

Bjälklag i FRP-material

- Fiber reinforced plastic



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Byggt teknik med Arkitektur**

Examensarbete:
Andreas Backenhof
Henrik Danred

© Copyright Andreas Backenhof, Henrik Danred

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2008

Sammanfattning

Bjälklag i FRP material

Syftet med detta examensarbete är att vidareutveckla glasfiberbalkar så de kan användas som mellanbjälklag i småhus.

Förebilden var ett "Delta Deck" som utvecklats av Altakor Group och används i brokonstruktioner. Denna profil har vi sedan modifierat och optimerat för bruk i småhus. Den största skillnaden är att vi valt att inte använda den så kallade "snap-fit"-tekniken. Detta eftersom snap-fit gör profilen mer avancerad att tillverka och mycket dyrare. Syftet med våra profiler är att de ska vara enkla att tillverka och smidiga att montera.

Vi har kommit fram till att det går att bygga ett mellanbjälklag av glasfiber och att man då kan nå en spännvidd på hela 10 meter trots att bjälklaget endast är 200mm högt.

I examensarbetet har vi även tagit fram konstruktionsförslag där bjälklag möter yttervägg. Väggar vi använt oss av uppfyller BBR's nya tuffa energikrav.

Nyckelord: glasfiber, bjälklag, snap-fit, FRP, kolfiber

Abstract

Joists in FRP materials

The purpose with this thesis is to further develop a fibreglass beam so they can be used as joist in single-family houses.

The model was “Delta deck”, developed by Altakor Group and used in bridge constructions. This profile we modified and optimized for use in private homes. The main difference is that we didn’t choose to use their so called “snap-fit” technology. This because the snap-fit profile makes more manufacturing more advanced and therefore much more expensive. The purpose of our profiles is that they should be simple to manufacture and convenient to install.

We have come to the conclusion that it is possible to build a joist of fibreglass, and to reach a whole range of 10 metres, despite floor plenum is only 200 mm high.

In the thesis we have also added suggestions of constructions where the joist meets the outer wall. The walls we have used comply with the BBR’s tough new energy requirements.

Keywords: fibreglass, joists, snap-fit, FRP, carbon fibre

Förord

Detta examensarbete utreder möjligheten att tillverka ett mellanbjälklag av glasfiber med Altakor group's Delta deck som förebild.

Examensarbetet är utfört vid Lunds Universitet – Campus Helsingborg inom Byggt teknik med arkitektur

Vi vill tacka vår handledare Lars Sentler för all hjälp och tips. Vidare tackar vi Per Orre på Fiberkonst AB i Malmö som ställt upp med studiebesök i fabriken samt tips och idéer.

Innehållsförteckning

1 De nya materialen	2
1.1 Materialhistoria	2
1.2 FRP-materialen	2
1.3 Nya miljökrav	3
1.4 Befintliga konstruktioner	4
1.4.1 Transformatorstationer	4
1.4.2 Armering i betongkonstruktioner.....	4
1.4.3 Brokonstruktioner	4
1.4.4 Profiler	4
1.4.5 Epoxibetong	4
1.4.6 Estetiska användningsområden	5
2 Broar och annat av kompositmaterial	5
2.1 Brokonstruktion	5
2.2 Tillverkning av FRP-material	7
2.3 Snap-fit tekniken	8
2.4 Fibermaterial	8
2.4.1 Aramid	8
2.4.2 E-glas	8
2.4.3 S-glas	9
2.4.4 Kolfiber	9
2.4.5 Basaltfiber	9
2.5 Matrismaterial	9
2.5.1 Polyester	9
2.5.2 Epoxi	10
2.5.3 Vinylester.....	10
2.5.4 Akryl	10
2.6 Flamskyddsmedel	10
2.6.1 ATH - Aluminiumtrihydrat	10
2.6.2 Bromerande flamskyddsmedel	11
2.7 Sammansatta egenskaper	11
2.7.1 Fiberinnehåll.....	11
2.7.2 Hållfasthetsvärden.....	12
3 Bjälklag av kompositmaterial	13
3.1 Förutsättningar	13
3.2 Konstruktion	14
3.3 Dimensionering	15
3.3.1 Beståndsdelar	15
3.3.2 Dimensioner	16
3.3.3 Håltagning	18
3.4 Trapphål	19

3.5 Vindlaster	20
3.6 Konstruktionslösningar	21
3.6.1 Konstruktionslösningförslag	21
3.6.2 Ljud- och brandisolering	23
3.6.3 Montering och transporterering	23
3.7 Ekonomi	24
4 Jämförelse	24
4.1 Förutsättningar	24
4.2 Limträ mot FRP	24
4.3 Träfackverksbalkar mot FRP	25
4.4 Stålbalkar mot FRP	25
5 Fler byggdelar av FRP	25
5.1 Balkonger	26
5.2 Ytterväggar	26
5.3 Badrum	26
5.4 Hussystem	26
6 Miljö	27
6.1 LCA – livscykelanalys	27
6.2 Återvinning	27
7 Slutsats	27
7.1 Exempel på fördelar	28
7.2 Exempel på nackdelar	28
8 Källor/Referenser	28
8.1 Litterära källor	28
8.2 Webbaserade källor	29
8.3 Muntliga källor	29
Bilagor	30

Inledning

I byggbranschen måste man följa, och anpassa sig efter, samhällets krav som kan vara lagar och andra förordningar. Eftersom ca 40 % av Europas energiförbrukning går till våra byggnader i form av uppvärmning, kylanläggningar med mera så finns här mycket energi att spara. Ett av de stora problemen inom byggbranschen är just de nya energikraven som kräver så stor energibesparing att nya konstruktionslösningar måste tillämpas. Alla köldbryggor ska bort och väggarna måste innehålla en stor del isolering. För att effektivisera husens golvyta gentemot väggytan kommer mer kvadratiska hus att behövas, då en kvadrat har mindre omkrets än en rektangel med samma area. Ett kvadratisk hus lider av problemet att bjälklagets spännvidder kommer att behöva ökas, för att öka golvarean. För att uppnå viss flexibilitet vill man slippa bärande innerväggar så som hjärtvägg som finns i en del mer avlånga hus. På nya områden som t ex Maria park och Raus vång i Helsingborg, ser man att det är vanligt att bygga hus i 2 plan och att de är mer eller mindre kvadratiska.

Vanligt k-virke, som är det vanligaste i dagens villor, räcker inte till då det klarar som längst 4,5 m. Detta begränsar arean till 20,25 m² om man inte vill ha bärande innerväggar. En alternativ lösning är att gjuta ett betongbjälklag som klarar de längre spännvidderna. Tyvärr uppstår i stället problem med den höga egenvikten och den relativt långa torktiden.

Rapporten kommer att visa att tekniken med kompositprofiler som mellanbjälklag, har positiva egenskaper som alternativen har svårt att nå upp till.

1 De nya materialen

1.1 Materialhistoria

Stenmaterial har sedan urminnes tider använts som byggmaterial. Där tillgången på sten var dålig tillverkade man istället soltorkat tegel som man kunde bygga med. Bränt tegel har använts som byggmaterial sedan 1800 f.kr. Teglet hade sin storhetstid 1890-1920 då nationalromantiken slog igenom.

Trä är också ett gammalt byggmaterial. Det har varit omdiskuterat många gånger och det har till och med varit förbjudet att bygga trähus i vissa städer på grund av brandrisken.

Gjutjärn har använts sedan 1700-talet. Det utvecklades i England och var en stor bidragande faktor till den industriella revolutionen.

Betong användes redan i romarriket, man hade vulkanisk aska som bindemedel istället för cement. På 1800-talet återupptäcktes materialet. 1867 fick en fransk tekniker vid namn Monier Joseph patent på armerad betong. Hans patent var på stora krukor av betong med armering av trådduk. Han utvecklade senare idén till betongrör och brobalkar.

Stål uppfanns i slutet av 1800-talet och det gav betongen en stor skjuts eftersom man nu kunde armera ordentligt och avsevärt öka användningsområdena för betong. Stål används inte bara till betong utan man bygger sedan länge konstruktioner helt eller delvis i stål. Stålbalkar används ofta som avvaxling i hus där trä av olika anledningar inte räcker till.

Fibrer började man tala om på 20-talet, men man började inte använda det på allvar förrän under andra världskriget.

En tidig plast är bakelit som uppfanns 1907-1909. Sedan dess har en mängd olika plastmaterial kommit och plast används idag inom i princip alla områden. Genom att armera plast med t ex glasfiber kan man få ett mycket starkt material, en så kallad fiberkomposit.

1.2 FRP-materialen

Fiberkompositer har sedan länge använts inom det militära. En kortfattad beskrivning av vad en fiberkomposit är, det är en plast som har armerats med ett fibermaterial för att uppnå högre hållfasthet. Därav namnet fiber reinforced plastic.

Under andra världskriget utvecklades FRP-material eftersom andra material inte hade de egenskaper man eftersträvade. Inom det militära är funktionaliteten viktigare än priset och därför har t ex kolfiberplaster kunnat användas. Då var det mestadels flygindustrin som kunde utnyttja dessa nya material.

På 60-talet började man även använda FRP-material i extrema miljöer, där andra material inte höll måttet. Under 80-talet började bilindustrin få upp ögonen för de nya materialen då dessa var lättare än konventionella material. I

golfklubbor, badmintonrack, cykelramar och annan sportutrustning har man flitigt använt FRP-material, framförallt kolfiber. Eftersom priset har mindre betydelse hämmas inte utvecklingen av nya artiklar.

Nu på 2000-talet ser vi en ökande användning av FRP-material även inom byggsektorn. Till skillnad från andra branscher, där utvecklingen påskyndats eftersom priset haft mindre betydelse, är byggbranschen svårare att förändra. Byggbranschen är en ganska konservativ bransch och nya idéer är inte alltid det som efterfrågas ute på byggarbetsplatserna. Äldre platschefer ser hellre att gamla beprövade material och metoder används, än att nya obeprövade testas. Detta har gjort att utvecklingen av nya byggmaterial hämmats. (Sentler)

På 60-talet när ”miljonprogrammen” byggdes, effektiviserades byggandet väldigt mycket och nya lösningar introducerades. Vissa var bra, andra var mindre bra. Nu behövs ännu en effektivisering, eftersom det finns en brist på arbetskraft och ett stort behov av nya bostäder. Ett material som kan komma att användas i större utsträckning i framtiden, och kan vara en del av effektiviseringen, är glasfibermaterial. Fördelar som beständighet och att glasfiber inte är känslig för fukt, kan visa sig vara mycket användbara. Redan idag används glasfiberarmerad betong vilket inte bara ger en lägre vikt utan även gör konstruktionen okänslig för fuktangrepp. Detta utnyttjas särskilt i brokonstruktioner där betongen konstant utsätts för skadlig inverkan av t ex saltvatten. Den höga hållfastheten, relativt till den låga vikten, är också en stor fördel som vi utnyttjar i examensarbetet.

1.3 Nya miljökrav

De nya miljökraven ger inte bara nya utmaningar utan även chanser för nya material och metoder att slå sig in i byggbranschen. Hela 40 % av Europas energiförbrukning går åt till uppvärmning, kylning med mera av byggnader. För att sänka vår energianvändning kommer vi bli tvungna att eliminera alla köldbryggor och ha tjocka väggar fyllda med isoleringen. För att effektivisera husets isoleringsförmåga kommer man antagligen att bli tvungen att bygga mer kvadratisk formade hus. Rumsarean i ett kvadratisk hus får minimal väggarea, som värmen kan försvinna ut igenom. Detta gör att man antingen måste ha bärande innerväggar eller ett bjälklag som klarar stora spännvidder, för att slippa bärande innerväggar. När man ritat ett hus vill man ha så få begränsningar i konstruktionen som möjligt. Ett hus utan bärande innerväggar är bättre eftersom de som bor i huset i efterhand kan ändra planlösningen utan större hinder. Bygger man med ett bjälklag av trä så begränsas man av träets låga hållfasthet och Elasticitetsmodul och man tvingas i princip att ha vissa bärande innerväggar.

1.4 Befintliga konstruktioner

1.4.1 Transformatorstationer

Man bygger sedan flera år tillbaka transformatorstationer delvis av kompositmaterial. Det handlar huvudsakligen om kabelrännor och plattformar. Detta för att slippa påverkan från magnetfält. Korrosion undviks också eftersom glasfiber inte rostar.

1.4.2 Armering i betongkonstruktioner

Armeringsstänger tillverkas av både kolfiber och glasfiber. Det ger en mycket lägre vikt på den färdiga konstruktionen. Användandet av fibermaterial istället för stål gör även konstruktionen okänslig mot korrosion som ofta påverkar betongbroar. Även om glasfiber kostar mer än vanlig stålarmering kan man tjäna in detta då den lägre vikten och höga hållfastheten minskar åtgången av både betong och armering. (Orre)

1.4.3 Brokonstruktioner

Fiberline Composites har i danska Kolding byggt en gång- och cykelbro i FRP över en järnväg. Det är Skandinaviens första (och största) kompositbro och den invigdes 18 juni, 1997. Den är 40 m lång och klarar en last på 500 kg/m^2 . Den totala energiåtgången för all material och montering uppgick till endast en fjärdedel av vad en betong- eller stålkonstruktion hade gjort.

Underhållsbehovet för bron förväntas vara minimalt och under de kommande 50 åren kommer endast kosmetiska reparationer behöva genomföras. Fiberline ser detta som ett stort framsteg och tror att denna teknik är en framtidsteknik vad gäller lågviktsbyggande för broar. (Fiberline)

Mer om brokonstruktioner tas upp i kapitel 2.1.

1.4.4 Profiler

Flera företag tillverkar profiler och balkar i kompositmaterial för olika ändamål. I USA är till exempel de översta våningarna på skyskraporna byggda av kompositbalkar, för att inte störa tv- och radioutrustningen som de har där. De har även tagit fram bultar och muttrar i kompositmaterial.

1.4.5 Epoxibetong

Epoxibetong är ingen fiberarmerad plast men ett kompositmaterial då den inte innehåller några fibrer utan innehåller stenfraktioner istället. Därför har epoxibetong många likheter med vanlig betong men istället för cement som bindemedel används epoxilim. Bindemedelsmassan ligger runt 15 % och utfyllnaden, ballasten, är kvartsand med noggrant bestämd kornfördelning. (Nils Malmgren AB)

Användningsområdena är oftast tillsammans med vanlig betong, där epoxibetongen får fungera som ett skyddande skikt. Detta är möjligt genom den höga halten av kvartsand vilket ger epoxibetongen en snarlik värmeutvidgningskoefficient. I tunnlar har man börjat använda epoxibetong, som man slipat, utanpå den befintliga betongstommen. Detta gör man för att

avgaserna som släpps ut i tunnarna innehåller bland annat svavel och nitrösa gaser som fräter sönder betongen.

1.4.6 Estetiska användningsområden

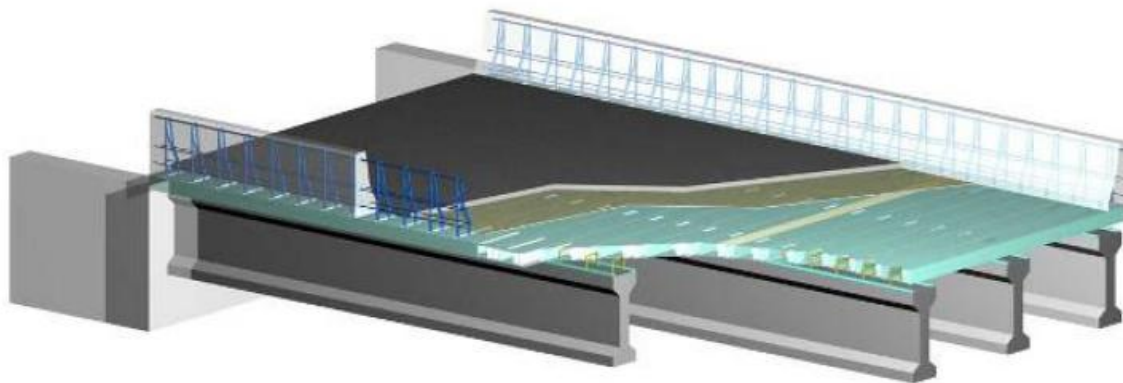
Ett FRP-material är både formbart och starkt vilket gör att man kan göra snygga och häftiga konstruktioner med det. Det finns egentligen inga begränsningar vad det gäller formgivning, så länge man ser till de olika matrismaterialens egenskaper och även till fibervalet.

Tävlingsbilar byggs ofta helt eller delvis av kolfiber eftersom man där har extrema krav. Det är mycket vanligt att båtar är byggda i glasfiber då detta gör dem tåliga och mycket lätta att underhålla då man vid en skada bara kan limma på lite mer väv.

2 Broar och annat av kompositmaterial

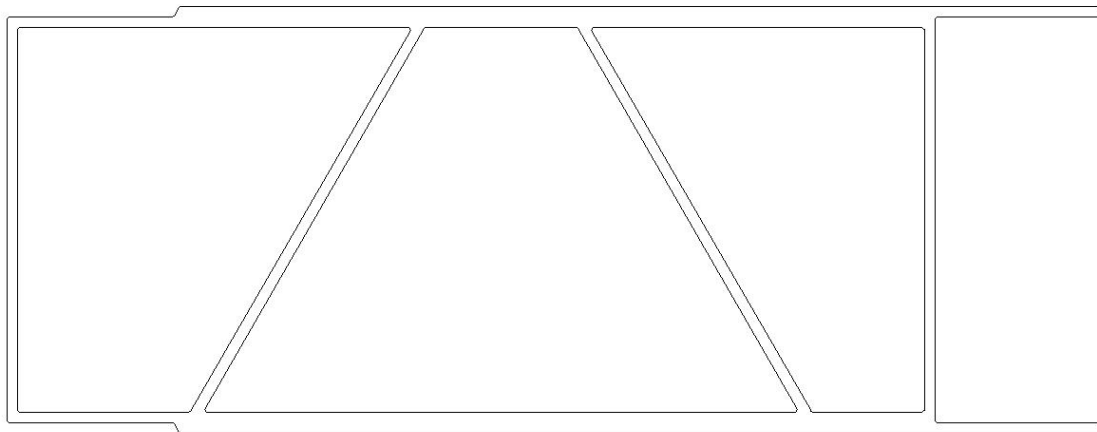
2.1 Brokonstruktion

Vid byggnation av broar i dag är betong ett av de vanligaste förekommande materialen. Betongen har fördelen att vara lättillgänglig och med armering klarar den höga laster. Dock lider man av dåliga utmattningsegenskaper och i aggressiva miljöer som de nära kusterna, är betong inte så bra. Den höga luftfuktigheten får armeringen inne i betongen att rosta och salter fälls ut ur betongen. Detta leder till att betongen förlorar sin hållfasthet och måste antingen repareras eller bytas ut. Detta sker med stora kostnader som följd. Därför kan det vara rimligt att investera lite extra vid byggnationen och spara in det med åren. Lösningen är kompositmaterial, plast, som armerats med ett fibermaterial så som glas- eller kolfiber. (Altakor group)



Figur 2.1. En bro byggd med profiler av kompositmaterial

Kompositmaterialet kan formas till en profil som på plats kan limmas ihop med föregående profil. De inre livnen lutar för att kunna ta upp krafterna som



Figur 2.2. Principskiss på ett delta-deck där bredden är 333 mm och höiden 200 mm.

uppkommer då en lastbil bromsar in. Profilerna läggs mellan upplagen, vinkelräta mot körriktningen, och bildar då ett deck färdigt att lägga asfalt eller annan körbana på. Se figur 2.1 för en illustration på hur Altakor group gör.

Fördelen med att använda denna teknik är att man snabbt kan bygga en bro med hög hållfasthet, som inte lider av de problem som en betongbro gör. Till och med utmattningsegenskaperna är bättre för kompositmaterial än vad de är för betongkonstruktioner. Nedböjningen som Altakor group tillåter på sina delta-decks, är längden genom 425 ($1/425$). Detta krav är tufft att uppfylla med tanke på de laster som påverkar broarna där kompositmaterialet används och kan därför ses som ett bevis på profilernas styrka. Dock kan man anta att de inte klarar alltför långa spännvidder.

2.2 Tillverkning av FRP-material

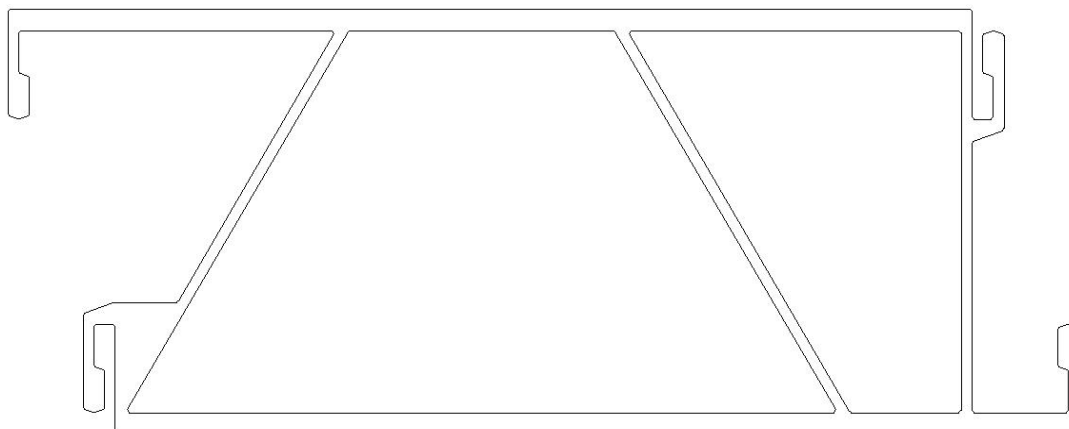
FRP-komponenter kan tillverkas på flera olika sätt. Exempel på metoder är förformning, handuppläggning, fiberlindning, pultrudering/profildragning, pull-winding, injicering med flera. De två vanligaste teknikerna är handuppläggning och pultrudering. I följande stycken beskrivs pultrudering då denna teknik är intressant vid profiltillverkning och även för detta examensarbete.

Tillverkning av profiler av kompositmaterial är enkel och smidig. Själva profilerna består av fiber, vanligtvis glasfiber eller kolfiber, ett lim som binder samman fibrerna och ibland även flamskyddsmedel så som ATH - aluminiumtrihydrat. Limmet som används kallas matrismaterial och det finns olika varianter av det. Mer om matrismaterial i kapitel 2.5.

Glasfibrerna levereras i stora rullar om ca 15 kg med olika trådtjocklekar. Dessa doppas i matrismaterial och dras igenom ett verktyg som formar och härdar profilen i en temperatur mellan 100 och 200°C. Överblivet matrismaterial rinner tillbaka till karet där fibrerna doppas. Denna process kräver ingen större arbetskraftsinsats, då det bara behövs någon som laddar och övervakar processen. När profilen dragits ut till önskad längd kapas den manuellt med en vinkelslip. Därefter behöver profilerna bara svalna för att sedan användas.

Riktningen på fibrerna kan väljas efter önskemål genom att antingen ladda maskinerna med en tråd för parallella fibrer eller en matta för korsade. Maskinen kan även laddas med båda alternativen samtidigt. Vid tillverkning av till exempel en IPE-balk väljer man i över- och underfläns att ha fiberriktningen parallell med profilens riktning, för att kunna ta upp dragkrafterna. I livet lägger man fibrerna korsade i en 45° lutning mot profilriktningen. Detta för att kunna ta upp tvärkrafterna som uppkommer inne i konstruktionen. Det finns även konstruktioner då man vill ha fiber i flänsen som går från kant till kant för att kunna ta upp draglasterna som uppkommer om man belastar balken i ytterkanten av flänsen. Det förekommer även att man väljer att ha väv med korsade fiber ytterst. Dels för att öka skjuvhållfastheten i hela profilen och dels för att det helt enkelt ser bättre ut.

2.3 Snap-fit tekniken



Figur 2.3. En principskiss på en SF200 profil, där SF står för snap-fit. Måtten är 333x200 mm

Alternativ till att limma ihop profilerna har utvecklats av Sung Woo Lee och används idag av Altakor group. De använder den när de bygger broar, både för gående och trafik, och olika typer av deck. Snap-fit tekniken som den kallas kan beskrivas som clips som sitter i kanterna om profilen. Dessa passar sedan ihop med nästa profil som kläms fast. Då det krävs mycket kraft används en press för att göra detta. På så sätt slipper man använda lim vid montering. Detta är fördelaktigt då man slipper torktiden på limmet och kan lägga decket även då det är fuktigt eller kallt. Det blir också möjligt att montera ner decket för att återanvända det, eller byta ut skadade profiler.

2.4 Fibermaterial

Ett kompositmaterials största beståndsdel är fibrerna detta eftersom det är fibrerna som ger materialet sin höga hållfasthet.

2.4.1 Aramid

Aramid är mer känt som kevlar och är en syntetisk fiberprodukt. Det har använts kommersiellt sedan 1960-talet. Användningsområdena är bland annat till flygplan och båtar men även som skyddsvästar. Aramid saknar smältpunkt och brinner väldigt dåligt. (fibersource) Försök att armera betong med aramid har genomförts, tyvärr kryper fibrerna för mycket för att det ska vara ett alternativ till annan armering. Krypning är däremot fördelaktig när det gäller användningen i skottsäkra västar då stora krafter ska tas upp och fördelas över en stor yta.

2.4.2 E-glas

De första kontinuerliga fibrerna var e-glas där beteckningen kommer från att det användes inom el-området som isolator. (Sentler, 1992) E-glasbalkar används även som bärande stomme i kraft- och växelstationer då den icke magnetiska eller strömledande stommen har flera fördelar och

deformationskraven på stommen inte är så hög. E-glas har även god beständighet mot fukt och kemiska angrepp. Användningsområden för E-glas är bland andra som armering i betongkonstruktioner där flera fördelar gentemot stål finns.

2.4.3 S-glas

S-glas (Eng. Strength) påminner mycket om e-glas i sammansättningen men har 30 % högre dragbrottsgräns och 20 % högre elasticitetsmodul. (Sentler, 1992) Med dessa förhöjda hållfasthetsvärden följer även ett prispåslag, vilket gör att användandet av s-glas måste vara väl motiverat. Antagligen hade priset på s-glas kunnat sänkas om flertalet användare gått över från e-glas till s-glas som då prismässigt kunnat hamna på en rimlig nivå. (Orre)

2.4.4 Kolfiber

Bindningarna mellan kol och kol kan bli mycket starka och därför har det ur hållfasthetssynpunkt varit gynnsamt att ta fram fiber som använder sig av dessa starka bindningar. Tyvärr är tillverkningsprocessen för kolfiber mycket komplicerad och kräver temperaturer på upp till 2000°C för att grafitstruktur ska bildas. Detta medför att priset på kolfiber är högt. Trots detta är efterfrågan stor då användningsområdena för material med denna hållfasthet är många. (Sentler, 1992) Användningsområden, för kolfiber, är bland annat som betongarmering i krävande konstruktioner, bärande delar i flygplan och helikoptrar där en låg vikt är prioriterad. Man kan även limma ett kolfibernet på en betongbro med sprickbildning, för att öka hållfastheten och då även livslängden på bron. (Gabrielsson, 2000)

2.4.5 Basaltfiber

Numera finns även basaltfiber (CBF) på marknaden. Tillverkningen är till största delen förlagd till Ukraina där tillgången på användbar basalt är stor. Basaltfibrerna har mycket gemensamt med stenull men är av typen kontinuerliga fibrer. Egenskaperna hos basaltfibrerna ligger mellan e- och s-glas då det gäller hållfasthet, men basaltfibrerna har ett visst övertag då de tål eld och alkaliska miljöer bättre. Dock är priset lite mer än det dubbla mot e-glas. (BFCMTD)

2.5 Matrismaterial

Själva kompositen, plastdelen av ett FRP-material, kallas matris och används för att limma ihop fibrerna. E-modulen hos matrismaterialen är mycket lägre än hos fibrerna. Enligt data kan den vara så låg som 3,3 GPa. Därför är det viktigt att man inte använder mer än nödvändigt så att procentandelen fibrer i produkten blir så hög som möjligt för att högsta möjliga, för högsta möjliga hållfasthet.

2.5.1 Polyester

Polyester är ett samlingsnamn för en mycket stor familj härdplaster med mycket olika egenskaper. (Sentler, 1992) Beståndsdelen som återfinns i alla

polyester är en ester som består av en syra och en alkohol. De senaste 10 åren har mycket skett inom polyestertillverkningen och styrkan och vattenbeständigheten har ökat hos polyestern. (Kompositfabriken)
Polyester är bland det billigaste matrismaterialet och kan användas utan problem vid invändiga konstruktioner.

2.5.2 Epoxi

Epoxi är en så kallad härdplast som härdas med hjälp av en härdare. Precis som med polyester är epoxi ett samlingsnamn för flera olika material med liknande egenskaper. (Sentler, 1992) Tillverkningsprocessen för epoxi varierar mellan de olika typerna. Det är därför möjligt att ge materialet de egenskaper som önskas, till exempel brandtålighet. Förr avgav epoxi en osynlig och luktfri, men starkt cancerframkallande, ånga. Detta gjorde att många i rädsla för hälsan valde andra matrismaterial. Vid utvändiga konstruktioner är epoxi alldeles utmärkt. Sett till sina egenskaper är epoxi det klart bästa matrismaterialet. Man måste dock vara mycket noggrann vid blandning, då fel blandningsförhållande ger sämre slutprodukt. (Kompositfabriken)

2.5.3 Vinylester

Något förenklat kan vinylester sägas vara en kombination av epoxi och polyester. Dess mekaniska egenskaper är snäppet bättre än polyester och är ur hälsosynpunkt mindre aggressivt än epoxi. En variant av vinylester med bättre utmattningsegenskaper har framtagits med hjälp av inblandning av gummi. Priset för vinylester är ungefär det dubbla mot polyester. (Sentler, 1992)

2.5.4 Akryl

Modifierad akryl är lite nyare än polyester och epoxi och togs fram för att undvika användningen av det cancerogena ämnet styren. (Sentler, 1992)
Fördelarna med akryl är att det härdar snabbt och vid låga temperaturer. (Fogfria golv AB)

2.6 Flamskyddsmedel

Användningen av flamskyddsmedel minskar den statistiska sannolikheten för brand. Detta är nödvändigt i vissa miljöer, men i de flesta fall räcker det att bygga in de känsliga delarna. Vanligtvis bygger man in konstruktionen med gips som ger ett fullgott skydd mot brand då gips ej brinner. Ett alternativ är att måla byggnadsdelen med brandskyddsfärg vilket flitigt används vid stålkonstruktioner och ibland även vid träkonstruktioner.

2.6.1 ATH - Aluminiumtrihydrat

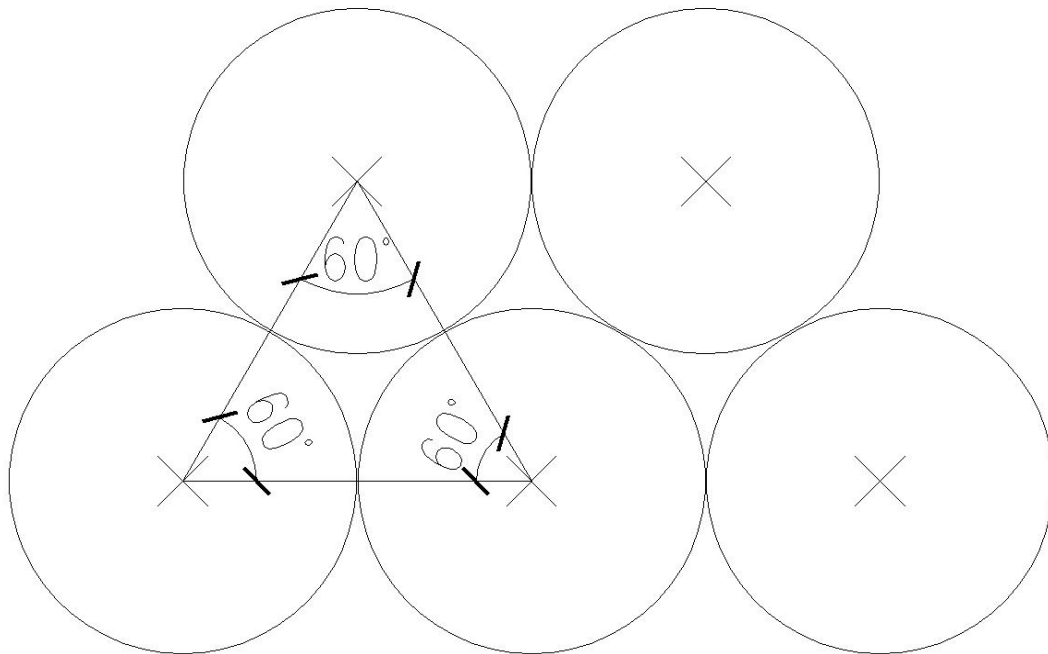
Flamskyddsmedlet som idag används av fiberkonst är Aluminiumtrihydrat ($\text{Al}(\text{OH})_3$), ett vitt pulver som blandas i matrismaterialet. Detta är tillräckligt utrett för att visa att det inte har allvarliga hälso- eller miljöegenskaper (Kemikalieinspektionen)

2.6.2 Bromerande flamskyddsmedel

Bromerande flamskyddsmedel är enligt många rapporter mycket farliga. De har strukturella likheter med PCB som är ett välkänt miljögift och det lagras även i kroppen. Man bör därför helt undvika bromerande flamskyddsmedel, särskilt som det idag finns andra alternativ.

2.7 Sammansatta egenskaper

2.7.1 Fiberinnehåll



Figur 2.4. Principfigur för att räkna ut den teoretiska glasfiberandelen man maximalt får i ett FRP-material

Som tidigare nämnts består ett FRP-material av ett fibermaterial och en matris plus övriga tillsatsämnen så som brandskydd. Då fibrerna är mycket starkare än matrisen, vill man ha så stor del fiber som möjligt i en konstruktion. Därför vill man packa ihop fibrerna så mycket som möjligt. Glasfiber har en mycket jämn yta. Detta innebär att man kan trycka in mer fiber i en konstruktion, än när man använder andra fiber som har mer skrovliga ytor. För att göra en teoretisk beräkning på procentantalet glasfiber man kan få i en konstruktion kan man ställa upp en figur med tre cirklar som motsvarar fiber och där ytan mellan cirklarna är matrismaterial och tillsatsämnen. Se figur 2.4. För att kunna räkna ut andelen fiber ritas man en triangel med hörn i cirklarnas mittpunkter. Då har man en triangel med vinklarna 60° . Läger man ihop dessa 3 cirkelbitar kan man lätt räkna ut dess area då de tillsammans bildar en halv cirkel med arean $A = \pi r^2 / 2$. Triangelarna har då sidolängderna $2r$. Tar man fiberarean genom triangelarean får man att ut att mängden fiber i konstruktionen teoretiskt kan bli 90 %. Rent praktiskt är detta svårt att komma

upp till och i tabell 2.1 är fiberhalten bara 60 %, även om man vid försök har lyckats komma upp till en glasfiberhalt på 80 %. Däremot stämmer 60 % bra överrens med andelen fiber man kommer upp till vid användningen av andra fibermaterial som inte har lika jämn yta som glasfiber, till exempel kolfiber och basalt. Till exempel har kolfiber en maximal fibermängd på 65 - 70 %.

2.7.2 Hållfasthetsvärden

Tabell 2.1. Tabell över hållfasthetsvärden för olika fiber och metaller. (ASM International, 1987)

Material	Density , g/cm ³	E _L , GPa	E _T , GPa	σ_L^u MPa	σ_T^u MPa	σ_L^{cu} MPa	σ_T^{cu} MPa	σ_{LT}^{su} MPa
Composites								
E-glass	1,94	45	12	1000	34	550	140	40
Kevlar 49	1,30	76	5,5	1380	28	280	140	55
T-300	1,47	132	10,3	1240	45	830	140	62
VSF-32	1,63	229	6,9	1170	41	690	140	680
Boron	1,86	274	15	1310	34	2480	310	100
GY-70	1,61	320	5,5	690	41	620	140	96
Metalls								
2024-T3	2,77	72,3	72,3	462	455	345	345	276
7075-T6	2,80	71,0	71,0	544	530	475	475	324
4130	7,84	207	207	655	655	1100	1100	380

Skillnaden i hållfasthetsvärdena mellan fiber- och matrismaterial kommer att medföra att konstruktionens totala hållfasthetsvärde ändras med innehållet. Ett ungefärligt värde på hållfastheten kan ges om man anser att hållfastheten är linjärt beroende av komponenternas hållfasthetsvärde. Till exempel om man har 60 % parallella fiber och 40 % matrismaterial så kommer den totala hållfastheten bli 60 % av fibrernas och 40 % av matrismaterialets. I verkligheten är inte detta beroende linjärt utan hyperboliskt. Man måste därför vid mer exakta beräkningar ta hänsyn till exponenter som påverkar komponenternas hållfasthetsvärden. Tabell 2.1 visar hållfasthetsvärden för olika fibermaterial där fiberinnehållet är 60 % parallella fibrer. 3 olika metaller är även med för att visa skillnaden mellan FRP och metall och som synes är det bara E-modulen och skjuvningskapaciteten som är till metallernas fördel. FRP-materialens dåliga skjuvningskapacitet beror på att det bara finns parallella fibrer. Genom att också använda en fibermatta med korsade fiber som kan ta upp skjuvkrafterna kan man drastiskt öka kapaciteten för dessa.

3 Bjälklag av kompositmaterial

3.1 Förutsättningar

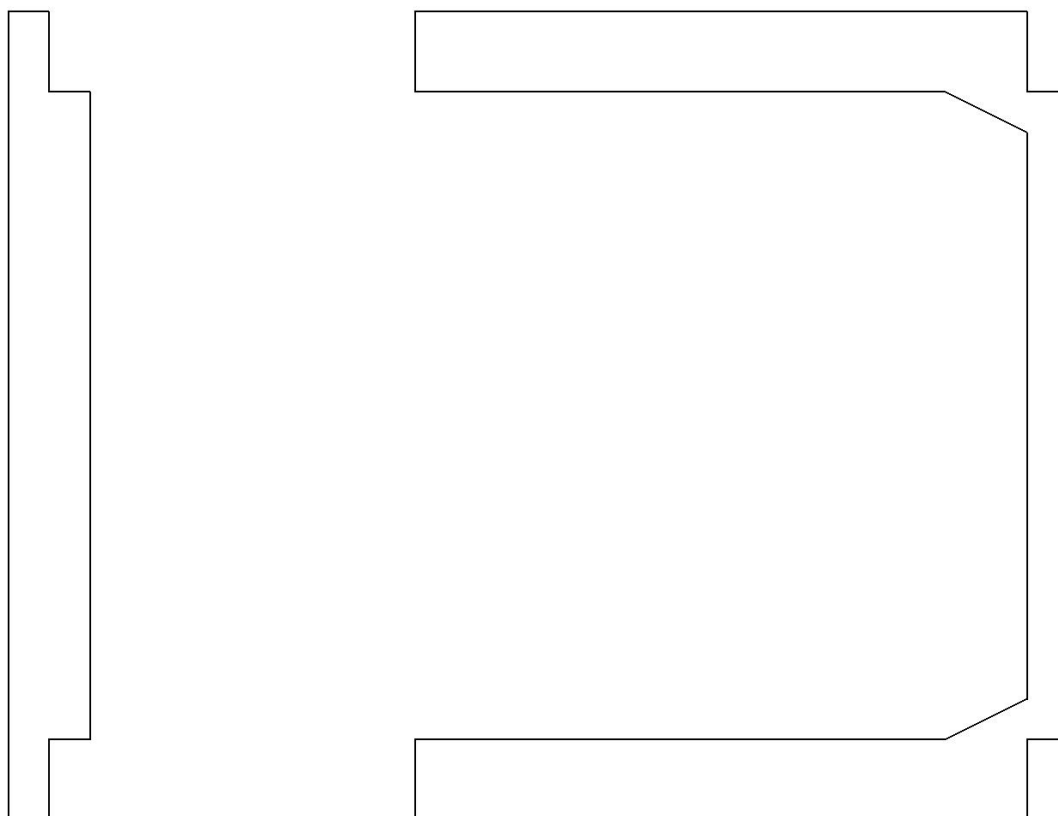
Ett mer eller mindre fyrkantigt hus utan bärande innerväggar kommer kräva en spännvidd på 9 m för att ett 2-planshus ska ges en bostadsarea på 162 m². I vår undersökning räknar vi med att klara en spännvidd på 10 m. Dels för att bjälklaget även ska kunna användas i större hus, dels för att överdimensionering ska väga upp nötningen som sker på bjälklaget. Den fasta lasten för ett mellanbjälklag i bostadshus är 0,5 kN/m² och den rörliga är 1,5 kN/m². Det är dessa laster vi dimensionerar profilen efter. Boverkets krav på ett bjälklags nedböjning är långt ifrån konkreta då kraven och Boverkets konstruktionsregler säger följande:

”Byggnadsverksdelar och deras upplag skall ha sådan styvhet att deformationer eller förskjutningar av byggnadsverksdelen vid avsedd användning inte inverkar menligt på dess funktion eller skadar andra byggnadsverksdelar.” (BKR 2003, s.34)

På grund av denna definition har den maximalt tillåtna deformationen i denna rapport bestämts till 1/300 vilket ger ett rimligt värde på vad man kan acceptera. Vid en spännvidd på 10 m blir då deformationen 33 mm och detta bör inte störa någon annan byggnadsdel eller person som vistas över eller under bjälklaget. Om lutningen varit konstant hade vårt deformationskrav inte ens motsvarat en golvlutning på 0,2°.

Egenskaper vi strävar efter är att bjälklaget snabbt och enkelt ska kunna läggas på plats. Formen på profilen ska även kunna anpassas så att fiberinnehåll och dimensioner kan anpassas efter behov.

3.2 Konstruktion



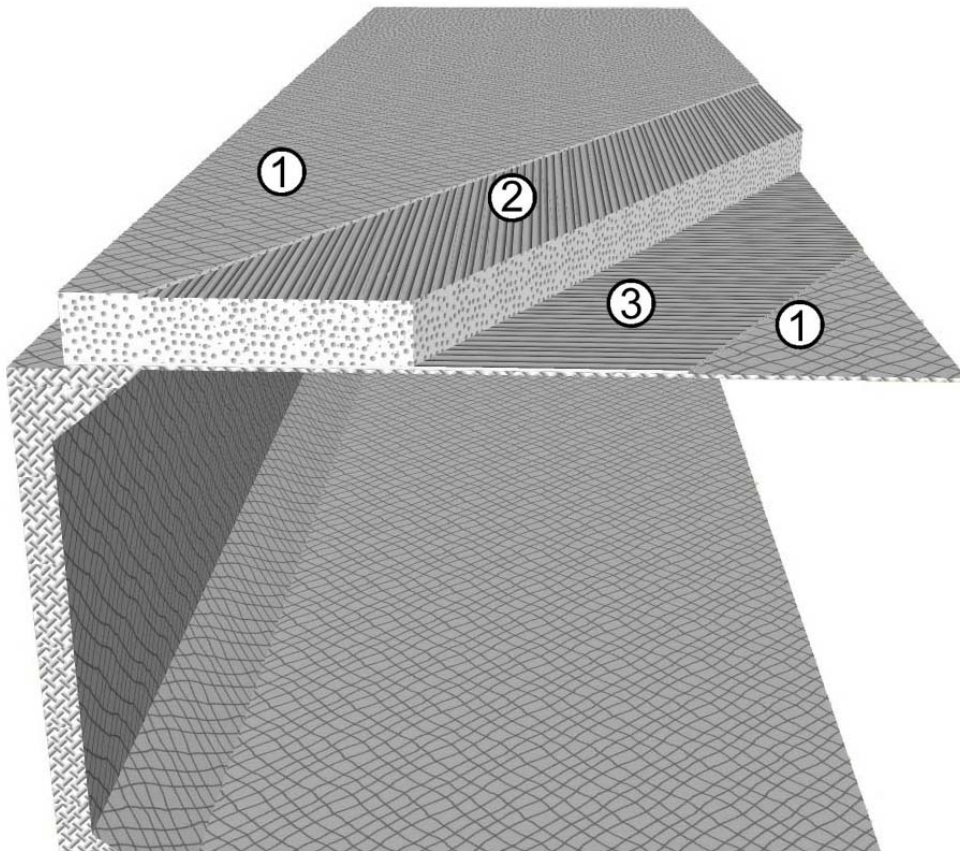
Figur 3.1 En skiss på hur profilen är tänkt att se ut. Kompletterad med en bit att limma på den sista profilen.

För att få ihop en profil som kan uppfylla egenskaperna och klara av förutsättningarna från kapitel 3.1 diskuterades olika former och profiler. Snap-fit tekniken som var tänkt från början valdes bort då verktyget att tillverka profilerna med hade blivit för dyrt och då hade tekniken ej längre varit lönsam om inte beställning på ett stort antal bjälklag föreligger. Ett annat stort problem är att installationer ska kunna monteras smidigt i konstruktionen. Då en konstruktion med fler än två liv gör detta komplicerat, och dessutom ger högre tillverkningskostnader, valdes även denna lösning bort. I detta skede hämtades inspiration från befintliga konstruktioner och ett system som bygger på HEA-balkar, fick bli källan. Fördelen med en HEA-balk är att flänsstorleken kan bli stor i förhållande till livet och man kan då komma upp i stora spännvidder. Ett av de kriterier som bjälklaget önskas uppfylla är att det ensamt ska vara sammanhängande och färdigt att gå på. Flera HEA-balkar bredvid varandra uppfyller inte detta, därför flyttades livet till änden av flänsarna. Detta möjliggör att profilerna med lätthet limmas ihop till en sammanhängande enhet, att installationer kan monteras under tiden bjälklaget monteras och att så fort limmet har härdat så är bjälklaget färdigt att användas. Kontaktytan där limmet appliceras kan behöva ökas beroende på limmets

hållfasthetsvärden. Den ganska enkla konstruktionen bör hålla nere produktionskostnaderna då tillverkningsformen är relativt ekonomiskt överkomlig.

3.3 Dimensionering

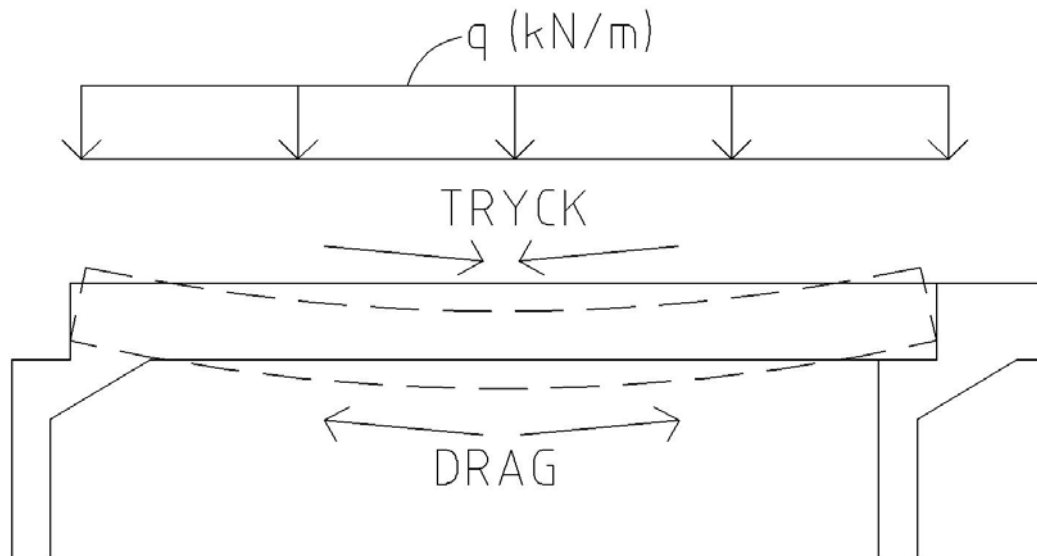
3.3.1 Beståndsdelar



*Figur 3.2. Principskiss på profilens innehållande fiberriktningar.
Nr 1 väv, Nr 2 Parallella fiber, Nr 3 vinkelräta fiber.*

Glasfiber är ett material som har väldigt bra drag- och tryckhållfasthet längsmed fibrerna. Däremot är den sämre vinkelrätt mot fibrerna. Även skjuvningen blir ett problem när det gäller parallella fibrer. För att balkarna ska kunna ta upp krafterna som påverkar ett bjälklag måste balkens egenskaper motsvara dessa. Mer om dimensioneringen i kapitel 3.3.2. Den största delen av dragkrafterna kommer att tas upp i flänsarna. Därför är det viktigt att dessa innehåller så mycket parallella fibrer, som löper längs med balken, som möjligt. Dessa parallella fibrer illustreras i figur 3.2 som nummer 2. Bärningen av flänsen mellan liven måste också klaras av. Eftersom draghållfastheten är dålig vinkelrätt mot fibrerna behöver det kompletteras med fibrer som löper parallellt med varandra, men vinkelrätt mot profilens riktning. De vinkelräta fibrerna hittas som nummer 3 i figur 3.2. Dessa fibrer bör placeras i flänsens underkant där dragkrafterna uppkommer. Detta för att glasfibers draghållfasthet är ungefär dubbelt så stor som tryckhållfastheten.

Se figur 3.3 för en illustration av hur drag- och tryckkrafter uppkommer i en balk som deformeras.



Figur 3.3. Illustration på hur drag- och tryckkrafter uppkommer i en konstruktion under deformation.

Väven som visas under nummer 1 i figur 3.2 är till för att minska sprickrisken när man skruvar, borrar och gör andra hål i konstruktionen. Väven hjälper även till att sprida laster runtomkring stora hål där många parallella fibrer är kapade. Livet på profilen kommer inte att ta upp några dragkrafter, därför behövs där inga parallella fibrer. Däremot kommer tvärkrafterna i livet att vara stora och därför behövs där skjvningssarmering i form av en väv. Dessa inkluderas under tillverkningsprocessen som en matta och inte som en fibertråd. Utöver fibrer innehåller profilen även matrismaterial och eventuella andra tillsatser. Bjälklaget kommer att byggas in och kommer på så sätt skyddas mot brand, så tillsatser av flamskyddsmedel är valfritt.

3.3.2 Dimensioner

Glasfibers fördel är dess höga draghållfasthet och låga vikt. Detta gör att det aldrig kommer att finnas någon risk för brott utan det är nedböjningen av bjälklaget som kommer att bli dimensionerande. Tyvärr är glasfibers nackdel dess låga elasticitetsmodul och denna kan räknas att hamna runt 45 GPa. Då det är profilens I-värde och E-modulen som avgör nedböjningen måste den låga E-modulen kompenseras med ett högre I. Formeln för att räkna ut I är $I = bh^3/12$ och visar att det är lättast att öka höjden på profilen för att öka I-värdet då höjden har exponenten 3. En profilhöjd på 200 mm med 20 mm tjocka flänsar innebär att nedböjningskraven vid en spännvidd på 10 m uppfylls.

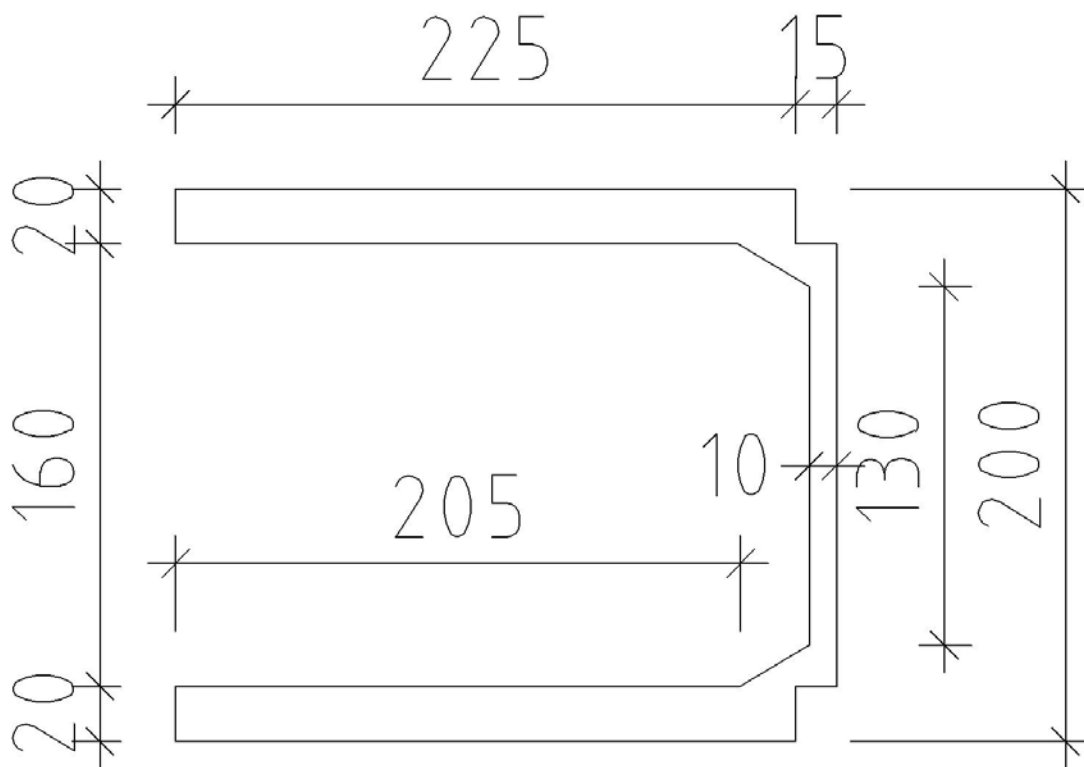
Livet i profilen måste inte vara tjockare än att det klarar av att ta upp tvärkrafterna som uppkommer inuti konstruktionen. Dock finns det inga

färdiga modeller på hur man ska räkna när det gäller fibermaterial. Anser man att det uppträder som stål kan man räkna som på balkar med tunna liv och resultatet visar att denna snabbmetod ger ett värde snarlikt ett mer noggrant uträknat svar. (Langesten, 2006) Räknar man på fibermaterialet som man räknar tvärkrafter i träbalkar lägger man på en säkerhetsfaktor på 1,5 för att kompensera för träets inbyggda defekter. Osäkerhet på säkerhetsfaktorn och för att undvika lokal buckling har en livtjocklek på 10 mm valts. Detta mått ger profilen en tvärkraftskapacitet som utan problem klarar spännvidder på 10 m, utan risk för skjuvning, så länge som fiberväv används i livet.

Bredden på profilen, alltså c/c-måttet på livet får inte vara längre än att upplagskrafterna kan tas upp av en horisontell träregel och flänsen måste även klara bäringen mellan livet. Utan bärande innerväggar kommer all last att tas upp i ytterväggarna genom profilens liv. För att dessa inte ska trycka sönder flänsen eller träregeln kan inte profilbredden bli mer än 250 mm utan att riskera detta. För att följa standarden med ett c/c-mått på 450 som växt fram har profilbredden valts till 225 mm. Vad gäller bäringen av flänsen mellan livet blir det problem då större delen av flänsens fiberriktning är vinkelrät mot den riktning som är gynnsam för detta fall. Detta medför att det kommer att behöva kompletteras med fiber som i flänsens underkant löper från sida till sida. Se figur 3.2 nummer 3. Erforderlig storlek på detta skikt är 0,6 mm vilket motsvarar 3 % av flänsens totala tjocklek.

Summerar man detta ser man att måtten på profilen är tämligen optimerade när den är 225x200 med flänstjocklek på 20 mm och en livtjocklek på 10 mm. Med denna konstruktion blir tvärsnittsarean $0,0106 \text{ m}^2$ för en profil. Omräknat till en kvadratmeter bjälklag är glasfiberinnehållet $0,04711 \text{ m}^3$. Densiteten kan anses vara 1900 kg/m^3 och detta ger en egenvikt på $89,51 \text{ kg m}^2$.

För uträkningar se bilaga A under respektive rubrik. För måttsatt bild se figur 3.4.



Figur 3.4. Profilen med de optimerade måtten utsatta

3.3.3 Håltagning

Profilerna består som sagt av parallella fibrer som löper längs med profilen i flänsarna. Hållfastheten bygger på att dessa fibrer är kontinuerliga och går genom hela profilen. Borrar man då ett hål genom flänsen så görs detta genom fibrerna som kapas. Den försvagning som uppkommer kring ett hål kan oftast försummas och små hål som tappvattenledningar ska inte vara några problem. Vid spillvattenledningar med större dimensioner måste denna dock beaktas och flera större hål bör inte göras i samma profil. När det gäller vattenklosett och dess tämligen stora hål uppkommer inga hållfasthetsproblem då vikten från vattenklosetten delvis hamnar på de två närliggande profilerna som bör vara fria från större hål. Vid planeringen av bostaden bör man på planlösningen placera dusch med golvbrunn och vattenklosett nära en yttervägg, där deras hål inte kommer få samma negativa effekt.

I vissa lägen kan det behöva göras hål genom livet och även här blir det en försvagning av bjälklagets hållfasthet. Man bör därför försöka dra stora ledningar parallellt med profilriktningen för att minimera antalet hål.

Vid montering av innerväggar och dylikt är det inga problem att skruva fast dessa i FRP-bjälklaget. Detta tål att skruvas i. Dock bör man förborra eller använda självborrande skruvar och inga skruvar får sättas i livet.

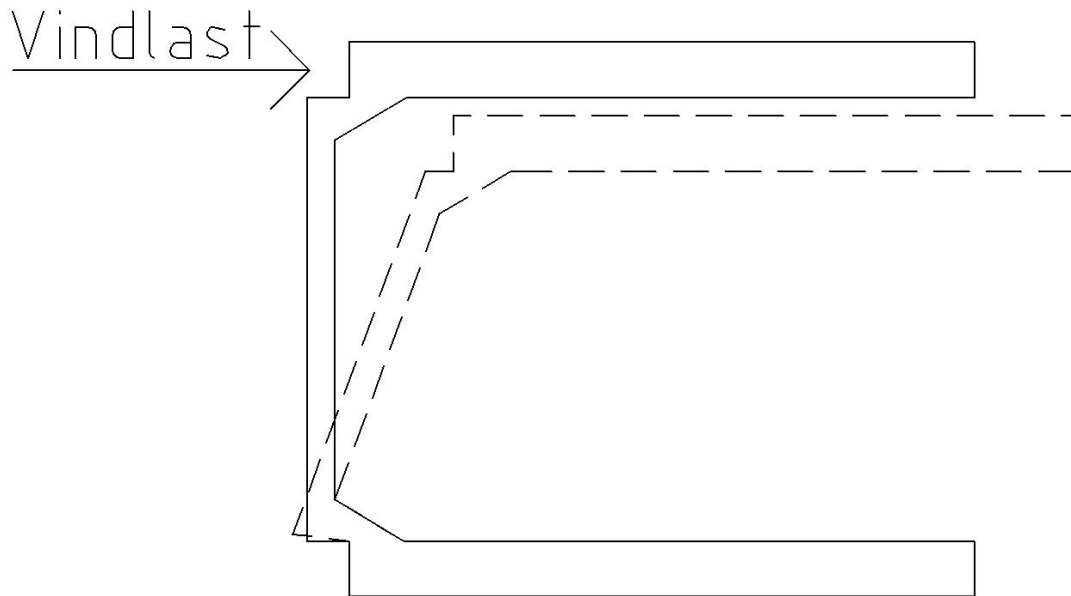
Vid större hål som kräver att hela profiler kapas uppkommer en ny problemställning. Mer om detta i kapitel 3.4 Trapphål.

3.4 Trapphål

Ett problem som uppkommer vid byggnation av bjälklag är hålet där trappan kommer upp från nedervåningen. I och med att man sågar av ett antal profiler så får profilerna närmast hålet bära viss del av lasten från de avsågade. För att minimera denna extralast rekommenderas man att välja en riktning på bjälklaget som är parallell med trapphålet. Bredden på profilerna kommer att göra så att hålet måste anpassas efter dem. Om man till exempel kortar av 4 profiler får man ett hål på 890 mm, då en ändprofil måste monteras på den sida där liv saknas. Kortar man 5 stycken profiler, monterar ändprofilen och klär in hålet med gips ges ett hål på 1090 mm. Detta måste anses vara ett generöst utrymme för trappa. En generell beräkning av krafterna är svår att genomföra då situationen kommer att ändras från fall till fall och det blir upp till varje projekts konstruktör att se till att bjälklaget klarar av lasterna. Vid för stora laster kommer det att behövas bärande pelare eller dylikt för att ta upp dessa laster. En förenklad beräkningsmodell över problemet kan formuleras som följande:

Om man kapar en balk kommer närliggande balkar påverkas av detta, eftersom de blir tvungna att ta upp lasterna. Kapar man en balk så kommer en balk på var sida få dela på den kapade balkens last. Man kan därför enkelt räkna på hur starka balkarna i närheten måste vara. Om man räknar med att den kapade balken fortfarande belastas lika mycket som före kapningen så är man på den säkra sidan. En kapad balk ger en ökning av lasten på närliggande balk med faktor 1,5. Två kapade balkar ger en faktor på 2,0 och tre kapade ger en faktor på 2,5 och så vidare.

3.5 Vindlaster

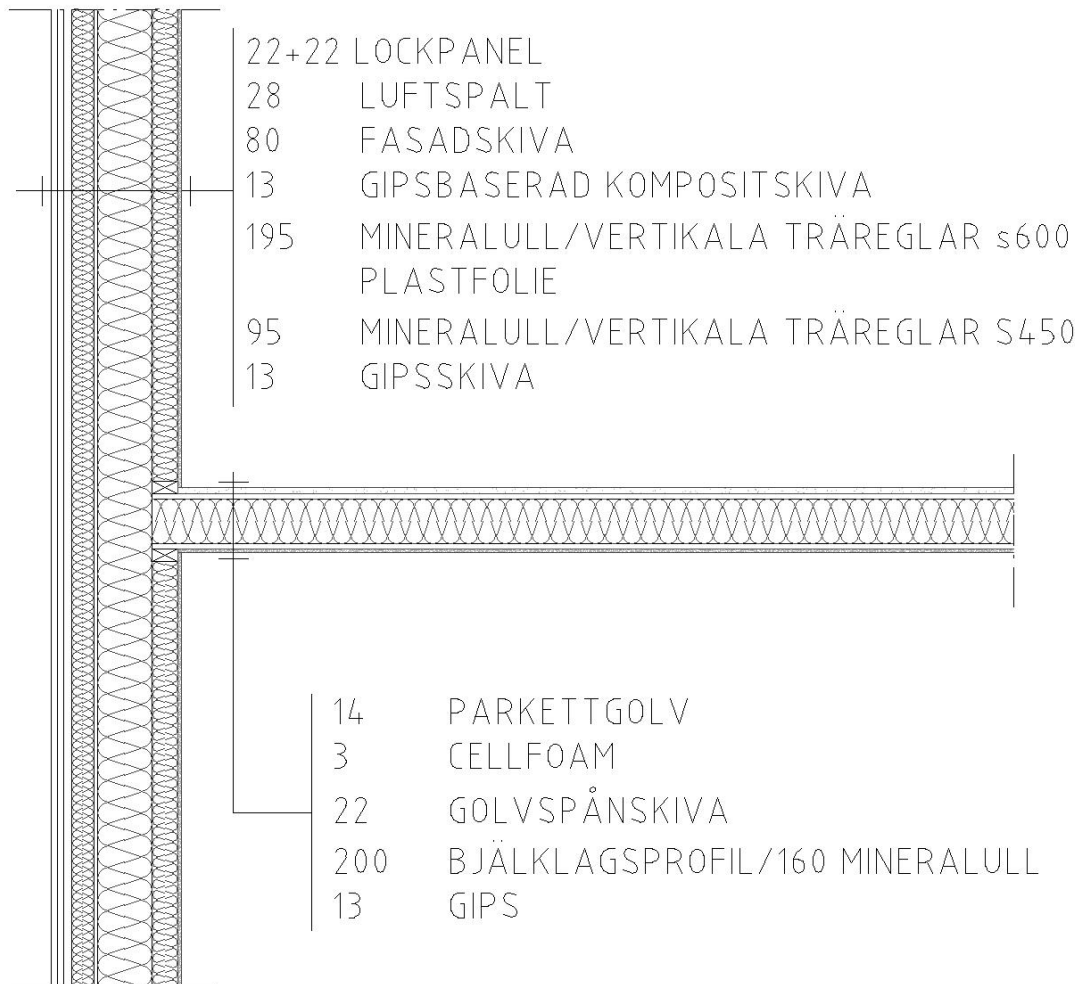


Figur 3.4. Illustration på hur horisontella laster i profilens överkant kan deformera profilen.

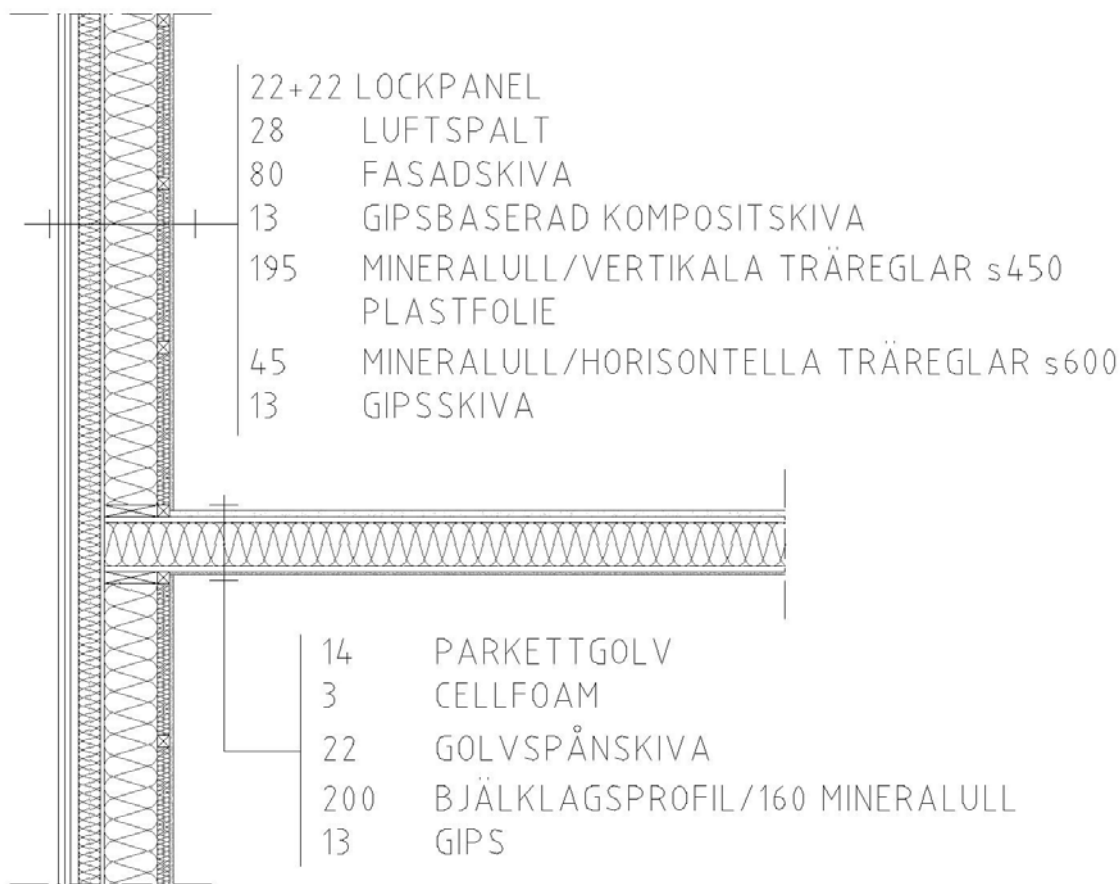
Vindlaster påverkar hus med horisontella laster som måste kunna tas upp i husets bärande stomme. Storleken på dessa laster varierar med husets geografiska placering och omgivande vegetation och bebyggelse. I ett flerfamiljshus låter man bjälklag och väggar ta upp och sprida vindlasterna till trapphusen, som är dimensionerade för att ta upp dessa. I villor gäller det att ha tillräckligt med väggar som kan ta upp vindlasterna och i en villa större än enplans, ett bjälklag som kan fördela lasterna med väggarna. Vår bjälklagsprofil som har vertikala liv ska fästas i underkant med hammarbandet. Det kommer att medföra att alla vindlaster som påverkar husets väggar under bjälklaget, fördelar sig problemfritt i bjälklagets undre del. Det är viktigt att bjälklaget fästs ordentligt i ytterväggarna för att vindlasterna ska kunna fördelas över dessa. I de fall där horisontella laster kommer att påverka bjälklagsprofilens överkant är extra uppmärksamhet motiverat. Profilen är dimensionerad för att klara lasterna, men vid extrema påfrestningar finns det risk att profilen deformeras. Se figur 3.4. Bjälklaget ska då stadgas upp för att minimera denna risk och detta görs lättast med att en kloss eller liknande appliceras vinkelrät mot livet mellan flänsarna.

3.6 Konstruktionslösningar

3.6.1 Konstruktionslösningförslag



Figur 3.5. Konstruktionsdetalj på mellanbjälklag möter yttervägg med ett U-värde på $0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$



Figur 3.6. Konstruktionsdetalj på mellanbjälklag möter yttervägg med ett U-värde på $0,121 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Figur 3.5 och 3.6 visar två exempel på hur man kan lösa mötet mellan bjälklaget och ytterväggen. Skillnaden mellan de båda är att i figur 3.6 måste diffusionsspärren vikas ut över ytterväggen, sedan kan man placera bjälklaget på den bärande trästommen. Därefter viks diffusionsspärren tillbaka och man kan fortsätta bygga ytterväggen till plan 2. I figur 3.5 slipper man detta då bjälklaget inte går in så långt i ytterväggen och man kan då ha diffusionsspärren utanför bjälklaget. Fördelen med detta är att bjälklaget inte blir någon köldbrygga. Ritningarna är endast förslag och man kan använda alla tänkbara sorters fasadmateriell, allt efter tycke och smak. Man skulle även kunna tänka sig att bygga på väggar av bärande lättbetong eller motsvarande. Då bjälklagsprofilerna är okänsliga mot fukt är det inga problem med att kombinera dessa med betongväggar. Ytterväggarna i vårt förslag har ett U-värde på $0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ respektive $0,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, vilket kan anses som välisolerat. Den mindre välisolerade ytterväggen klarar dock en större last än den mer välisolerade.

Eftersom bjälklaget är färdigt redan innan det monteras behöver man inte tänka på torktider som man måste när man till exempel bygger i betong. Man kan därför använda i princip vilket ytskikt man vill, direkt när bjälklaget är lagt på stommen. I badrum är det inga problem att applicera flytspackel på

bjälklaget för att skapa ett fall mot golvbrunnen direkt efter montering av bjälklaget.

3.6.2 Ljud- och brandisolering

För att förhindra spridning av ljud mellan bjälklag föreslås att man använder ett system enligt ritning ovan eller motsvarande. På undersidan sitter ett lager gips, detta är inte bara brandskyddande utan det motverkar även ljudspridning. Ett lager gips ger ett brandskydd på 30 minuter vilket är tillräckligt i småhus. På ovansidan av bjälklaget läggs ett lager foam och sedan till exempel parkettgolv. Vill man klara högre ljud- och brandkrav kan man använda dubbla gipsskivor och uppnå 60 minuters brandskydd. Man kan även blanda i flamskyddsmedel i profilerna redan i tillverkningen och då få ännu bättre motstånd mot brand. Detta påverkar dock hållfastheten hos profilen negativt då mängden fiber och matrismaterial måste minskas.

Invändigt i profilerna kan man applicera ett ljudisolerande material, t ex ISOVER Piano. Eftersom profilerna är ihåliga finns det stora möjligheter att anpassa ljud- och brandisolering efter beställarens krav och önskemål. Måtten på den invändiga isoleringen är 210x160 mm bör kunna fås färdig från fabrik.

3.6.3 Montering och transporter

Ett lämpligt lim till att limma ihop profilerna med kan vara Tremco PL600. Det är vattenbaserat och räknas som miljövänligt. Det har goda vidhäftningsegenskaper och fästes enligt specifikationer direkt. Att tänka på vid användandet av PL600 är att det är initialtrycket och inte presstiden som avgör slutresultatet. Därför räcker det med att applicera ett snabbt men stort tryck vid limfog, till exempel med en gummiklubba för att vidhäftningsförmågan ska bli bra. Tremco PL400 skulle kunna vara ett alternativ men rekommenderas inte på grund av dess negativa effekter på miljö och hälsa. För att kunna limma samman profilerna krävs det bra väderförhållanden. (Tremco-illbruck) Vårt förslag är att bygga bjälklaget i förväg i ett uppvärmt och torrt tält där man även applicerar isolering och vissa installationer som till exempel el- och vvs-rör. Sedan lyfter man hela eller delar av bjälklaget på plats med en kran. Bjälklaget skruvas fast i hammarbandet underifrån innan väggarna kläs med invändig gips. Detta ska ske med självborrade skruvar för att inte profilerna ska riskera att spricka och skruvar får inte sättas i något liv. Det är viktigt att bjälklaget förankras väl till väggen då detta kommer fördela vindlasterna i ytterväggarna. Fördelar med att bygga bjälklaget i tält är att man inte riskerar att låsa in fukt i bjälklaget samt att arbetsmiljön blir bättre för arbetarna som bygger. Man skulle även kunna tillverka stora delar av ett bjälklag, t ex 10m långa och 2475mm breda, i en fabrik på annan plats och sedan transportera delar av ett färdigt bjälklag till byggplatsen där man monterar ihop bjälklaget. Detta skulle innebära att man kan lagerhålla standardiserade mått på bjälklag och på så vis bygga hus på mycket kort tid.

3.7 Ekonomi

Att tillverka profiler i glasfiber kostar en del pengar, en färdig profil kostar omkring 100-150kr per kilo. Själva verktyget man formar balken med under produktionen, kan kosta allt från 10000 till över en miljon kronor beroende på hur komplex profil man vill skapa. Därför har vi valt en relativt enkel profil som kan minska de initiala kostnaderna och på så vis locka en tillverkare att våga satsa. Maskin att tillverka profilerna i kostar runt 2 miljoner att bygga och är så pass enkla att man skulle kunna transportera dessa och råvaror till olycksdrabbade områden där nya byggmaterial behövs. (Orre)

En stålbalk kostar ungefär 50kr per kilo, vilket är mellan 1/2 och 1/3 av vad glasfiber kostar, men stål har mycket högre densitet och man får en konstruktion som väger dubbelt så mycket om man bygger ett bjälklag med stålbalkar. Därför blir ett bjälklag byggt av glasfiberbalkar inte så mycket dyrare. Man får även ett homogent bjälklag, färdigt att gå på, vilket gör att man inte måste lägga till exempel golvspånskivor på det färdiga bjälklaget.

Man sparar tid, exakt hur mycket är dock svårt att beräkna. Om man räknar att man enbart sparar in tid genom att man slipper lägga golvspånskivor så skulle man enligt BidCon tjäna lite mer än 10 minuter per kvadratmeter. På 100 kvadratmeter blir det en tidsbesparing på 17 timmar.

Enligt våra beräkningar kommer det gå åt nästan 90 kg FRP-material per kvadratmeter golvareal. Med tidigare nämnda kostnad på 100-150 kr/kg så hamnar det slutliga priset mellan 9000 och 13000 kr per kvadratmeter. Stål som har halva kilopriset och högre E-modul har dock mycket högre densitet, vilket medför att priset blir ungefär det samma för en liknande konstruktion.

4 Jämförelse

4.1 Förutsättningar

För att visa hur optimal vår profil är räknar vi i våra försök med att klara en spännvidd på 10 meter. Denna spännvidd har valts då dagens energikrav kommer att kräva mer kvadratiska hus. För att klara detta utan bärande innerväggar krävs längre spännvidder. Nedböjningen, som är den begränsande faktorn i alla fallen, tillåter vi att bli $l/300$ vilket vid 10 m spännvidd resulterar i en tillåten nedböjning på 33 mm. Alla beräkningar redovisas i bilaga A under respektive rubrik.

4.2 Limträ mot FRP

Vid en teoretisk jämförelse kommer vi fram till att det krävs en balkhöjd på 245mm för att klara böjmomentet, det vill säga att limträbalken inte knäcks vid normal användning. Med vårt nedböjningsvillkor på $l/300$ måste limträbalken vara hela 470mm hög. Detta vid ett c/c mått på 450 mm. Höjden

hade kunnat sänkas om man minskat c/c måttet, men då hade bjälklaget kunnat anses vara ett massivt träbjälklag vilket inte är genomförbart utom i specialkonstruktioner där dagens råvarupris inte påverkar. Anledningen till den stora deformationen är att träets dimensionerande böjhållfasthet inte är ens en tiondel av det en glasfiberförstärkt plastprofil klarar. Dessutom är även E-modulen för trä mycket lägre, ungefär en femtedel, vilket medför att deformationen blir så stor att deformationsvillkoret inte uppfylls om man inte ökar limträbalkens höjd.

4.3 Träfackverksbalkar mot FRP

Att bygga med limträ vid spännvidder så stora som 9 – 10 meter är inte ett troligt alternativ. Kostnaderna hade blivit för höga och resultatet för ineffektivt. Det rimliga alternativet, som även används vid byggnation av flervåningshus med trästomme, är fackverksbalkar av trä. Dessa kan snickras ihop på plats och anpassas lätt efter situationen. Materialkostnaderna blir lägre än för solida balkar men kraven på arbetskraften är desto högre. Användandet av dessa balkar kräver en hög höjd och hus som byggs med denna konstruktion ser oproportionerliga ut på grund av sitt höga mellanbjälklag. Man har därför vid användandet av denna konstruktion målat skuggor runt fönstren för att skapa en synvilla som får dem att se större ut. Hade man i dessa fall använt vårt mellanbjälklag av glasfiber, så hade man inte behövt ha ett bjälklag med höjd över 200 mm plus ytskikt och arbetskostnaderna hade kunnat sänkas då allt kan levereras färdigt från fabrik.

4.4 Stålbalkar mot FRP

Stål har fördelen att ha en högre E-modul än glasfiber vilket medför att en konstruktion av stål skulle ge en mindre deformation och då kunna vara genomförbart. Dock är böjhållfastheten lägre och vikten högre för stål. Uträkningarna, som redovisas i bilaga A, är genomförda med en HEA200 balk i åtanke och visar att man med ett c/c-mått på 450 mm klarar deformationskravet vid en spännvidd på 10 m. Att tänka på är att vid denna konstruktion uppkommer en hel del problem som gör att stål inte är ett vanligt förekommande material vid villabyggnation. Till exempel blir det problem med att fästa stålet i trä. Även kostnaden för att lägga stålbalkar så tätt som var 450 mm är orimliga. Stål är istället ett perfekt komplement om extra krav på bärförmåga föreligger men att bygga en hel konstruktion i stål är däremot orimligt.

5 Fler byggdelar av FRP

Då glasfiber och andra FRP-material är relativt nya för byggbranschen, finns en hel del utvecklingsområden för de nya materialen. Med lite innovativt tänkande hade man kunnat utveckla nya byggnadsdelar och troligtvis hade

branschutvecklingen gått i en positiv riktning då de nya delarna hade haft flera fördelar, till exempel låg värmeledningsförmåga och låg vikt.

5.1 Balkonger

Fram tills idag har man låtit balkongen vara en del av stommen. Detta har lett till att mycket energi gått förlorad genom denna rejäla köldbrygga. Även om man minskar köldbryggan, genom att minska kontaktytan mellan balkong och stomme, försvinner här fortfarande alltför mycket energi. För att minska köldbryggorna kan man bygga balkonger av kompositmaterial. Det skulle även ge en väldigt låg vikt. Man skulle, relativt enkelt, kunna bygga balkonger på ett hus som idag inte har balkonger. Man hade troligtvis behövt styva upp balkongerna med till exempel U-balkar av stål som har högre E-modul än glasfiber.

5.2 Ytterväggar

Ytterväggar skulle kunna byggas helt eller delvis av kompositmaterial, t ex med den profilen vi skrivit om i detta examensarbete, men något modifierad så den anpassas efter väggens tjocklek osv. Då hade man kunnat fylla tomrummen i profilen med isolering, Vill man ha ännu mer isolering kan man med lätthet limma på en cellplastskiva utanpå profilväggen. Med lämpligt fasadmateriel hade det ge en yttervägg helt okänslig för fukt.

5.3 Badrum

I badrum har man ofta problem med fukt. Vanliga gipsskivor får inte längre användas och man testar nu olika lösningar. En lösning skulle kunna vara att använda skivor av kompositmaterial. Vid byggnation där byggtid och funktion är viktigare än det estetiska slutresultatet, kan man bygga hela badrum/toalettmoduler. De hade bara behövt köras ut, lyftas på plats och kopplas in, för att man skulle ha haft ett färdigt badrum. Hotell kan spara in på sin personalkostnad genom att ha badrumsmoduler som spolar sig själv rena, efter att en gäst checkat ut. (Sentler)

5.4 Hussystem

Har man en beställning på många hus kan man utnyttja snap-fit tekniken för att foga samman väggar, tak och bjälklag till ett färdigt hus väldigt fort. Huset skulle även bli väldigt flexibelt. Man skulle kunna montera ner det, om det behövdes eller enkelt bygga ut genom att flytta en yttervägg, för att sedan komplettera med ny vägg. Den initiala kostnaden är den stora biten och därför måste man veta att man har en stor order.

6 Miljö

6.1 LCA – livscykelanalys

LCA (Livs Cykel Analys) verkar inte ha utförts på FRP-material, kanske eftersom det inte används inom byggbranschen i någon stor utsträckning idag. Spillmaterial lämnas in för förbränning och energi utvinns. (Orre) Enligt Chalmers FRP Grupp är energiinnehållet 40MJ/kg och det motsvarar samma mängd råolja. Undersökningar visar att utsläppen vid förbränning av blandade plastmaterial understiger utsläppen vid förbränning av kol, detta tack vare att plastmaterialen inte innehåller svavel eller kväve.

En stor fördel är att man med relativt enkla medel kan ha en stor produktion på liten yta. På så sätt kan man få ner transportkostnader för färdiga FRP-profiler eftersom man kan förlägga produktionen nära konsumenterna. Detta till skillnad från stålprofiler, som kräver ett stort stålverk för att kunna produceras.

6.2 Återvinning

Spillmaterialet är väldigt energirikt och går till förbränningsstationer, där energin som utvinns motsvarar energiinnehållet i råolja. Genom att mala ner profilerna till korn skulle man kunna blanda i dem vid tillverkning av nya profiler, men då får de nya profilerna sämre hållfasthet.

7 Slutsats

Som en sammanfattning av slutsatserna i kapitel 3, kan man säga att det är fullt möjligt att tillverka ett bjälklag av glasfiberprofiler som klarar en spännvidd på 10 m med enbart en höjd av 200 mm. För dimensioner på profilen se figur 3.4.

Det har även framkommit att trots att snap-fit tekniken är fördelaktig inom flera områden, så är den initiala kostnaden för hög för att motivera användning i ett tidigt skede. Med teknik där profiler limmas ihop kan kostnaderna för tillverkningsformen hållas nere.

Vid konstruktioner inomhus fungerar polyester som matrismaterial. Komplettering av installationer utförs med fördel under montering av bjälklaget, innan det lyfts på plats. Detta kan då genomföras under tak i behaglig arbetsmiljö. Det kan även bli problematiskt att montera stora installationer efter att bjälklaget är hoplimmat.

För att minimera stegljuden genom bjälklagen fylls profilerna med isolering. Antalet gipsskivor på bjälklagets undersida kan varieras för att ge önskat brandskydd och ljudisolering. Med ett bjälklag som byggs in behövs inte komplettering med flamskyddsmedel då gipsskivor kan ge bjälklaget önskat brandskydd. Detta medför att man kan få in mer fibrer i konstruktionen

vilket leder till högre hållfasthetsvärden. Bjälklaget fästs i de undre väggarna med självborrande skruv genom hammarbandet.

7.1 Exempel på fördelar

- Höjden kan ökas, utan att egenvikten ökas så mycket, eftersom den största delen av egenvikten ligger i flänsarna.
- Långa spännvidder kan uppnås trots låg bjälklagshöjd.
- Hög beständighet.
- Icke fuktkänslig konstruktion.
- Snabbt och enkelt att tillverka profilerna i fabrik.
- Snabbt och enkelt att montera på plats och kan förmonteras.
- Skadade profiler kan bytas ut mot nya.

7.2 Exempel på nackdelar

- Kompositmaterialet är i sig känsligt för brand och måste därför byggas in med skyddande lager gips, målas med brandskyddsfärg eller också kan flamskyddsmedel tillsättas vid tillverkningen.
- Installationer måste på plats innan bjälklaget är färdigmonterat.
- Limning av bjälklag ska göras under bra väderförhållanden eller i uppvärmt tält.
- Finns ingen möjlighet att svetsa i FRP-material.

8 Källor/Referenser

8.1 Litterära källor

- ASM INTERNATIONAL. 1987. *Composites*. USA. ISBN 0-87170-879-7 (v.1)
- Boverket. 2003. *Regelsamling för konstruktion – Boverkets konstruktionsregler*. Karlskrona: Boverket. ISBN: 91-7147-740-3
- Chalmers FRP-grupp. 2002. *FRP i byggbranschen – ett avancerat demonstrationsobjekt*. Göteborg: Chalmers, studio Material och Design.
- Gabrielsson, H. 2000. *Förbättring av befintliga broar – förstudie till FoU-ramprojekt*. Vägverket, avdelningen för bro och tunnel.
- Kemikalieinspektionen. 2004. *Dekabromdifenyleter (dekaBDE) – underlag till ett nationellt förbud*. Stockholm: kemikalieinspektionen
- Langesten, Bengt. 2006. *Byggkonstruktion 2- Hållfasthetslära*. Stockholm: Liber. ISBN 91-47-00811-3
- Lee, Sung Woo. 2007. *Evolution of Innovative Snap-Fit Connection for Pultruded 'Delta Deck'*. Anyang City: Kookmin University.
- Sentler, Lars. 1992. *Fiberkompositer som armering – Materialegenskaper*. Stockholm: Byggeforskningsrådet. R10:1992

8.2 Webbaserade källor

- *Altakor Group*. Hämtad 7 April 2008: <http://www.delta-deck.com/>
- *Basalt fiber & Composite Materials Technology Development*. Hämtad 7 April 2008: <http://www.basaltfm.com/eng/fiber/info.html>
- *Fiberline Composites*. Hämtad 6 maj 2008: <http://www.fiberline.com/gb/casestories/case1837.asp>
- *Fibersource*. Hämtad 7 Maj 2008: <http://www.fibersource.com/f-tutor/aramid.htm>
- *Kompositfabriken*. Hämtad 13 Maj 2008: http://www.kompositfabriken.com/dokument/skillnad_mellan_plaster.pdf
- *Nils Malmgren AB*. Hämtad 6 Maj 2008: <http://www.nilsmalmgren.se/Epoxikemi/index.php?sidan=http://www.nilsmalmgren.se/Epoxikemi/anv.php>
- *Tremco-illbruck*. Hämtad 13 Maj 2008: http://www.tremco-illbruck.se/celumdb/documents/Pl400_sds_se.pdf och http://www.tremco-illbruck.se/celumdb/documents/PL600_SDS_S.pdf.pdf
- *Örebro fofria golv AB*. Hämtad 13 maj 2008: <http://www.fogfria.nu/kunskap.htm#plus>

8.3 Muntliga källor

- Lars Sentler
- Per Orre, Fiberkonst. Malmö 2008-03-20

Bilagor

Bilaga A

Beräkningar

Böjmomentkapacitet

Förutsättningar:

$$f_{mk} = 550 \text{ MPa}$$

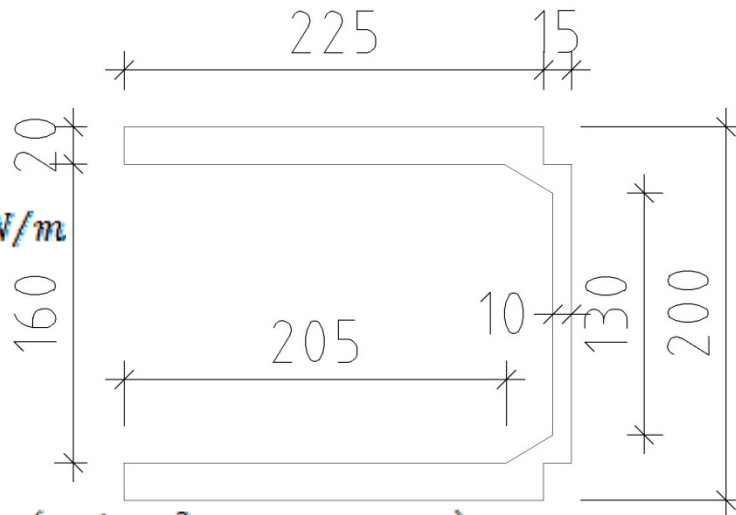
$$f_{md} = 250 \text{ MPa}$$

$$q_{bk+f_k} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 3,2 \cdot 0,225 = 0,72 \text{ kN/m}$$

$$l = 10 \text{ m}$$



$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{10 \cdot 160^3}{12} + 2 \left(\frac{225 \cdot 20^3}{12} + 225 \cdot 20 \cdot 90^2 \right) = 76613333 \text{ mm}^4$$
$$= 7,6613 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{I}{0,5h} = \frac{7,6613 \cdot 10^{-5}}{0,1} = 7,6613 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{0,72 \cdot 10^2}{8} = 9,0 \text{ kNm}$$

$$f_{md} \geq \frac{M}{W} = \frac{9,0}{7,6613 \cdot 10^{-4}} = 11,747 \text{ MPa} \leq 250 \text{ MPa}$$

Nedböjning

FRP-Profil

Förutsättningar:

$$q_{bk+fk} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 3,2 \cdot 0,225 = 0,72 \text{ kN/m}$$

$$E = 45 \text{ GPa}$$

$$I = 7,36613 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$l = 10 \text{ m}$$

Handboksformlerna ger att

$$y_{\text{mitt}} = \frac{5ql^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 0,72 \cdot 10^4}{384 \cdot 45 \cdot 10^6 \cdot 7,36613 \cdot 10^{-5}} = 0,0282 \text{ m}$$

Enligt BKR2007 skall initialkrokigheten hos ett konstruktionselement vara under $l/300 \text{ m}$. Detta ger oss

$$y_{\text{max}} = \frac{l}{300} = \frac{10}{300} = 0,0333 \text{ m} > 0,0282 \text{ m}$$

HEA200

Förutsättningar:

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$I = 3,692 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$q_{bk+fk} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = 1,3 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 3,3 \cdot 0,45 = 1,485 \text{ kN/m}$$

$$l = 10 \text{ m}$$

$$e/c \text{ mått} = 0,450 \text{ m}$$

Handboksformlerna ger att

$$y_{\text{mitt}} = \frac{5ql^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 1,485 \cdot 10^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 3,692 \cdot 10^{-5}} = 0,0249 \text{ m}$$

$$y_{\text{max}} = \frac{l}{300} = \frac{10}{300} = 0,0333 \text{ m} > 0,0249 \text{ m}$$

Limträ

Förutsättningar:

$$E = 10 \text{ GPa}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{56 \cdot 200^3}{12} = 3,733 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$q_{bk+f_k} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 2,5 \cdot 0,45 = 1,125 \text{ kN/m}$$

$$l = 10 \text{ m}$$

$$c/c \text{ mått} = 0,470 \text{ m}$$

Handboksformlerna ger att

$$y_{\text{mitt}} = \frac{5ql^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 1,125 \cdot 10^4}{384 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 3,733 \cdot 10^{-5}} = 0,3924 \text{ m}$$

$$y_{\text{max}} = \frac{l}{300} = \frac{10}{300} = 0,0333 \text{ m} < 0,392 \text{ m}$$

Nedböjning blir här alldeles för stor.

Höjer höjden på limträbalken till h=470

$$I = \frac{56 \cdot 470^3}{12} = 4,95 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$g_k = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 2,6 \cdot 0,45 = 1,17 \text{ kN/m}$$

$$y_{\text{mitt}} = \frac{5ql^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 1,17 \cdot 10^4}{384 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 4,95 \cdot 10^{-4}} = 0,0314 \text{ m}$$

$$y_{\text{max}} = \frac{l}{300} = \frac{10}{300} = 0,0333 \text{ m} > 0,0314 \text{ m}$$

Som synes måste höjden höjas till 470 mm för att nedböjning ska klaras.

Skjuvspänning

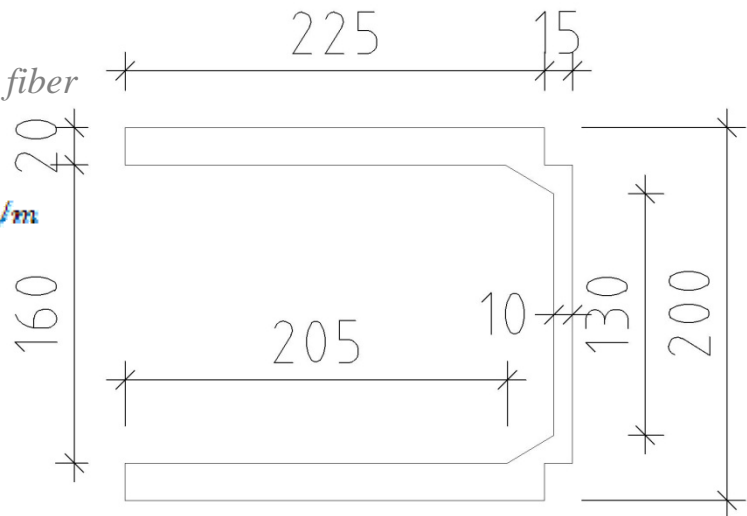
Förutsättningar:

$$f_{wd} = 250 \text{ MPa} \quad \text{Med korsade fiber}$$

$$I = 7,66133 \cdot 10^{-8}$$

$$q = 3,2$$

$$V = b \cdot q = 0,225 \cdot 3,2 = 0,72 \text{ kN/m}$$



Där skjuvspänningen är som störst erhålls

$$S_{max} = 20 \cdot 225 \cdot 90 + 10 \cdot \frac{160}{2} \cdot \frac{160}{4} = 4,37 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\tau_{max} = \frac{V \cdot S_{max}}{I \cdot b_{ttv}} = \frac{0,72 \cdot 4,37 \cdot 10^{-4}}{7,66133 \cdot 10^{-8} \cdot 0,01} = 0,411 \text{ MPa}$$

Den approximativa formeln ger det snarlika värdet:

$$\tau_{max} = \frac{V}{b_{ttv} \cdot h_{ttv}} = \frac{0,72}{0,01 \cdot 0,16} = 0,45 \text{ MPa}$$

Upplagstryck

Förutsättningar:

$$f_{c90} = 4 \text{ MPa} \quad \text{för träregel}$$

$$b_{ttv} = 10 \text{ mm}$$

$$l_{upplag} = 95 \text{ mm}$$

$$l = 10 \text{ m}$$

$$q = 3,2 \cdot 0,225 = 0,72 \text{ kN/m}$$

Utan någon kraftspridning inom fläns uppkommer följande tryck

$$F = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{0,72 \cdot 10}{2} = 3,6 \text{ kN}$$

$$p_{upplag} = \frac{F}{b_{ttv} \cdot l_{upplag}} = \frac{3600}{10 \cdot 95} = 3,79 \text{ MPa}$$

Knäckning av fläns

Förutsättningar:

$$q = 3,2 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{md} = 250 \text{ MPa}$$

$$b = 0,225 \text{ m}$$

Formeln $f_{md} \leq \frac{M}{W}$ ger oss att höjden

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot q \cdot b^2}{8 \cdot f_{md}}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 3,2 \cdot 10^3 \cdot 0,225^2}{8 \cdot 250 \cdot 10^6}} = 6,97 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,697 \text{ mm}$$

Denna höjd motsvarar vid en flänstjocklek på 20mm 3,5 % av flänshöjden. Att tänka på i denna uträkning är att situationen är vinkelrät mot tidigare situation. Därav är längden på den utbredda lasten bredden på flänsen och inte längden på balken. Vid beräkning av W anses bredden vara 1m.