutveckling av ett vanligt platsgjutet plattbärlag då principen är densamma med skillnaden att en del av plattan utförs i fabrik. Även en platsgjuten platta utförs fördelaktligen i kombination med skalväggar. Bärförmågan hos en slakarmerad platta är likvärdigt en platsgjuten platta med samma dimensioner och lastkapaciteten ligger på 4,0 kN/m². Ett helt platsgjutet bjälklag utnyttjas sällan numera, då fördelarna med plattbärlag är så stora. En av de stora fördelarna för plattbärlag mot platsgjutet är den förkortade byggtiden, formningsarbetet samt en del av armeringsarbetet försvinner. Även takdosor, elgenomföringar, räckesfästen osv kan göras i fabriken för att på så sätt korta ner tiden ännu mer. Som vi tidigare fastställt så är underkanten av plattbärlaget slät och redo att målas på vilket kan spara ytterligare tid då det är mycket svårare att få en bra finish på en platsgjuten platta. (Abetong; Berggren & Andersson, 2016).

HD/F-plattor är ett annat välanvänt system för bjälklag. Dessa plattor består av betong med en höjd mellan 180 till 500 mm och har längsgående hål i sig som sparar material, minskar vikten samt skapar ett utrymme för installationer. Systemet fungerar väl för spännvidder mellan 5 och 18 meter, detta skall jämföras med plattbärlagets spännvidder mellan 6 och 8,5 meter. Detta gör att HD/F är att föredra framför plattbärlag då större flexibilitet i spännvidderna krävs, detta kan vara till exempel när man vill ha en öppen yta utan bärande innerväggar. Även hos HD/F-bjälklaget så är undersidan slät och utformad för att kunna målas på, däremot så krävs en pågjutning mellan 20 och 50 mm på ovansidan för att skapa en jämn yta. En stor fördel med HD/F-systemet är att ingen stämning krävs vilket skapar mer utrymme på arbetsplatsen och gör att man direkt kan börja med övriga installationer och montage istället för att vänta ut att betongen skall torka. De

stora fördelarna med plattbärlag över HD/F-plattor är stegljudnivån samt brandklassningen som båda är fördelaktiga i plattbärlaget.

2.2.4 Kopplingen till vårt projekt

I ett plattbärlag kommer det uppstå fältmoment samt stödmoment. Fältmomenten är de moment som uppstår mellan stöden och centrum av plattan medans stödmomenten är de moment som uppstår i stöden till plattan. Vidare kan plattan vara fritt upplagd eller fast inspänd i stöden vilket påverkar de moment som uppstår, under beräkningarna till detta projekt så förutsätts att plattan är fast inspänd i ytterkant av den totala plattan.

Detta projekt görs med utgångspunkten att all den överkantsarmering som skulle krävas för att ta upp stödmomenten istället kan tas upp av fiberbetong. Således dimensioneras underkantsarmeringen i plattbärlaget för att ta upp fältmomenten och fiberbetongen för att ta upp stödmomenten. Då det är ett tidskrävande arbete att utföra sekundärarmeringen med armeringsnät samt armeringsstänger så finns det mycket tid att spara med hjälp av fiberbetong. Då tid är en väldigt viktig faktor i byggindustrin kan denna lösningen ha stor inverkan på slutpriset av stommen. Men det är inte bara tidssparande, den stora mängden av armeringsnät och stänger som skall monteras i plattan kan utgöra en risk i arbetet då det är svårt att arbeta på plattan. Vid användning av fiberbetong skulle mängden av armering minska samt tiden på den gjutna plattan minska.

När det kommer till hållfastheten av plattbärlag är det viktigt att veta att det är flera parametrar som påverkar plattbärlagets styvhet och toppbelastning. Genom analytiska modeller kan man se hur dessa parametrar förändrar plattans egenskaper. Den största påverkan på styvheten och toppbelastningen har dimensionen på armeringsstegen. En större dimension på stegen ger en ökad styvhet och toppbelastning. Elasticitetsmodulen har även en påverkan på så sätt att en ökad elasticitetsmodul även ökar styvheten för elementet. Fibern har den påverkan på betongen att den ökar dess hårdhet. Betongens hårdhet påverkar i sig elementets toppbelastning samt dess styvhet. Detta betyder att det finns många sätt att förbättra betongens hållfasthetsegenskaper där dimensionen på stegen är den största, men fibern har även en direkt påverkan på elementets hållfasthetsegenskaper (Löfgren, 2003).

2.3 En introduktion till Arbetsmiljö

2.3.1 Armeringsarbete

Arbetsmiljön innefattar allt de som omfattar och påverkar människan i arbetet som utförs. Detta kapitel kommer således ge en kort sammanfattning av hur arbetsmiljön för någon som arbetar med armering eller betong kan se ut idag.

Armeringsarbetet av plattor innefattar idag en mängd olika arbetsmoment (Sandberg & Hjort, 1999). Armeringsarbetet kan delas in i tre skeden. det första skedet är mottagning som främst innefattar avlastning. Det andra skedet är beredning som innefattar sortering, transport till klippmaskin, klippning, transport till bockmaskin, bockning samt buntning. Det sista skedet är montering och innefattar transport till mellanlager, förtillverkning av enheter på byggarbetsplatsen,

intertransport och inläggning. Dessa skeenden behöver inte nödvändigtvis innehålla alla dessa delar, olika projekt utför armeringsjobbet på olika sätt.

Sandberg & Hjort (1999) delar in belastningsfaktorerna av armeringsarbete i två kategorier, sådana faktorer som orsakas av själva armeringsarbetet och som är delvis unika till dessa arbetsuppgifterna, samt sådana som alltid kan uppträda på en byggarbetsplats t.ex dåligt väder. Faktorerna som alltid uppträder på byggarbetsplatsen är i detta arbete ej av intresse och kommer således inte att beskrivas vidare. Armeringsarbetet i den första faktorn kan vidare delas upp i Fysiologisk arbetsbelastning, arbetsställningar samt olycksrisker.

Fysiologisk arbetsbelastning innefattar främst tunga lyft vilket uppstår vid bärning av armering mellan arbetsstationer. Denna belastning ökar då klippning och bockning sker på arbetsplatsen.

Vid arbete med armering uppstår flera dåliga arbetsställningar framåt lutad, på knä armar över axlar samt på huk för att nämna några. Vissa av dessa moment är värre än andra men gemensamt för alla är att långa arbetsmoment i dessa ställningar kan orsaka skador på kroppen.

Armeringsarbete innehåller vida olycksrisker. Den främst risken är snubbelrisk. När arbete sker för plattbärlag bildas en väldigt snubbelfarlig arbetsmiljö. Detta då armering, betong och installationer samsas för att bilda ett snårigt hav av snubbeltrådar. Snubbelrisker i kombination med tunga lyft av armeringsnät kan orsaka skador på kroppen.

Det är inte svårt att inse att dessa problem i arbetsmiljön påverkar både armeraren och företaget han jobbar för på ett dåligt sätt. En studie visar att 92 % av 1773 st byggarbetare i åldern mellan 18 och 65 år hade smärta eller värk i rörelseorgan vidare att ryggproblem är ett stort problem bland armerare (Sandberg & Hjort, 1999).

För att underlätta arbetet med armeringen på arbetsplatsen kan armeringen till olika grader prefabriceras. Bengt Hjort (2021) redogör för tre olika prefabriceringsnivåer för armering. Vid den första nivån klipps, bockas och monteras armeringen på plats. Vid den andra nivån klipps och bockas armeringen i fabrik för att sedan monteras på plats. Vid den sista nivån klipps, bockas och monteras armeringen ihop till element i fabrik för att sedan placeras på arbetsplatsen. Dessa olika prefabriceringsnivåer kommer såklart i en stigande materialkostnad, men en minskad arbetskostnad samt att flera av de riskfyllda faktorerna med betongen tas bort.

2.3.2 Betongarbete

När man gjuter ett plattbärlag går betongen igenom ett antal olika moment. Betongens komponenter cement, ballast, vatten och tillsatsmedel samt i vårt fall stålfiber blandas generellt i en fabrik. Betongen transporteras sedan till arbetsplatsen med roterbilar som konstant rör om betongen för att eliminera separationsrisker. En mottagningskontroll sker oftast varpå vid större arbeten så kopplas roterbilen till en pumpbil. Efter detta sker gjutningen, betongen pumpas ut och betongarbetarna fördelar samt vibrerar massan för att skapa ett homogent skikt, efter detta jämnas ytan av. Det sista steget är ytbehandling vilket kan ske genom glättning och slipning. (Sveriges Byggindustrier, 2007)

De moment som innehåller de värsta arbetsmomenten i denna kedjan är gjutningen. Gjutningen kan ske på ett antal olika sätt såsom med ränna, pumpbil, bask eller med skottkärra. Av dessa är ränna och pumpbil de vanligaste utförandena. När man utnyttjar en ränna kan det krävas betydligt mer och tyngre arbete än när man fördelar med en pumpbil.

Den påverkbara skillnaden i de utföranden som vi valt att räkna på är att det vid tillsats av stålfiber påverkar arbetbarheten av betongen. Betongens arbetbarhet kan definieras som dess kapacitet att placeras och konsolideras ordentligt och färdigställas utan skadlig segregation. Även fast det inte finns något mätbart tal för hur arbetbar betongen är så är det en väldigt viktig egenskap för att skapa bra betongegenskaper. Stålfiber försämrar generellt sätt arbetbarheten vilket försvårar utförandet. I utförandet som vi valt att räkna med har vi valt en fiberbetong med en fibermängd på 120 kg/m^3 vilket kan ses som en relativt stor mängd. Denna mängd skapar även en risk för bollbildning i plattan. Detta är något som försvårar arbetet ytterligare. För att förebygga bollbildning skulle en blandning under 80 kg/m^3 krävas. (Svenska betongföreningen, 1997)

2.4 Introduktion till hållfasthetsberäkningarna

2.4.1 Dimensionerande laster

Vid beräkning av dimensionerande laster används Eurokoden (SS-EN 1991 Eurokod 1) där man lägger på säkerhetsfaktorer på de laster konstruktion utsätts för. Dessa säkerhetsfaktorer varierar beroende på vilken sorts last det är. Lasterna delas upp i 2 delar, permanenta laster som t.ex. egentyngd av konstruktionen, eller variabla laster som t.ex. nyttig last vilket är laster som varierar över tid. Där finns också olika kombinationer av dessa säkerhetsvariabler och den kombination som ger störst dimensionerande last skall användas. Det finns också en kombination där man räknar ut karakteristisk last vilket är den lasten man använder vid kontroll av långtidseffekter som t.ex. sprickbildning eller nedböjning. I detta arbete hanteras inte karakteristisk last utan enbart den lastkombination som ger störst dimensionerande last.

När en dimensionerande last är bestämd så används denna för att beräkna det moment som bjälklaget utsätts för. Detta görs genom olika konstanter som i sin tur bestäms av upplagsförhållandena för bjälklaget. Det finns två olika upplagsförhållanden, fast inspänd samt fritt upplagd och dessa avgör hur momentet fördelas mellan stöd samt fält. Stödmoment är det moment som verkar vid stöd och fältmoment är det moment som verkar över bjälklaget. Om ett upplag är fast inspänd eller fritt upplagt avgörs av utformningen mellan bjälklag och väggen den är upplagd på. Fast inspänd är att en stor mängd av momentet som uppkommer i fält överförs till väggen medan fritt upplagd menas med att en mindre mängd av momentet överförs till väggen och därmed tas upp i fältet istället. Vidare ska en momentutjämnning utföras om konstruktionens utformning kräver det. Detta görs när man har bjälklag som är i samband med ett eller flera andra bjälklag och därmed överför krafter till varandra. T.ex. om man har ett bjälklag som har en bärande vägg som delar de i två olika bjälklag så görs en momentutjämnning vid detta stöd eftersom krafterna fördelas på båda bjälklagen. Se bild 6 för ett exempel på ett tillfälle där momentutjämnning är möjligt.

2.4.2 Dimensionering av traditionellt armerad konstruktion

Vid dimensionering av traditionellt armerade konstruktioner används Eurocode 2 (1992) som handlar om dimensionering av betongkonstruktioner.

Dimensionering av traditionellt armerade konstruktioner fungerar kortfattat genom att man har ett beräknat dimensionerande moment som man sedan använder för att få ut vilken mängd armering man behöver för att kunna ta upp denna kraft. För vårt exempel blev denna armeringsmängd $2,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$ för kortsidan och $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$ för långsidan. Enklare uttryckt, kortsidan behöver 22 mm² armering per meter konstruktion och långsidan behöver 28mm² armering per meter konstruktion.

2.4.3 Dimensionering av fiberarmerad konstruktion

När det kommer till att beräkna hållfastheten för ett bjälklag gjort av fiberbetong så finns det olika sätt att beräkna den dimensionerande hållfastheten. Det finns en svenska standarden SS 812310 (2014) för dimensionering av fiberbetong, dock är den ett tillägg till den normala Eurokod som man ska i första hand följa. Vidare finns valet att använda FIBs model code som är internationell standard som bygger på flera olika länders dimensionerings standarder vid dimensionering av konstruktioner. För vårt arbete kommer FIBs model code användas och de beräkningsmetoder som avgör momentkapaciteten att ligga i fokus.

De problem som uppstår om man följer svenska standarden är att generella värden för fiberbetongsblandningar inte finns tillgängliga, samt metoden att räkna ut fiberbetongens hållfasthet blir en 2 variabel ekvation som måste lösas med datorhjälp. Generella värden för fiberbetong är problematiskt eftersom du inte har några värden att använda vid dimensionering för att kontrollera att konstruktionen håller för de krafter det utsätts för. Att ekvationen blir en 2 variabel är inget större problem. Du behöver ett matematiskt program som klarar av att lösa ekvationen och kunskapen hur man ställer upp ekvationen och dess förutsättningar samt vilken metod datorn ska använda för att hitta den optimalaste lösningen. Eftersom värdena för fiberbetong som behövdes vid dimensionering enligt svenska standarden valde vi att istället följa FIBs model code. Dock ska det sägas att den svenska standarden är den man skall följa i första hand när man dimensionerar konstruktioner i Sverige.

FIBs model code föreslår ett enklare beräkningssätt för dimensionering av fiberbetong där man enbart tar hänsyn till ett värde som man får ut av att testa fiberbetongens hållfasthet med hänsyn till böjmoment och tjockleken på fiberbetongens bjälklaget (Abid & Franzén, 2011). Detta kan jämföras med tidigare svenska lösningsförslag som vi hittat i boken Stålfiberbetong - rekommendationer för konstruktion, utförande och provning (Svenska betongföreningen, 1997).

I boken Stålfiberbetong (Svenska betongföreningen, 1997) beskrivs problematiken och skillnaden på faktiskt hållfasthet och den beräknade hållfastheten för fiberbetong. Framst konstruktioner som innehåller både stålfiber och armeringsjärn. Tester har gjorts på konstruktioner med både fiber och armeringsjärn och det har visat att momentkapaciteten kan öka med 5-15 % samt öka tvärkraftskapaciteten med upp till 100 % (Svenska betongföreningen, 1997). Detta är dock komplicerat att förklara i teorin eftersom den utformade teorin på hur fibrerna och armeringen samarbetar skiljer sig från resultaten. Enligt den teoretiska syn så skulle fibrerna gå i brott innan armeringen går i brott. Det vill säga att betongen med fibrerna spricker upp först och när man lägger på mer kraft på konstruktionen så går till sist armeringen också sönder. Om man har denna synen får man två olika brott. Ett för fibrerna och ett för armeringen och detta ger teoretiskt samma resultat som om de inte samarbetade alls med att ta upp kraften. Så denna teorin förklarar inte att kombinationsarmerade konstruktioner får en ökad hållfasthet. Ett förslag som ofta kommer upp är att lägga till en term i beräkningen för kombinationsarmerade konstruktioners hållfasthet (Svenska betongföreningen, 1997). Dock hur denna ska beräknas eller baseras på är oklart.

2.5 Introduktion miljö

Miljöaspekter vid byggnation är viktig del då byggbranschen i sin helhet är en så kallad miljöbov. Detta eftersom byggbranschen behöver mycket naturresurser som i sin tur behöver behandlas i energikrävande processer eller med miljöfarliga ämnen samt att det påverkar naturen att utvinna dessa naturresurserna. På grund av detta är det viktigt att kontrollera och ha uppsyn över miljöpåverkan som valet av ens byggmaterial innebär.

Dock är miljöaspekten vid konstruktioner komplicerad att hantera eftersom det är så många faktorer som inverkar på den. I vårt fall har vi även okända faktorer som transportsträckor och betongblandningen för standardutfört plattbärlag där vi får anta ett rimligt värde. Vissa faktorer hanterar vi inte eftersom målet är att jämföra skillnaden mellan fiberbetong och vanlig betong. Miljöpåverkan som uppkommer vid själva konstruktion och transporten för materialen som plattbärlag, betong och armeringen är några delar vi inte hanterar i denna kontrollen.

Andra viktiga faktorer man kan kontrollera är CO₂ utsläppet för materialets totala livscykel och väga det mot andra material. T.ex. om CO₂ utsläppet för att producera betong är större än för att producera limträ men betongen har längre livslängd så det behövs inte bytas ut och underhållas lika mycket kan betongen vara ett bättre alternativ även fast det har större CO₂ utsläpp i början av livscykeln. Betongen har en egenskap att den absorbera koldioxid också. Alltså den tar upp koldioxid i luften och binder det i betongen. Detta kallas karbonatisering. Detta gör att betongkonstruktionen minskar mängden CO₂ i luften eftersom den hamnar i betongkonstruktionen istället. Hur mycket och i vilken utsträckning betongen gör detta har vi inte kontrollerat i detta arbete men skall nämnas. Mer om vanligt utfört betong och dess livscykel kan läsas i Zakhoy (2016).

Vidare skall hänsyn till andra utsläpp och miljöstörningar tas hänsyn till vid miljöaspekter. Som t.ex. vid blandning av betong kan naturgrus användas. Dock förstörs naturen vid utvinning av detta grus då gruset är en viktig del för rening och lagring av grundvatten. Detta är ännu en faktor som blir för komplicerad att hantera i detta arbete.

För att förenkla och minska mängden faktorer kontrolleras bara produktionsfasen för cementen och stålet.

Eftersom betongkonstruktioner innehåller både stål och betong vilket är stora miljöbovar har vi valt att fokusera på dessa. För betongen är det cementproduktionen som är den största miljöboven och vi har valt att enbart kontrollera denna parameter. Vid framställning av cement värmer man kalksten till ungefär 1400 grader celsius vilket bildar klinker och CO₂. Så vid framställningen producerar cement mycket CO₂ vid uppvärmningen men även direkt från själva materialet. Vid framtagning av portlandcement så är CO₂ utsläppen 750 kg per 1000 kg cement producerad (Zakhoy, 2016). Även stål släpper ut CO₂ vid produktion. Att producera stål är en energikrävande process eftersom det måste värmas upp till cirka 1500 grader celsius. CO₂ utsläppen för stål är dock lite svårare att avgöra för det beror på produktionsmetod och med vad för material man använder. Man kan t.ex. återanvända stål eller använda effektivare ugnar för att värma materialet. Vi har valt att gå efter Celsas steelservice (2021) datablad för 6 m armeringsjärn som redovisar 370 kg CO₂ per 1000 kg stål.

3. Resultat

3.1 Hållfasthetsberäkningar

3.1.1 Förutsättningar för beräknings exempel

Vi satte vissa förutsättningar vid beräkning av hållfastheten för att minska antalet variationer och variabler vi behövde ta hänsyn till vid beräkningarna. Valet av storleken på plattbärlagen blev 8 m och bredd 2,4 m och vi har valt att bjälklaget ska vara utfört med 3 bjälklag. Vår utgångspunkt för måtten på plattan blir därmed $8 \times 7,2$ m.

Effektiv höjd är en viktig parameter vid beräkning av hållfastheten. Den heter d i våra uträkningar och är satt till 0,15 m. Detta med anledningen att vi ville ha möjligheten att se hur fibrerna presterar mot standardarmering i både fält och vid stöd. Om man skulle behövt armera i fält så hade armeringens effektiva höjd varit lite mindre än 0,15 och i vårt exempel med överkantsarmering så kan den effektiva höjden avgöras antingen själv, på stegarnas höjd, höjden på de installationer i bjälklaget eller krav på täckskikt för önskad livslängd. Oavsett så med vårt val av effektiv höjd på 0,15 så kommer vi få ett resultat som ligger i fibrernas fördel då den effektiva höjden för armeringsjärnen kunde varit större vilket resulterat i en mindre behövd armeringsmängd.

De laster som mellanbjälklaget kommer utsättas för är en nyttig last för kontor på $2,5 \text{ kN/m}^2$ samt en egentyngd som vi har satt till 25 kN/m^3 vilket är ett vanligt förekommande antagande för armerad betongs egenvikt när det enbart är teoretisk kontroll, alltså inte en konstruktion som faktiskt ska användas. Utfackningsväggar och andra eventuella laster som kan uppkomma har inte tagits med.

3.1.2 Plattbärlag med standardarmering

De moment vi fick ut för vårt exempel blev, i fält huvudriktning $10,26 \text{ kNm}$, i fält sekundär riktningen $7,4 \text{ kNm}$, stöd långsida $18,4 \text{ kNm}$, stöd kortsida $14,4 \text{ kNm}$.

Vidare räknar man ut en armeringsmängd som klarar av att ta upp momenten vid stöden. Vid uträkning för momenten vi har blev armeringsmängden som behövs för att ta upp momentet för stödet vid långsidan $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$ och för stödet vid kortsidan $2,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$.

Valet av armeringsjárn blev K500C-T med en diameter på 10mm på grund av att det är ett vanligt förekommande järn som är relativt lätt att arbeta med ute i fält.

Avkortning längderna på järnen är baserat på stödmomentets nollpunkten. I våra beräkningar har denna punkten fått namnet e . Efter man vet nollpunkten finns det två olika längder som används beroende på om man har möjligheten att minska den erforderliga armeringsmängd, även kallat att man avkortar. Dessa olika längder är $e/2+d$ samt $e+d$. Eftersom vi inte vet hur hela konstruktionen ser ut har vi valt att använda samma totala längd för järnen. För att se hur dessa järnen är placerade se bild 4. Resultat för vårt exempel blev att både de avkortade och fullängds järnen får en total längd på 5.3 m.

Beräkningar för momenten redovisas i Bilaga A
Beräkningar för armeringen redovisas i Bilaga B

3.1.3 Plattbärlag med fiberarmering

Att hitta värden till fiberbetong var lite komplicerat. Det finns inte direkt några generella värden att gå efter som vid val av t.ex. vanlig betong där du har C25/30 och vet exakt vilka hållfasthetsvärden betongen har. På grund av detta har vi fått gå efter experiment som utförts på olika fiberbetongblandningar. Många experiment utförde inte tester som redovisade det hållfasthetsvärde vi sökte för fiberbetongen eller innehöll cementsorter eller material som var ovanligt i den svenska byggindustrin. Det mest respektiva vi hittade var ett experiment utfört med stålfiber och självkomprimerande betong (Pajak & Ponikiewski, 2013). Vilket inte är så långt ifrån verkligheten eftersom vid användning av fiber så vill du öka arbetsbarheten för betongen samt att man undviker problemet vid icke självkomprimerande betong att fibrerna sjunker till botten vid vibration av betongen som behövs för att få betongen att packa sig samt rinna ut i alla delar av formen då självkomprimerande betong inte behöver någon vibration. Utifrån detta experimentet har vi en betongblandning som de kalla 1.5_HE med 1,5 % fiber och ett f_3 värde på 6,32 MPa (Pajak & Ponikiewski, 2013). fibermängden blir således 120 kg/m³. Det ska nämnas att bara 3 stycken tester utfördes för denna blandningen så f_3 värdet är bara preliminärt.

De dimensionerande momenten är samma för fiberbetongs utfört bjälklag som för standardarmering. Alltså i fält huvudriktning 10,26 kNm, i fält sekundär riktningen 7,4 kNm, stöd långsida 18,4 kNm, stöd kortsida 14,4 kNm.

Utifrån dessa förutsättningar har vi räknat fram vår momentkapacitet för fiberbetongen enligt FIBs rekommendationer vilket blev 23,7 kNm/m.

Beräkningar redovisas i Bilaga C

3.2 Kostnadsberäkningar

Förändringar i utförandet kommer oundvikligen att medföra förändringar i kostnaderna. Dessa kostnadsförändringar kan påverkas av många faktorer. Dessa kostnadsberäkningar kommer därför utgå från de exempel som tagits upp under tidigare kapitel, dvs standardutförande samt fiberbetongsutförande. Det som skiljer sig i utförandena är att sekundärarmeringen i standardarmeringens utförande byts ut mot stålfiber i fiberbetongsutförandet.

Dessa skillnader kan ha en stor påverkan på priset. Materialpriset kan bli ett annat då materialen byts ut. Arbetstiden för armering kan påverkas. Då tiden för montaget påverkas så påverkas även de övriga tiderna för konstruktionen och detta skall beaktas då detta är knutet till de allmänna kostnaderna för att driva projektet. För att beräkna kostnadsskillnaderna för de olika uppläggen kommer Bidcon utnyttjas. Bidcon är ett byggkalkyl program som används för att ta fram material och arbetskostnader för byggobjekt. Programmet innehåller en databas över olika kalkylposter, dessa kalkylposter går även att anpassa till sina egna förutsättningar. I beräkningarna ingår materialkostnad, montage kostnad samt kostnader som kan knytas till montaget så som stämp och bockryggar. Tiderna hämtas från ATL-listan.

Kalkylen delades in i posterna, bockryggar inkl. stämp, skarvnät, plattbärlag, Armering k500C-T samt avjämning med sloda och laser. Samtliga poster innehåller både materialkostnad samt arbetskostnad. Kostnadsposterna är anpassade för att passa ingångsvärdena som de är beskrivna i kapitel 3.1. Betongmängden uppgår till 150 mm, plattbärlaget är 50 mm tjockt, sekundärarmeringen är anpassad efter hållfasthetsberäkningarna som utförts i bilagorna. nedan följer bilder för kostnadsberäkningarna utförda för detta objekt med priser och tider tagna från Bidcons databas. Priser och tider kan variera mellan olika leverantörer. Tabell 3 samt bild 11 redovisar kostnadsberäkningar för ett plattbärlag med standardarmering utförd med Bidcon.

Tabell 3. Kostnadsberäkning av plattbärlag med standardarmering (Bidcon).

Benämning	En	Åtgån	Mängd	Refe	Tid	Material	Arbete	Nettoko [BDT-en]	Nettoko [totalt]
Avjämning med sloda och laser	m2	1,000	57,600	0,030	0,030	0,00	12,60	12,60	726
Betong C25/30, i bjälklag (kran)	m3	0,150	8,640	0,340	0,340	1 246,88	142,80	208,45	12 007
Armering K500C-T Ø 10	kg	5,903	340,000	0,033	0,033	11,04	13,65	145,74	8 394
Plattbärlag, slakarmerad betong t=50	m2	1,000	57,600	0,250	0,250	415,62	105,00	520,62	29 988
Skarvnät	m2	1,000	57,600	0,050	0,050	35,13	21,00	56,13	3 233
Bockryggar inkl. stämp	m2	1,000	57,600	0,140	0,140	29,06	58,80	87,86	5 061

Sammanställning	
S:a Mängd kalkylpost (m2)	57,60
Kostnad [SEK/m2]	Kostnad
Material	732,00
Arbetare	299,39
Total kostnad/m2	1 031,39
Total kostnad [57,60 m2]	59 408,21
S:a kostnad kalkylpost [57,60 m2]	59 408,21
Tid [tim/m2]	Tid
Global Objektsfaktor	1,00
Total tid/m2	0,71
Total tid [57,60 m2]	41,06
S:a Tid kalkylpost [57,60 m2]	41,06

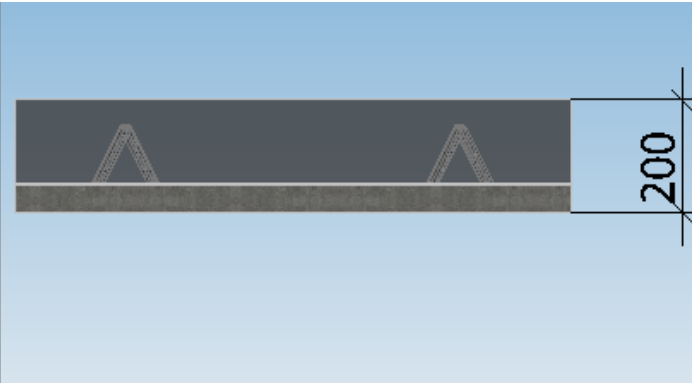


Bild 11. Sammanställning av kostnadsberäkning för standardarmering (Bidcon).

Kalkylen är beräknad för hela plattan dvs 3 plattor i bredden med det totala dimensionerna 8x7,2 meter. Den totala kostnaden för konstruktionen landar på 59 408 kr. Här kan man tydligt se att de största kostnaderna ligger vid plattbärlaget, betongen samt sekundärarmeringen. Delar man upp kostnaden i material och arbetskostnad så ser man att materialkostnaden uppgår till 71 % av kostnaden och arbetet endast 29 %.

Posten som kommer påverkas av bytet till fiberbetong är armering K500C-T Ø10 som i kalkylen ovan ligger på 8394 kr. Denna kostnaden uppgår till 14,1 % av den totala kostnaden. Tabell 4 samt bild 12 redovisar kostnadsberäkningar för ett plattbärlag med fiberbetong beräknat med Bidcon.

Benämning	En	Åtgärn	Mängd	Refe	Tid	Material	Arbete	Nettoko [BDT-en]	Nettoko [totalt]
Avjämnning med sloda och laser	m2	1,000	57,600	0,030	0,030	0,00	12,60	12,60	726
Betong C25/30, i bjälklag (kran)	m3	0,150	8,640	0,340	0,340	1 246,88	142,80	208,45	12 007
Plattbärlag, slakarmerad betong t=50	m2	1,000	57,600	0,250	0,250	415,62	105,00	520,62	29 988
Skarvnät	m2	1,000	57,600	0,050	0,050	35,13	21,00	56,13	3 233
Bockryggar inkl. stämp	m2	1,000	57,600	0,140	0,140	29,06	58,80	87,86	5 061
Stålfiber	kg	18,000	1 036,800		0,000	20,00	0,00	360,00	20 736

Tabell 4. Kostnadsberäkning av plattbärlag med Fiberbetong (Bidcon)

Sammanställning	
S:a Mängd kalkylpost (m2)	57,60
Kostnad [SEK/m2]	Kostnad
Material	1 026,84
Arbetare	218,82
Total kostnad/m2	1 245,66
Total kostnad [57,60 m2]	71 749,84
S:a kostnad kalkylpost [57,60 m2]	71 749,84
Tid [tim/m2]	Tid
Global Objektsfaktor	1,00
Total tid/m2	0,52
Total tid [57,60 m2]	30,01
S:a Tid kalkylpost [57,60 m2]	30,01

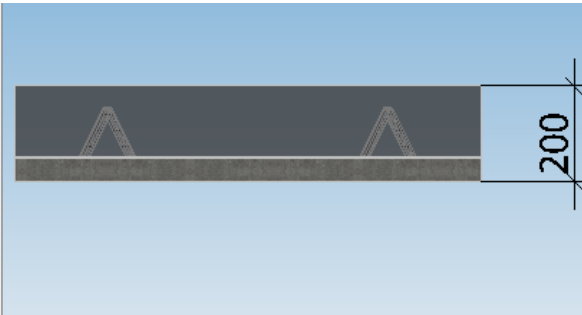


Bild 12. sammanställning av plattbärlag med Fiberbetong (Bidcon)

Då plattbärlag med fiberbetong saknades som utförande i Bidcon utförde vi de ändringar som krävs från standardutförandet. Fiberbetongsutförandet beräknades på sådant vis att sekundärarmeringen i form av K500C-T Togs bort och fiberbetong lades istället till. Fiberbetongmängden uppgår till ca 1036 kg totalt för hela konstruktionen, vilket är 18 kg/m² vilket beräknats i kapitlet hållfasthetsberäkningar samt i bilagorna. Priset för fiberbetong uppgår till 20 kr/kg och är taget från Sikas prislista.

Den totala kostnaden för konstruktionen uppgår nu till 71 749 kr, vilket är en ökning på 12 341 kr eller ca 21 %. Hela denna förändringen ligger i armeringspriset. En anledning till den stora prisökningen är att det krävs mycket mer fiberarmering än vad det krävs armeringsjärn. Fiberarmeringen uppgår till 18 kg/m² medans armeringsjärnen endast kräver 5,9 kg/m².

Vi kan däremot se att den totala tiden är 25 % snabbare för fiberbetongsutförandet. Den vinst i tid är något som kan kopplas till resterande kostnader som inte tas upp i detta räkneexempel.

3.3 Miljö

3.3.1 Traditionellt utfört plattbärlag

Betongkvaliteten för exemplet vi räknat på är satt till C25/30. Vi har inte gjort någon egen betong blandning utan utgått från en rekommendation från betongrapport nr 13 Silfwerbrand (2013) där de rekommenderar en cementhalt på 325 kg/m³ och ett vct på 0,55 eftersom det gav betongen bra egenskaper med hänsyn till sprickbildning. Dock så påverkar vct talet hur stark betongen samt hur arbetsbar den är men på grund av att vi inte vet exakt hur blandningen ska vara för att få C25/30 med tillfredsställande arbetsbarhet för gjutning så har vi valt att behålla en cementhalt på 325 kg/m³ för vår traditionellt utförda plattbärlag.

CO₂ utsläppen för cementen är satt 750 kg per 1000 kg cement baserat på ett arbete där de kontrollerat CO₂ utsläppen vid produktion av cement (Zakhoy,2016). Vår totala mängd cement som behövs för konstruktionen blev 2808 kg och ett CO₂ utsläpp på 2106 kg.

För armeringen i plattan har vi använt 370 kg per 1000 kg som värdet för CO₂ utsläpp vid produktionen av armerings stålet. Detta baserat på Celsas steelservice(2021) datablad för 6 m armeringsjärn. Vidare med detta värdet och en total armeringsmängd på 340 kg blev resultatet ett CO₂ utsläpp på 125,8 kg.

Vidare kan man se att där är stor skillnad på mängden CO₂ utsläpp för cementen kontra stålet i konstruktion. CO₂ utsläppen från cementen står för hela 94 % av den totala mängden utsläppt CO₂ och den totala mängden CO₂ utsläpp för konstruktionen blev 2231,8 kg.

Beräkningar redovisas i Bilaga D

3.3.2 Fiberbetong utfört plattbärlag

Ett plattbärlag utfört med fiberbetong innehåller liknande delar som traditionellt utfört plattbärlag med att konstruktionen är utförd med betong samt stål för att uppnå de hållfasthetsvärden som behövs för att klara de krafter det utsätts för i konstruktionen. Miljövärdena för betongen är 750 kg CO₂ per 1000 kg cement och mängden cement var 120 kg/m³ betong.

Miljövärdena för stålet i konstruktionen skiljer från standard utfört och det går att diskutera hur rimligt de olika antagna värdena för att producera stålfiber är. Exempelvis för armeringsjärn är det 370 kg CO₂ per 1000 kg men detta går inte att använda samma CO₂ utsläppsmängd per kg stål för fibrerna i fiberbetong eftersom de skiljer sig åt i hur de är utformade. Om man skulle titta på skillnaden mellan armeringsjärn och fiber så är armeringsjärn större och längre än den för fibrerna i fiberbetong. Dock behövs en större mängd fiber i konstruktionen som vi har konstaterat baserat på våra hållfasthetsberäkningar. Det behövs hela 1036 kg fiber kontra 340 kg armeringsjärn. Men som sagt stål fibrerna är enklare att producera och man kan i större utsträckning använda återvunna material. T.ex. stål från bildäck eller helt andra material som gamla fiskenät går också att använda se kapitel 2.1.3. Dock ändrar dessa återvunna fibrerna hållfasthetens värdena för fiberbetongen men principen att man har större möjligheter med valet av material och möjligheten att använda mer återvunnet material till fiber i fiberbetong kvarstår.

Vårt val av värdet för CO₂ utsläpp per kilo stålfiber blev 130 kg CO₂ per 1000 kilo stål med motiveringen att det främst används så kallat sekundär stål samt att processen att producera stålfibrerna är effektiv och har minimalt CO₂ utsläpp. Detta värdet är baserat på värden från ett arbete utfört av Norden med målet att kontrollera CO₂ utsläppen vid återvinning av olika material. I vårt fall är det stål som är det vi följer och där redovisar de ett CO₂ utsläpp på 110 kg per 1000 kg stål för Norge (Hillman et al, 2015). Vi har antagit samma värde för produktion i Sverige samt adderat 20 kg CO₂ per 1000 kilo stål för processen att forma och kapa stålet till den önskade fiber formen.

Vidare blev den mängd fiber som konstruktionen behöver enligt våra beräkningar 1036,8 kg och det CO₂ utsläppet för denna mängden blev 134,8 kg.

Cement mängden är större än i det traditionellt utförda plattbärlaget eftersom betongen i fiber utfört plattbärlag behöver egenskaper som är mer påtagliga än de egenskaper betongen för traditionellt utfört plattbärlag har. Därför i vår valda betongblandning för fiber betongen blev cement mängden 4233,6 kg och CO₂ utsläppet för denna mängden cement blev 3175,2 kg.

Efter detta kan man se att cementen släpper ut en stor mängd CO₂ på hela 3175,2 kg medan fibrerna släpper ut 134,8 kg CO₂. Cementen står alltså för 96 % av mängden CO₂ som släpps ut och den totala mängden CO₂ som släpps ut blev 3310 kg.

Beräkningar redovisas i Bilaga E

4. Diskussion

Vi har i detta arbete ställt oss frågan om ett plattbärlags hållfasthetsegenskaper kan förbättras genom att tillsätta stålfiber. Vi kan nu se att detta är fullt möjligt varav den största förbättringen är för plattbärlagets sprickegenskaper. Mindre sprickor bildas samt de eftersprickbildande egenskaperna förbättras. När man läser om experiment som utförts på fiberbetong om deras hållfasthet så rekommenderas ofta att ha en kombination med fiberbetong samt traditionell armering. Detta har i experimenten gett bra resultat och kan tillämpas i vårt exempel som ett kanske bättre alternativ än enbart fiber.

Eftersom att det vid användning av fiberbetong inte går att koncentrera armering vid de ställen armeringen behövs som man kan vid traditionellt utförd armering. En idé med kombinationsarmering kan vara att använda fiberns hållfasthet för den konstanta kraften som uppkommer i bjälklag och använda armering som extra stöd när kraften överstiger fiberns hållfasthet. Detta i sin tur skulle kunna leda till en kraftig minskning av armeringsmängd vid fiberbetongs utförd bjälklag.

Hållfasthetsberäkningen i 3.2.3 är baserat på experiment med olika betongblandningar. Varje betongblandning är testad med 3 olika exemplar vilket gör att det enbart är ett preliminärt värde. Om man ska ha ett säkert värde får man antingen göra en egen blandning så den blir exakt lika som den man ska ha vid användning och göra sina tester på för att kontrollera att fiberbetongen uppfyller de hållfasthetsvärdena man söker, alternativt kontakta någon som har kunskap inom området, t.ex. en betongleverantör.

Vid beräkningen av erforderlig fibermängd så finns det olika sätt. Eftersom vi följt FIBs metod för beräkning så kan man ifrågasätta om den hållfasthet man får ut av den metoden och i såna fall hur mycket den skiljer sig från andra metoder. Alternativt borde man kunna använda en metod där man kontrollerar momentkapaciteten på en meter bred remsa av plattan och använder ekvationer för balkar och jämföra resultaten på hållfasthet för att se om man får liknande resultat för att kontrollera validiteten på resultatet man får ut på dessa metoder för de borde teoretiskt bli ungefär lika på en meter bred remsa.

Ett av målen för detta arbete var att undersöka om ett plattbärlag med fiberbetongsarmering kunde mäta sig med ett med armeringsjärn ur ett ekonomiskt perspektiv. Om så var fallet skulle denna armeringsmetod ha en klar fördel och således ge fiberarmeringen ett nytt användningsområde. Men efter utförda kostnadskalkyler i kombination med hållfasthetsberäkningar kan denna armeringsmetod till mångt och mycket ses som en klar förlorare jämfört med det vanliga sättet att armera. Den kostnadsvinst som man får genom att reducera armeringsarbetet äts istället upp av den stora mängden stålfiber. Fiberbetongen kräver 3 gånger så mycket armering som ett av standardarmering, detta i kombination med att priset för stålfiber i kg är ungefär dubbelt jämfört med järn gör att priset istället blir mycket högre. Vid det inledande stadiet av detta arbete trodde vi inte att plattan skulle kräva en så stor fibermängd som det i slutändan faktiskt krävdes, inte heller visste vi att priset skulle vara så mycket högre för stålfiber. Att det krävs så stora mängder fiber härstammar från det att fibern i sig har en ganska liten direkt påverkan på draghållfasthet utan istället bidrar merdelen av sina egenskaper efter det att betongen spricker.

För vidare studier föreslås således en armeringsmetod där merdelen av draghållfastheten tas upp av slakarmering samt att fiberbetongen förbättrar plattans sprickbildningsförmåga samt tar upp en mindre del av draghållfastheten. För att se om ett kombinationsarmerat plattbärlag med större mängd slakarmering i sekundärarmeringen är en hållbar metod bör vidare studier tas fram.

Priset på stålfibern är något som hade stor påverkan på slutpriset. Vi har inte utfört några undersökningar gällande varför priset är så mycket högre än vad armeringsjärn är då detta inte anses vara relevant för arbetet men det kan vara intressant för framtida studier. En anledning till det höga priset kan vara att det är en krävande produktionsmetod. En annan anledning kan vara att det inte är ett tillräckligt hög efterfrågan, en ökning i efterfrågan genom ett utvidgat användningsområde hade isåfall haft en stor påverkan på priset, men detta är bara spekulationer. En minskning i priset för stålfiberna skulle ha en stor påverkan på slutpriset, vilket skulle göra denna lösningen mer konkurrenskraftig.

Från kostnads kalkylen kan vi däremot tydligt se att tiden kan drastiskt reduceras med denna metoden. Även fast en mer specificerad studie för kostnadsberäkningen krävs där tiden kan preciseras är detta en viktig del. Genom att minska byggnationstiden kan man både spara pengar och göra byggherren glad. Det är svårt att säga exakt hur mycket tidsperspektivet skall värderas men det är tydligt att denna metod kan vara konkurrenskraftig vid arbeten med en kort byggnationstid krävs.

Från den teoretiska studien som utfördes i kapitel 2.3 ser vi att det finns flera arbetsmoment i armerings och betong-arbetet som kan ha en negativ effekt på kroppen. Med det nya utförandeförslaget ser vi att detta kommer med både fördelar och nackdelar ur arbetsmiljösynpunkt. De största fördelarna ser vi vid armeringsarbetet. Då armeringsarbetet på plats till stora delar försvinner så försvinner även de tunga lyften och de dåliga arbetsställningarna. Den stora nackdelen kommer istället vid gjutningen då stålfiberna påverkar arbetbarheten. Då fiberbetongsförslaget innehåller en så stor mängd stålfiber så kommer plattan vara svårgjuten och en stor kompetens kan krävas för att få en bra platta utan bollbildning och en fin yta.

Vidare kan det vara relevant att diskutera hur högt företagen och arbetarna värderar arbetsmiljön. Arbetaren bör värdera sin arbetsmiljö högt då skador på kroppen kan orsaka förtidspensioneringar. Företagen bör också ha en hög fokus på arbetsmiljö då en bra arbetsmiljö kan locka arbetstagare och en dålig arbetsmiljö kan riskera att du förlorar medarbetare. Även inom detta område kan vidare studier utföras för att se om arbetsmiljön skulle vara en lockande faktor för företagen att välja att armera med fiberbetongsutförandet eller liknande utföranden. Vi ser att inom kategorin arbetsmiljö är fiberbetongen en klar vinnare, även fast arbetsmetoderna vid gjutning kan kräva hög kompetens samt vidareutvecklade metoder för minskning av bollbildning.

Miljöaspekten är svår att avgöra för vårt exempel eftersom miljöaspekten omfattar hela konstruktionen i dess alla delar. Allt från transporter av material till livslängd och underhåll av konstruktionen. Men utifrån våra resultat kan vi se att fiberbetong utfört bjälklag har betydligt större miljöpåverkan än standard utfört bjälklag. Den största delen i miljöpåverkan var definitivt produktionen av cement som stod för 94 % av CO₂ utsläppen för traditionellt utförande och 96 % av fiberbetongs utfört. För fallet fiberbetong utfört finns det dock möjligheter att modifiera fiberbetongsblandningen då denna har högre cementmängd per m³ än betongblandning som

används vid traditionellt utfört. Vidare kan både fiberbetong och traditionell betong ha stor fördel av en framtagningsprocess av cement som släpper ut mindre CO2 då båda använder cement.

4.1 Validiteten av studien samt dess mål

Denna delen av kapitlet diskuteras validiteten av studien som utförts samt vad vi hoppas den kan uppnå. Detta arbete är inte tänkt att utmynna i ett revolutionerande arbetssätt, utan istället är den tänkt att bygga vidare på det kunskapsområde som redan finns samt att väcka en tanke om hur fiberbetongens användningsområde kan vidareutvecklas i framtiden.

När vi inledde denna studie visste vi inte hur stor mängd stålfiber som faktiskt skulle krävas för att täcka hållfasthetskraven, inte heller stålfibers kostnad fanns lättillgängligt. Vidare fann vi inte heller någon metod att utföra ett kombinationsarmerat plattbärlag. Detta gjorde att det var svårt att se om en metod med ett kombinationsarmerat plattbärlag skulle vara möjligt. Detta visar att detta är ett område inom byggbranschen vars information skulle gynnas av att lyftas till ytan. Därför hoppas denna rapport skapa en större klarhet gällande hur stålfiber kan och inte kan användas i ett kombinationsarmerat plattbärlag.

5. Slutsatser

Syftet med denna rapport har varit att undersöka om ett fiberbetongsarmerat plattbärlag är att föredra i någon eller flera av kategorierna kostnad, arbetsmiljö, hållfasthet och miljö. Vi ser inte att det går att dra en solklar vinnare i alla dessa kategorier, men vi ser däremot att det kan finnas anledningar att välja att använda fiberbetong i sitt plattbärlag, även om den metod vi valt inte är den som väljs. De slutsatser vi kan dra efter utförda litteraturstudie samt beräkningar kommer presenteras i detta kapitel samt avslutas med de områden som vi ser kan studeras vidare för att föra fiberbetongen och denna metoden vidare.

5.1 Hållfasthetsegenskaper

Det går att ersätta armeringen vid stöd med fiberbetong för vårt exempel och dess förutsättningar. Detta dock med en betydligt större mängd stålfiber än den behövda mängden armeringsjärn. För vårt exempel blev den totala mängden armering i fiberbetong utfört bjälklag 1036,8 kg och den totala mängden armering i traditionellt utfört 340 kg.

5.2 Kostnadsberäkning

Kostnadsberäkningarna visade att den totala kostnaden för standardutförandet landade på 59 408 kr, vilket skall jämföras med fiberbetongsutförandet som i slutändan landade på 71 749 kr, Detta är en prisökning på 21 % och hela denna prisökningen kommer ligga i armeringspriset. Anledningen till den stora prisökningen ligger i att fiberarmeringen uppgår till 18 kg/m² medans armeringsjärnen endast kräver 5,9 kg/m² samtidigt som materialpriser för fiberbetong är nästan dubbelt så dyrt per m². Vi ser således standardarmeringen är att föredra när det kommer till kostnaden. Däremot framgick även från kalkylen att tiden kan reduceras med upp till 25%.

5.3 Miljön

Miljöpåverkan vid produktion för fiberbetong utfört plattbärlag är betydligt större än för traditionellt utfört plattbärlag. För fiberbetong utfört plattbärlag blev den utsläppta CO₂ mängden 3310 kg medans för traditionellt utfört blev den utsläppta CO₂ mängden 2231,8 kg. Detta är en skillnad på 1078,2 kg.

5.4 Arbetsmiljö

Det framgår av litteraturstudien att flera för och nackdelar kan uppkomma från förändringen i arbetsätt till fiberbetong varav de största fördelarna kommer i armeringsarbetet som nästan försvinner helt vilket gör att mycket tunga lyft elimineras. Däremot framgår det även att nackdelar kan framkomma eftersom den stora mängden stålfiber i blandningen försvårar gjutarbetet. För denna fråga finns det inget svart eller vitt svar. Vi ser däremot att den minskade andelen tunga lyft kan minska andelen skador i branschen och ser därför utförandet med fiberbetong som vinnare i denna bemärkelsen.

5.5 Vidare forskning

Vi ser att det definitivt finns möjlighet för fiberbetongen att användas i kombination med plattbärlag. Men vi ser att detta främst kan ske genom ett annorlunda utförande än det vi föreslagit. Det är oundvikligen så att krafterna i plattbärlaget kommer distribueras olika, större krafter kommer till exempel verka i vid stöden. Vi ser därför att en lösning med en mycket lägre mängd stålfiber i kombination med armeringsjärn som monteras vid stöd. Detta är en metod som vi ser kan vara mer konkurrenskraftig då den fortfarande reducerar armeringsmängden samt förbättrar sprickegenskaperna men samtidigt inte kräver de stora mängderna stålfiber som våran lösning gör. Således är detta en lösning som vi anses kan studeras vidare i framtiden.

Vi såg även att en stor anledning till det höga priset för fiberbetongsutförandet var det höga priset för stålfibern. Ett minskat pris på stålfibern skulle självklart ha en stor påverkan på om denna armeringsmetoden skulle vara användbar ur ett ekonomiskt perspektiv. Vi anser det därför vara en bra idé att studera vidare varför stålfibern har ett så högt pris och om priset kan reduceras.

Referenslista

Abetong. Bjälklagselement - plattbärlag. abetong.

https://www.abetong.se/sv/bjalklagselement_plattbarlag (Hämtad 2021-04-29)

Abid, A., & Franzén, K. B. 2011. Design of Fibre Reinforced Concrete Beams and Slabs. Examensarbete, Chalmers University of Technology.

<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/146607.pdf>

Afroughsabet, V., Biolzi, L., & Ozbakkaloglu, T. 2016. High-performance fiber-reinforced concrete: a review. Journal of Material Science, 51.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44249054/Review_Paper.pdf?1459409826=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DHigh_performance_fiber_reinforced_concre.pdf&Expires=1619708609&Signature=SPsCv9tnp0~3YK3D6jJRRnYXme0C4tbRxKQOt2KEXuZsvV4luJSa3C63

Arbetsinstruktion - plattbärlag. Byggai.se. <http://www.byggai.se/Sidor/Filer/0020-34ESB412.pdf> (Hämtad 2021-04-29)

Armering på plattbärlag. Byggai.se.

<https://byggai.se/ai/0021-34ESC1.pdf> (Hämtad 2021-04-29)

Beddar, M. 2004. Fibre-reinforced concrete – Past, present and future. Concrete, 38.

https://www.researchgate.net/publication/294302318_Fibre-reinforced_concrete_Past_present_and_future

Berggren, J., & Andersson, M. 2016. Optimering av betongbjälklag med hänsyn till avgörande faktorer. Examensarbete. Högskolan i Halmstad. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1293999/FULLTEXT01.pdf>

Betongföreningen. 1997. Stålfiberbetong - rekommendationer för konstruktion, utförande och provning. 2. uppl. Stockholm: Svenska betongföreningen.

BFS 2010:28 EKS 7. Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2008:8) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)

Brandts, A. M. 2008. Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering. *Composite Structures*, 86.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822308000597>

Celsa steelservice. Rakstål K500C-T 6m.
<https://shop-se.gcelsa.com/armering/rakstal/rakstal-k500c-t-6m> (Hämtad 2021-04-29)

Dala Cement. Plattbärlag.
<https://www.dalacement.se/produkt/plattbarlag/> (Hämtad 2021-04-29)

Ejlertslunds grus & betong. Fiberarmerad betong. ejlertslund.se.
http://www.ejlertslund.se/fiberarmerad_betong.asp (Hämtad 2021-04-30)

Faconi, L., Plizzari, G., & Minelli, F. 2018. Elevated slabs made of hybrid reinforced concrete: Proposal of a new design approach in flexur. *Structural Concrete*, 20.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/suco.201700278>

Figueiredo, A. D., & Ceccato, M. R. 2015. Workability Analysis of Steel Fiber Reinforced Concrete Using Slump and Ve-Be Test. *Material Research*, 18.
https://www.researchgate.net/publication/283621632_Workability_Analysis_of_Steel_Fiber_Reinforced_Concrete_Using_Slump_and_Ve-Be_Test

Grzybowski, M., & Shah, S. P. 1990. Shrinkage Cracking of Fiber Reinforced Concrete. *Material Journal*, 87.

Hillman, K., et al., 2015. Climate benefits of material recycling. Nordic Council of Ministers.
<https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:839864/FULLTEXT03.pdf>

Hinders, S. 2011. Dimensioneringsmetoder för pådäck i stålfiberarmerad betong. Examesnarbete. KTH. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:431138/FULLTEXT01.pdf>

Hjort, B. 2021. Concrete Technology and concrete construction - Compendium.

Johannesson, P, Vretblad, B. 2011. Byggformler och tabeller. 11 uppl.

Liew, K. M., & Akbar, A. 2020. The recent progress of recycled steel fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 232.

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061819326844?casa_token=LZDfiiiHFvQAAAAA:OlaDoKNtSHT0FFf3M4MzAG-X3o3DpF9f99bQ3KkirILI5_0ei5Mq4V-wWEzeJP0DspR0qFmj1IU

Lindén, F., & Wahlström, E. 2008. Uppföljning av tidsutnyttjande och byggkostnad för platsgjuten stombyggnad. Lunds Tekniska Högskola.

<https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=3172419&fileOId=4457880>

Löfgren, I. 2003. Lattice Girder Elements - Investigation of Structural Behaviour and Performance Enhancements. *Nordic Concrete Research*, 1.

https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/9244/local_9244.pdf

Löfgren, I. 2005. Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction. Chalmers University of Technology. <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/8627/8627.pdf>

Mohaghegh, A. M., Silfwerbrand, J., & Årskog, V. 2017. Flexural Behaviour of Medium-Strength and High-Performance Macro Basalt Fibre Concrete Aimed for Marine Applications. *Nordic Concrete Research*, 57. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1175707/FULLTEXT01.pdf>

Montagehandbok Skalvägg Plattbärlag. Byggelement. https://byggelement.se/siteassets/5-nyhetsrum/63-broschyrer/pdfer/montage-och-sakerhet/montagehandbok_skalvagg_plattbarlag_1605.pdf (Hämtad 2021-04-29)

Neville, A. M., & Brooks, J. J. 2010. *Concrete technology*. 2nd ed. Longman Scientific & Technical, New York. <http://www.icivil-hu.com/Civil-team/3rd/Building%20Material/Concrete%20Technology,%202nd%20Edition%20Book.pdf>

Pajak, M, Ponikiewski, T. 2013. Flexural behavior of self-compacting concrete reinforced with different types of steel fibers. *Construction and building materials*. 47: 397-408.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813004704>

Plattbärlag. Svensk Betong. <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-plattsgjutet/statik/flerbostadshus/bjalklag/plattbarlag> (Hämtad 2021-04-28)

Plattbärlag (PL). Svensk Betong. <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-prefab/statik/plattbarlag-pl> (Hämtad 2021-04-28)

Sandberg, J., & Hjort, B. 1999. Rationell armering: ergonomi - ekonomi - miljö. Fundia Bygg AB.

SBUF. Armering över plattbärlagsskarv. SBUF INFORMERAR, 08:20. https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/InfoSheets/PublishedInfoSheet/b3dabb85-0c57-4eca-a91b-83bf0c5bfe1c/152_152_SBUF%2008-20.pdf (Hämtad 2021-04-29)

Silfwerbrand, Johan. 2013. Industrigolv av betong. Svenska Betongföreningen, 13. <https://betongforeningen.se/db/jubileum/dokument/13802.pdf>

Silfwerbrand, J. 2020. Fiberbetong – ett kapitel för sig. <https://betong.se/2020/10/31/fiberbetong-ett-kapitel-for-sig/> (Hämtad 2021-04-29)

Sjödén, R., & Lind, J. 2016. Fiberbetong - Nulägesrapport 2016. Examensarbete, Högskolan i Halmstad. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1072875/FULLTEXT01.pdf>

Skandinaviska Byggelement. Plattbärlag. Skandinaviska Byggelement. <https://byggelement.se/produkter/plattbarlag/> (Hämtad 2021-04-29)

SS-EN 1992-1-1:2005 Eurocode 2: Dimensionering av betongkonstruktioner

Strandberg, B. 2018. Bygga hus - illustrerad bygglära, 3d ed.. Studentlitteratur.

Sun, W., Chen, H., Luo, X., & Qian, H. 2001. The effect of hybrid fibers and expansive agent on the shrinkage and permeability of high-performance concrete. Cement and concrete research, 31. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884600004798?casa_token=1agvAZ_WCPfQAAAAA:ILonJ1-yeuNqtQ7Vf0yZllyQ91U8yEcCWxV4jVD-gkPM_cIps752OOZveTtax3JviJuxKQJKswc#!

Svenska betongföreningen. 1997. Stålfiberbetong - rekommendationer för konstruktion, utförande och provning. Betongrapport, 4.

Svensk Betong. Kontorshus - plattbärlag. Svenskbetong. <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-platsgjutet/statik/kontorshus/bjalklag/plattbarlag> (Hämtad 2021-04-29)

Sveriges Byggindustrier. 2007. Betong- och armeringstekniker. Sveriges byggindustrier.

Yazıcı, S., Inan, G., & Tabak, V. 2007. Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC. Construction and Building Materials, 21.

Zakhoy, Avan. 2016. CO₂- utsläpp samt upptag hos portlandcement och blandcement under dess livslängd. Examensarbete. Karlstads universitet.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1038501/FULLTEXT01.pdf>

Bilagor

Bilaga A

Dimensionerande krafter

Vissa värden för bjälklagets dimensioner, dimensionerande krafter och moment ekvationerna är hämtade från EKS 10 samt Byggformler och tabeller.

Bjälklagets dimensioner

$h = 0,2 \text{ m}$	Tjocklek bjälklag
$l = 8 \text{ m}$	Längd
$b = 7,2 \text{ m}$	Bredd
$d = 0,15 \text{ m}$	Effektivt höjd

Dimensionerande kraft värden

$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	Egentyngd armerad betong per kubikmeter
$g_k = h * \gamma = 5 \text{ kN/m}^2$ kvadratmeter	Egentyngd armerad betong per
$q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$ $\psi_1 = 0,5$	Nyttig last
$\gamma_d = 1$	Säkerhetsklass 3

$$6.10a = \gamma_d * 1,35 * g_k + \gamma_d * 1,5 * \psi_1 * q_k = 8,625 \text{ kN/m}^2$$

$$6.10b = \gamma_d * 0,89 * 1,35 * g_k + \gamma_d * 1,5 * q_k = 9,7575 \text{ kN/m}^2$$

Kommer enbart använda 6.10b eftersom $6.10b > 6.10a$

$$q_d = 9,7575 \text{ kN/m}^2$$

Moment i fält

Konstanter hämtad från Johannesson, Vretblads bok Byggformler tabeller (2011, 105)

$$l/b = 1,111$$

Dimensionerande krafter fält

$$\alpha_{af} = 0,02028$$

$$\alpha_{bf} = 0,0146$$

$$m_{af} = \alpha_{af} * q_d * b^2 = 10,26 \text{ kNm}$$

$$m_{bf} = \alpha_{bf} * q_d * b^2 = 7,385 \text{ kNm}$$

Dimensionerande krafter stöd

Långsida

$$\alpha_{bs} = 0,03638$$

$$m_{bs} = \alpha_{bs} * q_d * b^2 = 18,40 \text{ kNm}$$

Kortsida

$$\alpha_s = 0,02837$$

$$m_{as} = \alpha_s * q_d * b^2 = 14,35 \text{ kNm}$$

Bilaga B

Dimensionering för traditionellt armerings utförande

Bjälklagens dimensioner

$h = 0,2 \text{ m}$ Tjocklek bjälklag

$l = 8 \text{ m}$ Längd

$b = 7,2 \text{ m}$ Bredd

Värden för armeringsjärn och betong

$f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$ Betong C25/30 hållfasthet

$f_{yd} = 435 \text{ MPa}$ Armering B500BT

Längd Järn

$$e_1 = m_{bs}/m_{bf} \approx 2,5 \text{ m}$$

$$e_2 = m_{as}/m_{af} \approx 1,4 \text{ m}$$

e_1 används som e eftersom $e_1 \geq e_2$

$$e + d + e/2 + d = 5,3 \text{ m}$$

Dimensionering med hänsyn till stödmoment

Tagit samma effektiva höjd

Järn längs långsida

$$d = 0,15$$

$$m = \frac{m_s}{l * d^2 * f_{cd}} = 0,0511$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 0,0512$$

$$A_s = \omega * l * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 2,8 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m} \quad \text{Erforderlig armeringsarea}$$

$$A_{10} = \frac{\pi * d^2}{4} = 7,85 * 10^{-5} \text{ m}^2 \quad \text{Area för 10 mm armeringsjärn}$$

$$s = \frac{A_{10}}{A_s} = 0,278 \approx 0,275 \text{ m} \quad \text{Avstånd mellan järnen i plattan}$$

Antal järn

$$8/0,275 + 1 \approx 30 \text{ st} \quad \text{Längd 5,3 m}$$

Järn längst kortsida

$$m = \frac{m_s}{b * d^2 * f_{cd}} = 0,0443$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2m} = 0,0444$$

$$A_s = \omega * b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 2,2 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m} \quad \text{Erforderlig armeringsarea}$$

$$A_{10} = \frac{\pi * d^2}{4} = 7,85 * 10^{-5} \text{ m}^2 \quad \text{Area för 10 mm armeringsjärn}$$

$$s = \frac{A_{10}}{A_s} = 0,356 \approx 0,35 \text{ m} \quad \text{Avstånd mellan järnen i plattan}$$

Antal järn

$$7,2/0,35 + 1 \approx 22 \text{ st} \quad \text{Längd 5,3 m}$$

Bilaga C

Dimensionering för fiberbetongs utförande

Bjälklagets dimensioner

$$d = 0,15 \text{ m}$$

Tjocklek bjälklag

$$l = 8 \text{ m}$$

Längd

$$b = 7,2$$

Bredd

Momentkapacitet med enbart hänsyn till fibrerna

$$f_{R3} = 6,32 \text{ MPa}$$

$$f_{Ftu} = f_{R3} / 3 = 2,11 \text{ MPa}$$

$$m_{Rd} = (f_{Ftu} * d^2) / 2 = 23,7 \text{ kNm}$$

Kortsida mot kortsida

$$m_{Rd} \geq m_s \text{ OK!}$$

Långsida mot långsida

$$m_{Rd} \geq m_b \text{ OK!}$$

Bilaga D

CO2 utsläpp för traditionellt utfört

Förutsättningar för plattan

$$l = 8 \text{ m} \qquad \text{Längd}$$

$$b = 7,2 \qquad \text{Bredd}$$

$$d = 0,15 \qquad \text{Effektivt höjd}$$

$$\text{Plattans volym} = l * b * d = 8,64 \text{ m}^3$$

Järnmängd

$$A_{10} = \frac{\pi * d^2}{4} = 7,85 * 10^{-5} \text{ m}^2 \qquad \text{Area för 10 mm armeringsjärn}$$

$$\text{Antal erforderliga järn 5,3 m} = 104 \text{ st}$$

$$\text{Stål Densitet} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Erforderlig mängd stål} = 5,3 * 104 * 7,85 * 10^{-5} = 0,0432692 \text{ m}^3$$

$$\text{Erforderlig kg stål} = 7850 * 0,0458 = 340 \text{ kg}$$

Cementmängd

$$\text{Cementhalt} = 325 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Mängd cement} = 325 * 8,64 = 2808 \text{ kg}$$

CO2 mängd

$$\text{CO}_2 \text{ per kg cement} = 0,75 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2 \text{ mängd för cementen} = 0,75 * 2808 = 2106 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2 \text{ per kg stål} = 0,37 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2 \text{ mängd för stålet} = 0,37 * 340 = 125,8 \text{ kg}$$

Bilaga E

CO₂ för stålfiber

Fibermängd

$$\text{Mängd fiber per kubik} = 120 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Mängd fiber} = 120 * 8,64 = 1036,8 \text{ kg}$$

Cementmängd

$$\text{Cementhalt} = 490 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Mängd cement} = 490 * 8,64 = 4233,6 \text{ kg}$$

CO₂ mängd

$$\text{CO}_2 \text{ per kg cement} = 0,75 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2 \text{ mängd för cementen} = 0,75 * 4233,6 = 3175,2 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2 \text{ per kg stål} = 0,13 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2 \text{ mängd för stålet} = 0,13 * 1036,8 = 134,8 \text{ kg}$$

Rudolf Bengtsson

Albin Lundgren



Besöksadress: Kristian IV:s väg 3
Postadress: Box 823, 301 18 Halmstad
Telefon: 035-16 71 00
E-mail: registrator@hh.se
www.hh.se