



BYGGINGENJÖR - PRODUKTION OCH PROJEKTLEDNING, 180HP

EXAMENSARBETE



Prefabricerade väggelement av hampabetong

Henrik Jacobsson, Herman Truedsson

Examensarbete VT 13
15 HP

Halmstad, 11/9 2013



Abstract

Lime Hempcrete consists of lime, water and hemp and creates an insulating, sound-absorbing, lightweight and environmentally friendly material that can be used in wall, roof and floor structures (Bevan & Woolley 2008). This construction method is not yet developed in Sweden as there has been a ban on the cultivation of the hemp plant. This ban on the cultivation of hemp was removed in 2003, when the material got a boost. You can use it in many different ways and not just in the construction industry (Ahlsten, 2010).

In this study we have investigated the possibility to produce prefabricated wall elements of LHC. We have also studied its mechanical properties and dehydration time. Different types of mixes were made to find out which type of blend that worked best and had good workability properties. Four different types of wall elements were made to see how they react when they are handled and lifted and to show how you can connect the wall elements to each other and how you can connect them in corners.

Förord

I denna rapport kan man läsa om resultatet från vårt examensprojekt. Vi vill med denna rapport belysa möjligheterna som finns för att bygga mera miljövänligt genom att introducera ett byggmaterial som använts flitigt i länder som England och Frankrike men som fortfarande inte fått någon uppmärksamhet i Sverige. Vi vill tacka Niklas Eriksson (Lindab AB), Henrik Nordholm (Nordkalk), Daniel Nymberg (Målarkalk), Lars Östberg (PEAB) och Roger Olofsson (Hampaprodukter) som har bidragit med sina kunskaper och material så att projektet kunnat genomföras. Vi vill också rikta ett stort tack till vår handledare Bengt Hjort som bidragit med idéer och goda råd.

Stort Tack!

Innehållsförteckning

Sammanfattning

Klimatförändringarna och de rådande miljöfrågorna som varje land står inför i dag är problematiska. Att få ner koldioxidutsläppen och värna om den jord vi har är något som alla nationer lägger stor vikt på idag. Alla olika branscher måste dra sitt strå till stacken för att skapa en trygg framtid.

Byggnationsbranschen är i dagens läge en stor bidragande faktor till de miljöproblem som vi har. Den bidrar med 16 % av alla koldioxidutsläpp som sker. För att råda bot på dessa problem behöver alla se till framtiden och de alternativ som utvecklas för att bygga klimatsmart. Att inte bara lägga fokus på energifrågan utan även se till alternativ inom materialindustrin är viktigt.

Lime hempcrete (LHC), eller hampabetong som det kallas på svenska, är en sammansättning av kalk, vatten och hampa som bildar ett isolerande, miljövänligt och ljudabsorberande byggnadsmaterial som kan användas i ytterväggar, tak och golvkonstruktioner. Hampan är ett organiskt material som till största delen består utav hampaplantans inre kärna. Dess egenskaper är mycket bra avseende draghållfasthet och att det innehåller porer som i sin tur fungerar som isolering.

Denna rapport innefattar studier kring tillverkningsprocessen av LHC. Byggnationssättet med detta material idag ser vi som något förlegat. För att detta sätt att bygga på skall få fäste i industrin måste man se till utvecklingsmöjligheterna. Man har idag flyttat stora delar av tillverkningsprocessen inom byggindustrin under tak och in på industrigolvet. Om man ska ta fram ett nytt system att bygga på i nutid är det fördelaktigt om detta går att prefabricera. Vi har under studierna tagit fram olika dimensioner på väggelement, och även tekniska lösningar för infästning och sammanfogning. Fokus har legat på att få ett element som håller för lyft och som är smidigt att hantera. De tekniska lösningarna som testats har gjorts i full skala med ett givande resultat. Vi har även registrerat uttorkningstider för att få en bild över hur snabbt man kan gå från gjutning till ett färdigt, upplyft och monterat element. Steg för steg lyfter denna rapport fram vad själva LHC är och hur det används idag, till de resultat som erhållits vid försöken att prefabricera element i en kontrollerad miljö.



Ordlista

LHC – Lime Hemp Concrete, på svenska hampabetong

THC – Tetrahydrocannabinol

Shiv – Vedfibrerna i hampaplantan.

NHL – Natural Hydraulic Lime, på svenska; Hydraulisk kalk

MPa – mått för tryck. N/mm²

W/mK – materialets förmåga att leda värme.

RÅ – Relativa Ånghalten

Zero-Carbon – innebär att materialet inte tillför någon koldioxid till luften.

DimstudEC3 – beräkningsprogram för lastberäkning



1. Inledning

1.1 Bakgrund

Utsläpp av koldioxid i byggprocessen står för 16 % av den totala mängd koldioxid som släpps ut i luften (Ny teknik, 2013). Det är därför viktigt att bygga med material som bidrar till en bättre miljö och på så sätt sänka koldioxidnivåerna. Ett material som började utvecklas i Frankrike på 1990-talet är LHC (Lime Hempcrete).

LHC består av en kalkmix, vatten och hampa som bildar ett isolerande, ljudabsorberande, lätt och miljövänligt material som kan användas i vägg-, tak- och golvkonstruktioner (Bevan & Woolley 2008). Detta byggnationssätt är ännu inte utvecklat i Sverige. Anledningen till detta kan ha att göra med att det har funnits ett förbud mot odling av hampaplantan. Detta förbud på odling av hampa togs bort 2003, då fick materialet ett uppsving på grund av att man kan nyttja det på många olika sätt och inte bara inom byggnadsindustrin (Ahlsten, 2010).

Forskningen kring LHC i Sverige är fortfarande mycket liten, men undersökningar har gjorts på hur materialet fungerar i svenskt klimat samt på materialets egenskaper. (De Bruijn, 2012). Forskning har även bedrivits i Frankrike och England sedan början på 1990-talet. Nackdelarna med materialet är att det inte är självbärande och behöver därför en stomme som tar upp laster. Då en stor fördel med detta material just är dess låga vikt behöver man använda sig utav en lättviktsstomme av t.ex. stålreglar för att inte försämra materialets förutsättningar.

Enligt (Boverket 2009) drabbas cirka 50 000 bostäder varje år i Sverige av fuktskador. Då väggar bestående av LHC bara består av ett skikt skulle dessa typer av problem kunna minska drastiskt då materialet andas och tillåter fukten att passera genom väggen utan att fukt fastnar och skapar problem. (Bevan & Woolley 2008, Hempcrete Australia, 2012). Som beskrivs tidigare är materialet väldigt lätt. Detta skulle också vara fördelaktigt vid transporter då lasterna blir betydligt lättare jämför med vanliga prefabricerade element i betong och på så sätt får man minskade bränslekostnader.

Dagens samhälle ställer också krav på att man ska kunna bygga så snabbt och effektivt som möjligt (Danielsson, E. Robertsson, H. 2008). Ett problem med LHC är att det bara platstillverkas i dagens läge. Detta skapar extra tidsåtgång som t.ex. vid ogynnsamt väderförhållande. Om man hade kunnat förlägga detta arbete i en fabrik så hade man kunnat korta ledtiderna och materialet hade på så vis blivit mer lukrativt för marknaden.



Prefabricerad Hampabetong

1.2 Syfte

Syftet med undersökningen är att se om det finns möjlighet att tillverka prefabricerade och självbärande element utav LHC.

Detta skall göras genom att:

- Undersöka om materialet LHC är passande för prefabricering genom att testa olika blandningar.
- Tillverka element för att finna en lämplig storlek och utformning.
- Kontrollera tryckhållfasthet och uttorkning av LHC i en kontrollerad miljö.

1.3 Mål

Som mer långsiktiga och övergripande mål vill vi nämna:

- Öka medvetenheten kring alternativa byggmaterial.
- Rapporten ska väcka intresse för LHC byggnation i Sverige.
- Utvidga industrialiseringen i byggnadsindustrin.

1.4 Metodbeskrivning

Inledningsvis görs en litteraturstudie föra att få bättre förståelse för materialets egenskaper och hur man tidigare gått till väga för att gjuta med hög precision. Studier görs av olika recept och tillvägagångssätt för att finna en modell som kan vara passande för ett prefabricerat element. Telefon och mailkorrespondens sker med branschfolk inom området för att få ytterligare information om eventuella fallgropar som kan finnas vid tillverkningsprocessen. Förtester utförs för att finna den rätta konsistensen och lära känna materialet LHC. Kuber på

15*15*15 cm³ gjuts därefter för provtryckningstester för att öka säkerheten i vårt recept.

Efter att tillfredställande resultat har uppnåtts i förtester påbörjas tillverkning av olika elementet. Dessa element kommer att ha olika storlekar från 600*2400 till 1200*2400 mm för att finna en storlek på de prefabricerade väggarna som är lätthanterbara och smidiga under hantering.

Under gjutningsprocessen kommer ett element i taget att tillverkas. Samtidigt gjuts även

kuber på 15*15*15 cm³ så provtryckning av själva LHC: n kan genomföras under projektets

fortlöpande tid. Formen kommer att tas bort efter 3-5 dagar. Provtryckning kommer ske av kuberna vid 14 dagars, 1 månads och 1,5 månaders mognad. Vid dessa tillfällen kommer även tillhörande uttorkningstester göras för att se hur densiteten i materialet ändras under tidens gång.



1.5 Avgränsning

Denna undersökning har inte tagit hänsyn till några tillverkningskostnader. De undersökningar som bedrivs gäller möjligheten att prefabricera väggelement med LHC med stampning som gjutningsmetod, ytterligare undersökningar med andra metodval kommer inte förekomma i brist på tid.

LHC receptet till elementen kommer ifrån tester vi gjort delvis själva men som baseras på tidigare recept som gjorts. Det kommer därför inte ske någon grundläggande forskning runt sammansättningen utan bara kring konsistensen.

Tryckhållfastheten bestäms vanligtvis efter 90 dagar. Då tiden inte fanns till detta under projektet har provtester gjorts efter 14 dagar, 28 dagar och 42 dagar. Dessa tester har gjorts i syfte att påvisa vikten av ett korrekt utförande under gjutprocessen och inte i mening att visa styrkan hos materialet.

2. LHC ”Lime hempcrete”

2.1 Allmänt

När man talar om LHC eller lime hempcrete i Sverige omnämns det oftast som hampabetong. Detta är till viss del missvisande då man inte använder sig av betong utan av kalk som huvudbeståndsdel. LHC är ett material med rötter i Sydeuropa. I början av 1990-talet kom det att börja användas och forskas på i Frankrike, Belgien och England (Hemp Lime Constructions).

Detta är ett så kallat zero-carbon material. När man talar om dagens byggnationssätt ligger oftast fokus på förnyelsebar energi. Man vill bygga hus som producerar lika mycket energi som de gör av med, men då fokuserar man inte på materialet. För att kunna tillverka hus som är miljövänliga så måste man även se till vad för material som används och inte bara vad för uppvärmning som skall nyttjas. LHC erbjuder ett alternativt sätt att skapa hus där man inte använder sig av material som bidrar till ökade koldioxidutsläpp.

2.2 Ingående material

Här beskrivs de ingående materialen som används vid tillverkning av LHC d.v.s. hampa och kalk samt dess användningsområden och dess egenskaper.



Prefabricerad Hampabetong

2.2.1 Hampa

2.2.1.1 Historia

Arkeologer har funnit spår av hampa i gamla krukor som tros vara daterade till 10 000 f.Kr. Denna upptäckt gjordes i Kina.(Abel, 1980). Hampan kom sedan till Europa genom Ryssland och baltländerna samt via länderna kring medelhavet (Roulac, 1995). Runt 800 e. Kr var hampan en viktig del i vikingarnas vardag då de tillverkade rep av just hampa för att kunna klara de hårda klimat de utsattes för. Även kläder och fiskelinor har funnits som var tillverkade av hampa.(Abel, 1980). Från medeltiden fram till 1900-talet användes hampan för att tillverka rep och segel och var därför en värdefull växt och transporterades på så sätt runt om i världen(de Bruijn, 2012).

I Nordamerika blev hampan viktig för kolonisterna då den används för att tillverka kartor och biblar. Hampan ansågs vara så viktig att man enligt lag 1640 i Connecticut var tvungen att odla hampa. I slutet av 1800-talet fick hampan konkurrens från bl.a. bomullen. Man hade uppfunnit effektivare arbetsmetoder för att bearbeta bomullen som då började ta över tillverkningen av kläder (Johnson, 1999). Då man bara kunde ta hand om 25 % av plantan behövdes därför nya metoder för att en fortsatt användning av hampa skulle vara möjlig. 1916 kom vändningen då man introducerade en maskin som producerade papper med bättre kvalitet samt minskade arbetskostnaderna drastiskt. 1917 fick George W Schlichten patent för sin maskin som såg till att man tog vara på hela 95 % av plantan (Roulac, 1995).

1937 kom en lag (Marijuana Tax Act) som försökte begränsa produktionen av olaglig hampa. Detta drabbade tyvärr den lagliga hampaproduktionen också. Efter andra världskriget minskade användningen av hampa. Svensk hampaindusti fick stor konkurrens från Ryssland och även syntetiska material tog över och på 1960-talet blev det helt enkelt förbjudet att odla hampa då det klassades som en illegal substans. 2003 togs förbudet bort i Sverige och man fick odla hampa med max 0,2 % THC och benämns nu oftast industrihampa.



Figur . hampaodlingen utbredning 1952 (de Bruijn,2012).

2.2.1.2 Hampans uppbyggnad och användningsområden

Man delar in plantan i frö, fibrer och shiv (Se figur.2). Shiv är själva veden i hampan. Fibrerna har hög draghållfasthet och lämpar sig därför till reptillverkning. Enligt Olofsson(2013) säljs mycket som strö till bl.a. hästboxar men används även som isolering i hus, matolja till mat och papperstillverkning. Fröna säljs som fågelmat(Olofsson, 2013), men p.g.a. dess höga halter av oljor och protein säljs fröna även i liten skala som mat.

Fröna innehåller cirka 30 % olja och ungefär 20 % protein. Oljan kan användas till mat och proteinet kan användas som mjöl. Restprodukten av denna process blir s.k. ved. Denna kan användas till bl.a. spånskivor (Ahlsten, 2010). I byggsektorn används hampan som isolerings- och byggnadsmaterial.(Karus, 2005)

Prefabricerad Hampabetong



Figur 2. Hampaplantans uppbyggnad (Ullrich & Hampel, 2009)

2.2.1.3 Utbredning i Sverige

Mellan 1940-1960 hade Sverige kapaciteten att producera cirka 1000 hektar hampa varje år, då främst på Gotland (se figur 1) där odlingen av hampa var stor (de Bruijn, 2012).

Som vi beskrev tidigare förbjöds odlingen av hampa då man ville förhindra odling av hampa innehållande narkotiska ämnen (Eriksson, 2006). Men när förbudet togs bort 2003 kom produktionen igång igen. Enligt siffror från Jordbruksverket ser man dock en nedåtgående trend när det gäller odling av hampa i Sverige.

Detta har dock inget med att efterfrågan att göra enligt (Olofsson, 2013) som odlar hampa strax utanför Grästorps. Han säger att efterfrågan fortfarande är stor, men svårigheterna ligger i de långa skördeprocesserna samt att maskinerna som används inte är anpassade för att skörda hampa. Hampen växer från tidig vår fram till hösten och skördas inte förrän på våren. Så problemet ligger i att kunna leverera. Vädret ställer till stora problem då det inte får vara blött när man tar in hampan. Det kan göra att man kan få långa väntetider om vädret är dåligt.

Tabell . Odling av hampa 2005-2012 samt antal lantbrukare. (Callman, 2013)

År	Antal hektar odlad hampa	Antal Lantbrukare
2005	309,52	110
2006	477,84	156
2007	813,26	229
2008	390,01	124
2009	194,3	70
2010	251,09	59
2011	94,65	40
2012	45,14	27



Prefabricerad Hampabetong

I tabellen ser man tydligt den nedåtgående trenden. Detta beror till stor del på det dåliga vädret.

2.2.2 Kalk

2.2.2.1 Allmänt

Kalk består till stor del av Kalciumkarbonat (CaCO_3) och är en av de viktigaste bergarterna vi

har då man kan använda den inom en mängd olika områden (Nordkalk, 2013). Kalken hettas upp till 900°C så koldioxid avgas och bildar kalciumoxid s.k. bränd kalk (de Bruijn, 2012). Kalken fungerar som bindemedel i LHC blandningen. Problem som kan uppstå är att kalken ”tävlar” med hampan om vattnet. Om man har för lite vatten i sin blandning kan detta leda till att kalken får en otillräcklig mängd fukt och man får ett torrt pulver (Bevan, Woolley, 2008)

2.2.2.2 Släckt Kalk

Släckt kalk bildas när man tillsätter vatten till den brända kalken. En reaktion sker och det

bildas ett nytt ämne som heter kalciumhydroxid (Ca(OH)_2). Detta är det man brukar kalla för

släckt kalk. Denna släckta kalk används inom byggindustrin i byggmaterial men även för att rena avloppsvatten (Nordkalk, 2013).

2.2.2.3 Hydraulisk Kalk

Denna typ av kalk används där det finns risk för frostbildning och vid kustnära områden. Den hydrauliska kalken härdar i mycket fuktig miljö och passar därför bra i dessa fuktiga miljöer (Målarkalk, 2013). Hydraulisk kalk har använts i konstruktioner som ska vara under vatten, men dess egenskaper gör att den används även i bl.a. husgrunder och socklar som är utsatta för fukt (Alternativ, 2013). Kalken kan ha många olika färger, detta beror på vilka olika ämnen som finns inuti stenen. För att kalken ska få sina hydrauliska egenskaper måste kisel, aluminiumoxid eller järnoxid förekomma. Först då kan kalken få sina hydrauliska egenskaper.

Det är också mängden av de olika ämnena som avgör hur stor hydraulisk verkan som kalken kan få. Desto mer hydraulisk kalken är desto starkare är den. Detta kan vara ett problem då kalken kan ”rycka loss” annan kalk från svagare områden och på så sätt bilda sprickor (Ivarsson, 2011). Vid användning av dessa typer av kalk är det viktigt att skydda luftvägar och hud då dessa kalksorter fräter på huden och kan irritera luftvägarna (Nordholm 2013).

2.3 Tillverkningsmetoder

2.3.1 Allmänt

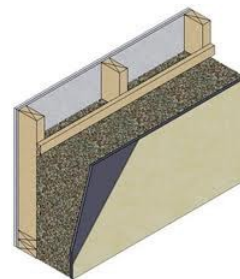
Det finns många olika användningsområden för LHC. Det vanligaste användningsområdet inom byggnation är att kringgjuta en trästomme. Men det finns varianter av LHC då inte stampning av materialet är passande. Man kan spraya på det i stommen och på fasader, och det finns murblock som är solida eller som fylls med LHC.



Prefabricerad Hampabetong

2.3.2 Trästomme med stampning

Det vanligaste sättet att tillverka LHC-väggar på är att först låta uppföra en bärande träregelstomme. Denna stomme är det som ska ta upp lasterna från takkonstruktionen och måste därför uppföras efter konstruktionsritningar. Därefter formas det runt stommen med formplywood eller passande formmaterial. Formens utförande är olika beroende på hur tjock väggen skall vara och vad för ytskikt som man vill ha.



Figur 4. LHC vägg (Limetechnology,2013)

Man kan placera formen så putsning sker på båda sidor, ingen av sidorna eller på en av sidorna. Detta bestäms utefter vad beställaren vill ha. LHC är inte ett flytande material så som betong därför måste man forma en bit i taget, från 600 mm till 1000 mm är att föredra. När formarna är på plats hålls LHC ner mellan plattorna och därefter stampas (packas) den lagom mycket.

Det är viktigt att inte stampa för hårt då materialet mister viss isolerande förmåga. Stampar man för lite kan det bli sköra sektioner. Detta bör därför göras av utbildad personal. När man nått upp till formens kant avbryts gjutningen för dagen och materialet får härda. Redan nästföljande dag kan formen monteras bort och flyttas upp så gjutningen kan fortsätta. Denna procedur upprepas tills man nått toppen av konstruktionen. LHC behöver sedan torka ut minst 28 dagar innan man sedan fortsätter med valt ytskikt (Bevan & Woolley, 2008).

2.3.3 Sprayning av LHC

När man har lite större projekt finns det en metod för att applicera LHC som är snabbare. Med hjälp av en specialtillverkad maskin sprayar man ut materialet i väggen så att man slipper stampning. Detta sätt av LHC gjutning fungerar liknande med stampning. Man fyller på med material i en form som går att avlägsna efter 24 timmar.

Men oftast när detta sätt används så har man en fast innerväggsskiva. Man applicerar LHC utifrån och in och beroende på om man ska ha en putsad fasad eller en panel så fyller man ut till önskad bredd.



Figur 5 LHC sprayning (CAT,2013)

2.3.4 Murblock

När LHC först introducerades på marknaden var den allmänna uppfattningen att man skulle tillverka lättviktsblock att mura med. Valet mellan block eller stampning beror på vad som passar det man ska bygga. Det är dock så att tillverka dessa block och mura med dem är en dyrare process än stampning eller sprayning. Dessa block kommer i lite olika storlekar och utförande. Det finns vissa med låg densitet så isolering och ljudupptagning är goda och det finns de som man blandar in sand och portlandcement för att de skall hålla för mer tryck (Bevan & Woolley, 2008).



Figur 6 LHC block (Hemp, 2013)



Prefabricerad Hampabetong

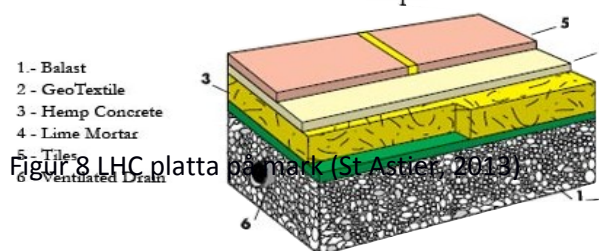
2.3.5 Tak och golvkonstruktioner

LHC är inte bara begränsat till väggkonstruktioner utan kan även användas i tak och golv som isolering. I takkonstruktionen börjar man med att sätta en skiva på undersidan av takbjälkarna, sedan sprayas eller tampas LHC direkt uppifrån emellan bjälkarna. I golvkonstruktioner kan man göra detta på samma sätt men det går även att gjuta en platta på mark med detta material. Man bör då se till att man inte har en för tung byggnad på denna platta. Det är också viktigt att man har en bra fuktspärr mellan platta och mark. Man bör också se till att man har en högre koncentration av den hydrauliska kalken då det är denna som är substitutet till cement (Bevan & Woolley, 2008).



Figur 7 LHC tak (Bionic,2013)

Terracotta tiles on hemp concrete floor



Figur 8 LHC platta på mark (St. Astier, 2013)

2.4 Materialegenskaper

2.4.1 Tryckhållfasthet

Tryckhållfastheten kan ha stor variation beroende på hur de olika recepten ser ut, mängden hampa/kalk och hur man packar den. Då materialet är poröst så lämpar det sig därför att använda sig av detta i en icke bärande konstruktion eller använda sig utav en bärande stomme (Daly m.fl., 2009). Enligt Cerezo(2005) varierar tryckhållfastheten mellan 0,25 och 1,15 MPa.

2.4.2 Draghållfasthet

Precis som för tryckhållfastheten varierar draghållfastheten beroende på sammansättningen i hampabetongen. Draghållfastheten varierar mellan 0,12 och 0,23MPa (de Bruijn, 2012).

2.4.3 Termiska egenskaper

Även här spelar sammansättningen in på hur pass bra isolerande egenskaper materialet har. Många studier har gjorts och värmeledningsförmågan varierar mellan 0.06 och 0.13 W/mK. En vägg med densiteten 200kg/m³ kan ha en värmeledningsförmåga mellan 0.06 och 1.00 W/mK motsvarande värde är mellan 0.1 och 0.13 W/mK för en vägg med densiteten 450kg/m³ (Daly m.fl., 2009).

2.4.4 Brandmotstånd

BRE Global utförde ett brandtest 2009 på en 3x3m hampavägg med tjockleken 300mm. Väggen hade en bärande trästomme och en nyttig last på 135kN. Testet visade sig att väggen höll ihop i 73min. Tester har också utförts i Frankrike på 250mm tjocka hampaväggar som var uppbyggda av block. Väggen var intakt i 1tim och 40min (Bevan & Woolley, 2008).



Prefabricerad Hampabetong

2.4.5 Lufttäthet

Tester som gjorts påvisar att detta material har en lufttäthet på 1.7–2.3 m³/h/m². Dessa

prover som (Hemp Lime Constructions, 2008) gjorde visar att även om LHC är en väldigt enkel konstruktion så har den en hög lufttäthet. Trots den höga lufttätheten så finns ingen risk för mögel eller kondensation pga. en bra ånggenomtränglighet i materialet.

2.4.6 Ventilation

LHC är ett material som andas mycket naturligt. Detta gör att behovet av ventilation inte är lika stort i dessa byggnader. Det krävs fortfarande viss tillförsel då RÅ helst inte ska överstiga 70 %. För att bibehålla en hälsosam inomhusmiljö bör man sikta på att ha ett RH på mellan 40 till 50 % (Hemp Lime Constructions).

2.4.7 Fukt

Transporten av fukt i LHC är beroende av blandningen som används. Desto högre kalkhalt man har desto större blir fuktvandringen. LHC har en högre fuktdiffusion i intervall 35-95 RÅ i jämförelse med konventionella byggmaterial. Studier som gjorts av (de Bruijn, 2012) visar att LHC har en högre uppsugningsförmåga utav vatten men också att den har en bättre och snabbare uttorkningsförmåga.



2.5 Referensprojekt

Nedan presteras projekt runt om i världen som använt sig av LHC. Projekten visar att man kan bygga olika typer av byggnader, allt från små familjehus till stora industrier.

2.5.1 Lagerbyggnad, England

Denna gigantiska byggnad tillhör Adnams brewery och finns i England. Byggnaden är på hela 4400m² konstruerades för att lagra öl och vin. På grund av detta krävdes det att byggnaden kunde hålla ett svalt klimat inomhus. Istället för att använda sig av konventionella metoder valde kunden att använda sig utav LHC väggar. LHC har aldrig använts till dessa typer av storlekar på byggnader förut, så beslutet var vågat. Valet att välja hampa gjorde väggarna ungefär 40 000£ dyrare, men 400 000 £ sparades in på kylsystem (Bevan & Woolley, 2008)



Figur 9. Adnams Brewery Southwold, Suffolk, UK. (National Archives,2013)

2.5.2 Isolering av väggar, Sverige

Ett av de första projekten som genomfördes med hampa i Sverige finns i Österåker utanför Stockholm. Projektet innefattade en renovering där man endast lämnade kvar själva trästommen. I väggarna använde man sig av LHC och i golven användes vanlig hampa som isolering. Man placerade också små träreglar i väggarna så att gips kunde fästas. (de Bruijn, 2012)

2.5.3 Hus, USA

Detta vackra hus byggdes klart 2010. Huset finns i Ashville, USA. Väggarna består av LHC med en trästomme. Huset visar på att det går att bygga vackra men ändå hållbara och miljövänliga hus med detta material. För att bygga ett hus på ungefär 150kvm skulle det ta 12 veckor för att odla all den hampa som skulle behövas för att bygga det. För att bygga klart skalet till detta hus på 340kvm tog 2,5 veckor. hampa i USA är fortfarande ett dyrt det är olagligt att odla och därför behöver importeras. (American Lime Tec, 2012)



Figur 10. Hus av LHC i Ashville. (Hemp, 2011) Att bygga med alternativ då



Prefabricerad Hampabetong

2.5.4 Hus, Frankrike

I Montholier i Frankrike har två hus byggts av hampa. Ett av husen är byggt med LHC och det andra med hampabalar. Det husen har gemensamt är att båda har en bärande stomme utav trä. Båda husen visade sig vara energisparande, men tyvärr uppstod sprickor i huset som byggdes av LHC. Åtgärder gjordes för att förhindra liknande problem att uppstå i framtiden.(de Bruijn, 2012)



Figur 11. Hus byggt med LHC i Montholier (Grelat, 2005)

2.5.5 Renovering av gammal trästomme, England

Denna byggnad finns i Lawshall nära Suffolk i England och är ett renoveringsprojekt av en äldre byggnad med trästomme. Denna byggnad fungerar som ett utbildningscenter inom miljö. Detta projekt stod klart 2006.

Allt revs ner förutom husets stomme. Ytteväggarna består av stampad hampa och golvet är gjort av hampablock som tillverkades på plats. (Bevan & Woolley, 2008)



Figur 12. före renoveringen. (Greenlighttrust, 2013)

3. Utförda studier och erhållna

resultat



Figur 13. Efter renovering. (Greenlighttrust, 2013)

3.1 Utförda studier

Dessa studier utförs för att se om det finns möjlighet att prefabricera LHC-element. Materialets egenskaper gör att man måste väga in många aspekter under tillverkningen. De tester som utförts är ett steg på vägen, men mer



Prefabricerad Hampabetong

måste göras för att finna den bästa lösningen. Nedan beskrivs våra LHC-blandningar, stommens uppbyggnad och egenskaper, samt tillvägagångssätt vid gjutning.

3.1.1 LHC blandningar – gjutningar

Olika blandningar testades för att få en lättarbetad blandning som inte var för torr eller blöt och jämfördes med recept som fanns ute på marknaden. För att erhålla den bästa konsistensen krävdes noggranna mätningar av de ingående materialen. Alla blandningarna utfördes på samma sätt d.v.s. i en betongblandare. Kalk och vatten blandades först och hampan tillsattes efter cirka 5min. Blandningen fick sedan rotera ytterligare 5min.

MIX	Tabell 1. Andel kalk, hampa och vatten (liter)			MIX	Tabell 2. Andelar i procent (%)		
x	Kalk	Hampa	Vatten	Kalk	Hampa	Vatten	
1	5,75	11	14	1	18,7	35,8	45,5
2	2	6	6	2	14,3	42,9	42,8
3	4	6	10	3	20	30	50
4	3	6	8	4	17,6	35,2	47

Kalkmixen bestod utav två sorters kalk:

Släckt Kalk (Nordkalk SL)

Hydraulisk Kalk (Målarkalk, NHL5)

Proportionerna i kalkmixen är 82 % släckt kalk samt 18 % hydraulisk kalk. Vi använde oss av mix (4) då vi tyckte den var lättarbetad och hade en bra konsistens.

Mix (1) och (3) bildade lätt bollar som till stor del bestod av kalk som bildat klumpar. Detta tror vi beror på cementblandarens rörelse. Mix (2) tyckte vi innehöll alldeles för mycket kalk, den var dock lättarbetad och lätt att forma. Kuber gjordes med alla olika LHC blandningar som fick stå i sin form i tre dagar i 20°C +/- 4°C.



Figur 14. Bild på LHC kuber.



Prefabricerad Hampabetong

3.1.2 Element – beskrivning av uppbyggnad och beräkningsmässig analys

Stommen består av stålreglar från Lindab AB och ska ta upp normallaster och vindlast. Reglarna har ett lägre U-värde än regler. Detta är till stor del på grund av att dessa är slitsade vilket gör att det är svårare för värmen att transporteras genom regeln (se figur 15). Tjockleken på reglarna samt hammarband och syll är 1,0 mm och de har en bredd på 120 mm. Detta bidrar också till ett lågt U-värde och en låg vikt. Vid

lastberäkningar av regelstommen användes ett standardtak av trätakstolar och tegelpannor. Detta för att påvisa att våra väggar klarar av en standardvilla i Sverige.

Egentyngden för denna takkonstruktion uppgår till 0,6 kN/m² (Träguiden, 2013). Ett tak på 140 m² skapar en normalkraft på 3,6 kN på vardera regel om takstolen ställs direkt ovanför regeln. Detta gör att regeln har en utnyttjandegrad på cirka 24 % av dess kapacitet. (se bilaga 5). Detta har räknats fram med hjälp av DimstudEC3 som

tillhandahållits av Lindab AB. Detta är ett beräkningsprogram som följer eurokoderna Figur 15. bild på r

och är speciellt framtaget för deras produkter. Detaljerad beskrivning av de element som tillverkats ges i avsnitt 3.2.2 – 3.2.6



ndab AB. 2013)

3.1.3 Tillvägagångsätt vid gjutning av element

En ställbar gjutform konstruerades för att på så sätt kunna konstruera element med olika dimensioner både i tjocklek och i bredd. Stålstommen konstruerades vid sidan om med den måttsättning som elementet skulle gjutas i. Beroende på hur man vill ha ytskiktet placeras stålstommen i underkant eller i överkant. Om stommen placeras i underkant ges en slät insida och i överkant så ges en slät utsida, (Figur 16 samt 19) visar de olika modellerna. På grund av stålreglarnas form (Figur 15) måste man vara noga med att se till att det inte skapas några luftfickor i reglarna som inte är täckta med hampa. Hampan blandades i mindre portioner och stampades och jämnades av för att få en fin och jämn yta. För ett element med storleken 900x2400x200 mm krävdes det 10 blandningar LHC av mix 4. Detta motsvarar ungefär 350 kg färdigblandad LHC.

Testkuber gjöts också för att kunna bestämma densiteten, uttorkning och tryckhållfasthet. Dessa testgjutningar stampades olika hårt för att kunna avläsa ett samband på uttorkning, och tryckhållfasthet och hur viktigt det är att vara konstant när man stampar i praktiken. Vid gjutning hade rummet en luftfuktighet på cirka 50 % och en medeltemperatur ca 19°C.



Prefabricerad Hampabetong



Figur 16. Startskedet av gjutningen.



Figur 17. Gjutningen i slutskedet. Stålstommen är nästan helt täckt.



Figur 18. Färdig vägg efter 2 dygn.



Figur 19. Upphöjd stomme



Figur 20. Installationsskikt



Figur 21. Färdigt element



Prefabricerad Hampabetong

3.1.4 Utförda mätningar

Fyra olika mätningsserier har utförts d.v.s. en mätningsserie för varje element. Varje mätningsserie innefattar tryckhållfasthet, uttorkningstid och densitet. För dessa mätningar används olika former. Uttorkningskuben är 20x20x20cm för att ha samma tjocklek som elementen. Uttorkningskuberna kan bara torka ut åt två håll. Detta för att simulera uttorkningen på ett element. Kuberna som trycktestades avformades dagen efter så uttorkning kunde ske i alla riktningar. Kuberna har en storlek på 15x15x15cm. Denna storlek valdes då detta är standard vid trycktestning.

3.2 Erhållna resultat

3.2.1 Erfarenheter/iakttagelser vid gjutning och avformning

LHC har en tendens till att vilja fästa sig i formen om inte formolja används. Vid lyft kan detta då skapa ett slags sug mellan form och element och det är lätt att stora bitar kan ryckas loss om blocket hanteras oaktsamt. Ett annat problem vid gjutningen är svårigheten att stampa jämt så att hela formen packas på samma sätt för att inte skapa skillnader i blocket som kan leda till olika hållfastheter.

Används för lite vatten i blandningar finns det risk att härdningsprocessen blir ofullständig då hampan och kalken kan börja konkurrera om vatten. Stålreglarnas glatta utsida kan göra att LHC inte fäster ordentligt vilket kan leda till att blocket går sönder (se figur 22). Hampans uppbyggnad gör det att den innehåller mycket luft, det är därför väldigt enkelt att handskas med LHC då vikten är väldigt låg i förhållande till volymen.



Prefabricerad Hampabetong

3.2.2 Gjutning 1

Teknisk data

Storlek: 2400x900x200mm

cc-avstånd regler: 450mm

Vikt stomme: 14,4kg

LHC-blandning: (totalt)

- Släckt kalk 110,5kg
- NHL 24,25kg
- Hampa:65,45kg
- Vatten: 184,8kg

Ursprungsdensitet: 887,5kg/m³

Ursprungsvikt: 398kg (384kg LHC)

Se vidare bilaga 1.



Figur 22. bild på LHC som lossnade. (Truedsson, H. 2013, Halmstad)

3.2.2.1 Tillvägagångsätt

Stommen är uppbyggd så som bilaga 1 visar. LHC-blandning vi använde var mix 4 med ytterligare en liter vatten. Detta för att förhindra konkurrens mellan kalken och hampan om vatten. En blandning bestod här av 2,16 kg hydraulisk kalk, 9,84 kg släckt kalk, 6 kg hampa samt 16 liter vatten. Sex kuber gjordes till trycktestet samt en kub för uttorkningstester. På stommens överkant monterades lyftöglor. Efter nio dagar i formen lyftes elementet för att kunna torka ut åt båda hållen. Detta för elementet skulle kunna torka ut på samma sätt som uttorkningskuben.

3.2.2.2 Iakttagelser för element 1

Vi valde att kassera vägg 1 då den glatta ytan på den mittersta regeln ledde till att LHC inte kunde fästa ordentligt (se fig. 22). Till följd av detta lossnade en stor bit och därför var det bättre att ändra designen på stommen och göra om försöket. I övrigt såg blocket ut att hålla ihop bra. Sidan som legat mot formen var dock fortfarande fuktig men höll en bra form, dock sög den fast i formen p.g.a. att formolja inte använts.



Prefabricerad Hampabetong

3.2.3 Gjutning 2

Teknisk data

Storlek: 2400x900x200mm

cc-avstånd regler: 450mm

Vikt stomme: 18,24kg

LHC-blandning: (Totalt)

- Släckt kalk 87,6kg
- NHL 43,3kg
- Hampa: 67,3kg
- Vatten: 175,8kg

Ursprungsdensitet: 815 kg/m³

Ursprungsvikt: 392,4kg (374kg LHC)

Se vidare bilaga 2.



Figur 23. bild på vägg 2 upplagd på träreglar. (Truedsson, H. 2013, Halmstad)

3.2.3.1 Tillvägagångsätt

Även i denna mix gjorde vi en del förändringar. För att förhindra att samma fel skulle inträffa här valde vi att sätta dit en extra regel i mitten av stommen för att förhindra att LHC lossnade (se bilaga 2). Vi använde oss även av horisontella regler för att göra det yttre lagret av LHC mer stabilt. Vi ändrade även vår kalkmix och använde oss av mera hydraulisk kalk för att få en starkare mix. En blandning bestod här av 4 kg hydraulisk kalk, 8 kg släckt kalk, 6 kg hampa samt 16 liter vatten. 6st kuber gjöts till trycktester och en för uttorkning. Efter 3 dagar togs 3 av sidorna på formen bort och efter 7 dagar lyftes elementet upp och lades ner på regler av trä för att kunna torka ut i båda riktningarna innan lyft (se fig. 23).



Figur 24. elementet klart och rest.

3.2.3.2 Iakttagelser för element 2

Våra förväntningar på elementet var positiva då vi förstärkt det yttre lagret med regler och även tillsatt en extra regel i mitten på elementet för att hampan skulle få fäste ordentligt (se bilaga 2). Det faktum att vi lyft upp elementet och placerat det på träreglar gjorde att elementet lättare kunde torka ut och vi var därför säkra på att det skulle hålla ihop bra. Ett orosmoment var själva flytten från gjutbordet, då risk för sprickbildning fanns om elementet skulle vridas eller böjas. Detta var dock inga problem och elementet visade inga yttre tecken på skador. Figur 24 visar element nr.2 som lyftes upp till stående position två dagar efter att elementet lagts på regler av trä. Ingen sprickbildning uppstod vid lyftet. När elementet var rest kändes det stabilt i hanteringen, både vid lyft och placering. Materialet är i det här skedet är fortfarande känsligt för kantstötningar och måste hanteras därefter. Formolja användes för att förhindra att elementet skulle fästa sig i formen, detta visade sig fungera bra.



Prefabricerad Hampabetong

3.2.4 Gjutning 3

Teknisk data

Storlek: 2400x1200x120mm

cc-avstånd regler: 600mm

Vikt stomme: 18,24kg

LHC-blandning: (Totalt)

- Släckt kalk: 62kg
- NHL: 30,5kg
- Hampa: 47,5kg
- Vatten: 124kg

Ursprungsdensitet: 764 kg/m³

Ursprungsvikt: 282,2kg (264kg LHC)

Se vidare bilaga 3.



Figur 25. färdig vägg efter 3 dagar

3.2.4.1 Tillvägagångsätt

Element nr. 3 var tänkt att fungera som en innervägg och hade därför inget ytterskikt av hampa som element nr. 2 hade. Samma LHC blandning användes som vid element 2 och 6 kuber gjöts till provtryckning. Då detta block vägde avsevärt mycket mindre än element 2 valde vi att redan dagen efter gjutningen att lyfta upp det för att placera det på träreglar så det kunde torka ut ordentligt. Resning av blocket skedde redan 3 dagar efter gjutning.



Figur 26. Baksidan på väggen.

3.2.4.2 Iakttagelser för element 3

Detta element var tunnare, designat för innerväggar och hade inte något ytterskikt av hampa. Det gjorde hanteringen enklare och torkningstiden förkortades avsevärt. Vi kunde därför resa det snabbare än det tidigare elementet. Tre dagar efter gjutningen valde vi att lyfta elementet. Detta gjordes tidigt för att se om elementet kunde tåla lyft i ett tidigt skede. Inga komplikationer uppstod under lyftet eller vid hanteringen. Då ytterskiktet saknas finns det därför en del köldbryggor, vi tycker därför inte att element lämpar sig som yttrevägg och skulle därför kunna användas i ljudisolerande ändamål som t.ex. en innervägg.



Prefabricerad Hampabetong

3.2.5 Gjutning 4A

Teknisk data för väggelement

Storlek: 1150x700x120mm

cc-avstånd regler: 600mm

Vikt stomme: 6kg

LHC-blandning: (Totalt)

- Släckt kalk: 14,3kg
- NHL: 7kg
- Hampa: 11kg
- Vatten: 28,4kg

Ursprungsdensitet: 732,5 kg/m³

Ursprungsvikt: 66,7kg (60,7kg LHC)

Se vidare bilaga 4.1.



Figur 27. Bild på väggelement.

3.2.5.1 Tillvägagångssätt

Vid denna gjutning ville vi fokusera på detaljlösningarna vid sammanfogning av block samt sammanfogning vid hörn. Vi ville i så stor utsträckning som möjligt undvika köldbryggor och valde därför att göra en ”klack” av LHC. På så sätt kan elementen överlappa varandra (se figur 27 och 28). Stommen fylldes endast till hälften (figur 20, 21), detta för att lätt kunna förankra blocken och kunna sammanfoga dem. Detta tomrum kommer även fungera som installationsskikt. Samma LHC blandning som vid gjutning 2 och 3 har använts. Två stycken element gjordes för att visa överlappningen



Figur 28. Sammanfogning av väggelement med överlappning

3.2.5.2 Iakttagelser för element 4A

Eftersom inga detaljer till stommen finns färdigtillverkade fick vi använda oss av de regler vi hade och modifiera dem så som vi ville ha dem till klacken och fönsterhålet. Detaljlösningarna gjorde att vi fick använda oss av en hel del vinklar och installationsskenor för att få stommen att hålla ihop. Detta resulterade i att det blev svårare att stampa hampan i formen och man fick använda händerna för att se till att fylla ut alla tomrum. Momentet var till viss del tidskrävande men resultatet blev som vi hade förväntat oss. När blocket lyftes och monterades ihop fungerade överlappningen tillfredställande och sammanfogningen mellan elementen fungerade också bra. Då vi har ett utrymme i installationslagret kunde man skruva ihop elementen med varandra och förankra dem i grunden på ett enkelt och smidigt sätt. Öppningen i elementet gjordes för att påvisa möjligheterna till att installera fönster och dörrar. Att göra en öppning i detta material sker på samma sätt som vid traditionell gjutning och infästningar till dörrar och fönster sker utan problem i väggskenor.



Prefabricerad Hampabetong

3.2.6 Gjutning 4 B

Teknisk data för hörnelement

Storlek: 1150x680x120mm

cc-avstånd regler: 600mm

Vikt stomme: 6kg

LHC-blandning: (Totalt)

- Släckt kalk: 16,1kg
- NHL: 7,9kg
- Hampa: 12,5kg
- Vatten: 32,2kg

Ursprungsdensitet: 732,5 kg/m³

Ursprungsvikt: 74,7kg (68,7kg LHC)

Se vidare bilaga 4.2.

3.2.6.1 Tillvägagångssätt vid gjutning av hörnelement Figur 29. Sammanfogning av hörnelement.

För att visa hur elementen skulle sammanfogas vid hörn gjöts två element för detta ändamål. För att undvika eventuella köldbryggor valde vi att gjuta in hörnet (se figur 30). Gjutningen utfördes på samma sätt som vid gjutning 4 – väggelement. Även dessa var bara fyllda till hälften för att kunna sammanfogas lättare och för att skapa ett installationsskikt. Ytterligare förstärkningar gjordes för att hampan runt hörnet skulle hålla samman bättre (se bilaga 4).



Figur 30. Hörnelement ovansida

3.2.6.2 Iakttagelser för hörnelement

Extra armering krävdes för att få hörnelementet att hålla ihop. Detta gjorde att stampningen blev något svårare och det krävdes därför extra noggrannhet för att se till att fylla ut formen ordentligt. Man kan ytterligare gjuta ut en klack på hörnelementet för att på så sätt få bort köldbryggor som kan bildas mellan hörn- och väggelement.



Prefabricerad Hampabetong

3.2.7 Uttorkning

Uttorkningen presenteras i diagram 1 efter 14, 28, 42 och 56 dagar. Uttorkningskuben utformades så att den bara kunde torka ut åt två håll och förvarades i en temperatur på cirka 18°C. De fyra uttorkningarna som förevisas i diagrammet nedan är röd (gjutning 1), blå (gjutning 2), grön (gjutning 3) och lila (gjutning 4). Gjutning 1 och 2 har givits extra 14 dagar vardera. När dessa kuber konstruerades stampades de olika hårt för att kunna urskilja kopplingar mellan densiteten och hållfastheten. Gjutning 1 fick högst densitet och gjutning 4 lägst. Själva uttorkningshastigheten i de fyra olika fallen har inte varierat mycket till följd av de olika stampningarna som man kan se i diagram 1. Dock har hållfastheten varierat på de olika kuberna.

Tabell 4. Densiteter

Densitet	Start	Slut
Gjutning 1	887,5 kg/m ³	547,5 kg/m ³
Gjutning 2	815 kg/m ³	515 kg/m ³
Gjutning 3	764 kg/m ³	510 kg/m ³
Gjutning 4	732,5 kg/m ³	550 kg/m ³

Diagram 1. Uttorkning



Prefabricerad Hampabetong

3.2.8 Tryckhållfasthet

I diagram 2 presenteras mätningen av tryckhållfasthet för de fyra olika fall som undersökts. Vid varje provomgång testades tre kuber för att få ett säkert resultat. När dessa kuber stampades i formen gjordes detta på ett systematiskt sätt och samma hårdhet försökte åstadkommas. Vissa variationer kan förekomma då detta skedde manuellt. Kuberna avformades dagen efter gjutning så uttorkning kunde påbörjas i ett tidigt skede. Enligt Cerezo (2005) varierar tryckhållfastheten mellan 0,25 och 1,15 MPa på detta material. Våra erhållna resultat har varierat stort och ligger delvis under dessa riktlinjer och det kan bero på flera olika faktorer.

Tabell 2. Erhållna tryckhållfastheter

	Start		Slut
Gjutning 1	0,44 MPa		0,12 MPa
Gjutning 2	0,19 MPa		0,14 MPa
Gjutning 3	0,24 Mpa		0,24 MPa
Gjutning 4	0,23 Mpa		0,29 MPa

Diagram 2. Tryckhållfasthet



4. Resultat och sammanfattande diskussion

4.1 Gjutning 1

Då detta var vårt första element förväntade vi oss inte att lyckas fullt ut. Det visade sig också sedan vid själva lyftet att en stor bit LHC lossnade. Själva gjutningsprocessen visade sig vara förhållandevis enkel, det enda negativa var att LHC-blandningen fastnade i cementblandaren så man fick stanna den med jämna mellanrum och skrapa loss det. Stampningsprocessen var tidskrävande då vi inte hade något direkt system för hur vi skulle stampa effektivt. Detta resulterade i att det blev ett tidskrävande moment.

Lyftet av elementet var förhållandevis enkelt då elementet inte är speciellt tungt i förhållande till sin volym. Då vi placerade elementet på golvet lossnade även det yttre skiktet av LHC, detta tror vi berodde på härdtiden var otillräcklig samt att den saknade armering.

Vi valde att kassera blocket då en stor bit LHC lossnade. Detta p.g.a. reglarnas glatta yta som gjorde att LHC:n inte kunde fästa ordentligt. Detta konstruktionsfel kan ses i bilaga 1 där vi inte har en extra regel i mitten som för element 2 stommen. En annan bidragande faktor kan ha varit att formen inte var smörjd vilket gjorde att LHC:n sög sig fast i formen. Vid lyft gör då detta att det skapas ett kraftigt sug i elementet vilket kan göra att LHC rycks loss. Uttorkningen hade i stort sett upphört efter ungefär 52 dagar. Då vi hade en densitet på 887kg/m³ i startskedet och slutade på 547kg/m³ visar det här att elementet tappat ungefär 40 % av sin ursprungliga vikt.

Tryckhållfastheten för gjutning ett visade med tiden en nedåtgående hållfasthet (se diagram 2). Detta tror vi beror på att stampningen var ojämn och att de inte packats tillräckligt hårt, därav resultatet. En annan orsak kan vara att mixen var ofullständig och innehöll för lite vatten vilket ledde till att härdningen blev ofullständig.

4.2 Gjutning 2

Då vi ville lösa problemen vi hade i element 1, valde vi att fokusera på stålstommens uppbyggnad. Vi valde att montera in en extra regel (se bilaga 2) i mitten av elementen för att på så sätt utesluta problemet med att LHC inte fäster ordentligt. Vi valde även att sätta horisontellt liggande skenor för att det yttre lagret skulle fästa bättre med hela konstruktionen. För att komma runt problemet med att elementen suger fast i formen använde vi oss av formolja. Elementet lyftes upp efter 7 dagar och placerades på träreglar. På så sätt löste problemet med att elementet suger fast i formen och det kan härda bättre. Denna gång ändrade vi också blandningen (tillsatte mer hydraulisk kalk) vilket gjorde LHC mer lättarbetad. Vid starten hade elementet en densitet på 815kg/m³ och efter 42 dagar på 515kg/m³. Elementet har då tappat 37 % av sin ursprungliga vikt. Detta visar att uttorkningen sker i ungefär samma takt trots lägre densitet gentemot föregående mätning.

Tryckhållfastheten gick ner även här. Detta tror vi beror på samma problem som vid det första trycktestet, alltså att vi stampat kuberna olika vilket resulterar i olika hållfastheter. Vi hade därför kunnat vara mycket noggrannare när vi stampade kuberna och fått ett mycket mer pålitligt resultat. Resultatet av detta blev att vi tappade 26 % av den ursprungliga hållfastheten. Detta är inte alls lika kraftig nedgång som vid gjutning 1. Det tror vi beror på att vi ändrade rutinerna för stampningen och försökte vara mer konsekventa. Lyftet av elementet gick felfritt då vi rättat till de problem vi hade vid första gjutningen. Eftersom elementet fått torka ut ordentligt i båda riktningarna innan vi lyfte samt eftersom LHC kunde fästa ordentligt i stommen skedde inga sprickbildningar vid själva hanteringen. Elementet kändes stabilt i hela skedet från lyft till placering.



4.3 Gjutning 3

Detta element var tänkt att fungera som en ljudisolerande innervägg, därför hade vi inget skyddande ytterlager då elementet kommer fungera som en ljudisolerande vägg. Avståndet mellan reglarna utökades till 600mm istället för 450mm som innan för att undersöka om LHC höll ihop även vid bredare avstånd. I denna gjutning gjordes även test på hur tidigt man kunde lyfta upp väggen. Därför avformades den redan dagen efter gjutning och lyftes så uttorkning kunde ske i båda riktningarna. Därefter lyftes och ställdes elementet på plats tre dagar efter gjutning. LHC var vid lyftet fortfarande fuktig och mjuk. Detta gjorde att det var väldigt skört, men dock höll ihop bra trots det tidiga lyftet. Vi tycker dock man bör vänta ytterligare några dagar då elementet fortfarande var väldigt känsligt för eventuella vridningar och stötar som kan uppstå under lyft och förflyttning.

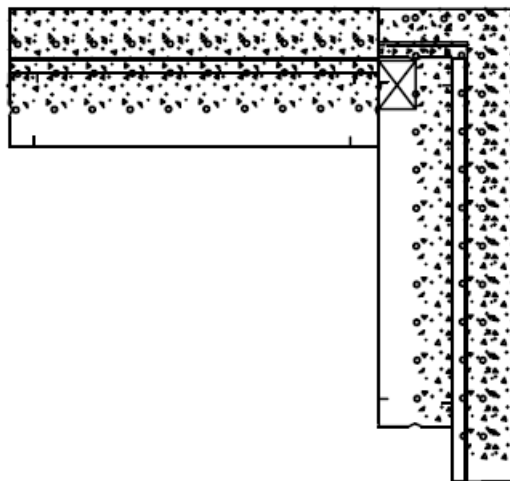
Densiteten för blocket var vid start 764kg/m³ och efter 42 dagar en densitet på 510 kg/m³. Det är en viktminskning på 254kg/m³ jämfört med ursprungsvikten. Vi ser åter igen att trots en lägre densitet är uttorkningen ungefär identisk med de föregående mätningarna.

Tryckhållfastheten var efter 28 dagar 0,24MPa och efter 42 dagar 0,24 MPa. Anledningen till resultatet är att vi under processen lärt oss hur man ska stampa bättre och göra det mer systematiskt. I dessa fall har vi fyllt på kuberna med mindre LHC i fler skikt och stampat det jämnare. Vi får då en jämnare fördelning av LHC i kuben vilket vi inte tänkt på i samma utsträckning innan. Detta säger oss att även när man stampar ett större element bör man fylla på sitt element i flera jämna lager och arbeta sig systematiskt uppåt tills hela formen är fylld. På detta sätt försäkras man sig om att elementet håller samma densitet i hela konstruktionen.

4.4 Gjutning 4

För att visa detaljlösningar på hur man sammanfogar och förankrar elementen utan att skapa köldbryggor valde vi att gjuta två mindre modeller; två element för att visa sammanslutning i väggskarvar samt två element för sammanslutning vid hörn. Stommarna fylldes inte helt för att kunna skapa ett installationslager samt för att underlätta förankringen i grund och mellan elementen. Detta resulterade i att det blev många smådetaljer i stommen som gjorde det svårt att stampa effektivt och jämt. Det fanns små utrymmen som var svåra att fylla upp och man var tvungen att använda sig av händerna för att se till att fylla ut alla hörn och skrymslen. Elementen blev dock väldigt lätthanterliga och tillfredsställde de egenskaper och funktioner vi efterfrågade. Resultatet av att ha en upphöjd stomme gjorde att ytterskiktet blev slätt och jämt. Elementen var därför väldigt lätta att passa ihop och måtten stämde bra överens. Klackarna som gjöts för att ta bort köldbryggorna höll ihop bra men de är dock stötkänsliga så dessa bör hanteras varsamt för att undvika att de knäcks.

I figur 31 syns en kryssad ruta. Detta utrymme måste fyllas extra vid gjutning av hörnelement, annars är inte isoleringen fullgod. Vi gjorde denna miss när vi gjöt våra hörnelement och upptäckte inte detta förrän efter elementen hade passats ihop. Densiteten för element var vid start 732,5kg/m³ och efter 42 dagar en densitet på 550 kg/m³, en minskning på 182,5 kg/m³ hade skett. Vid denna lägre densitet såg vi att uttorkningen var mer linjär än de andra proverna. Detta kan bero på att mer luft finns i elementet och på så sätt blir uttorkningen mer jämn. Tryckhållfastheten ökade från 0,23 MPa till 0,29 MPa på 42 dagar, vilket är en ökning på 26 %. Denna gång var vi ännu mer noggranna vid



Figur 31. hörnelement

Prefabricerad Hampabetong

stampningen och fick på så sätt ett mera trovärdigt resultat. Vikten av att stampa korrekt är stor och att lära sig hur man ska gå till väga under en gjutningsprocess tar förhållandevis lång tid. När man gör dessa tester genom stampning handlar det om erfarenhet och känsla och det är lätt att hamna lite fel.



5. Slutsats och rekommendationer

Syftet med vårt arbete var att tillverka prefabricerade väggelement som bestod av LHC med en bärande stålstomme. Detta utfördes i en kontrollerad inomhusmiljö för att på så sätt kunna skapa bättre förutsättningar för LHC i en bransch där prefabricering blir en allt viktigare del av industrin.

Vi anser att vi efter ett antal försök lyckats skapa förutsättningar för ett fungerande väggsystem. Det produktionssätt som vi använt är stampning. Stampningen är den del i processen som är mest tidskrävande och kräver mest noggrannhet för att få samma densitet igenom hela elementet. Denna process skulle behöva göras maskinellt i någon form av press för att få ett kontrollerat och jämt tryck över hela elementet. Detta för att försäkra sig om att väggen håller samma isolerings egenskaper rakt igenom. Man skulle också korta ner tillverkningstiden avsevärt. Ett alternativ till stampningen är att spraya LHC. Om ytterligare forskning ska göras kring prefabricering anser vi att man borde slopa stampningsförfarandet och istället göra tester där man fyller ut formarna med LHC genom sprayning.

För att få ett LHC-element att hålla ihop, hålla en låg vikt och ta bort köldbryggor krävs vidareutveckling utav stålkonstruktionen. Med de förutsättningarna vi hade under detta projekt krävdes det flera komponenter i armeringssyfte än vad som egentligen är nödvändigt. Stålkonstruktionen skulle kunna anpassas till detta material genom vissa utstansningar istället för att ha extra regler som i vårt fall.

Tryckhållfastheten varierade mellan 0,12 MPa och 0,29 MPa efter 42 dagar. Variationen tror vi beror på att vi stampat kuberna olika hårda vilket leder till olika densiteter. En lägre densitet kommer då ge ett lägre hållfasthetsvärde. Återigen ser man klara kopplingar som visar vikten av att stampa korrekt för att få pålitliga värden.

Oavsett densitet eller LHC blandning hade alla uttorkningskuber en likvärdig uttorkningshastighet. För våra väggar med en tjocklek på 200mm började uttorkningen i stort sett avta efter 50-60 dagar. Detta är då i en kontrollerad miljö utan väderpåverkan. Ute i fält kan denna uttorkningstid tänkas gå mycket fortare under sommarperioden och långsammare under vintern. Hur detta i sin tur påverkar materialet krävs fler analyser av ute på arbetsplats.

Under tillverkningen av LHC har vatten en stor betydelse. Har man för lite vatten blir blandningen ofullständig då kalken och hampan konkurrerar om vattnet. Har man för lite vatten kommer LHC:n inte bli fullständig utan blir istället bara pulver. Däremot kan för mycket vatten göra att uttorkningstiden blir alldeles för lång. Under våra prover har vi sett att lite för mycket vatten alltid är bättre än för lite.

Vi upplever att materialet är i sig är väldigt aktuellt som byggmaterial då miljömedvetenheten ökar i världen. Dock upplever vi att vår metod måste utvecklas mera för att kunna bli effektiv och lukrativ för dagens marknad. Stampningen är fortfarande väldigt primitiv och kan inte mäta sig med de tidskrav som ställs idag. Vi rekommenderar att man i nuläget använder sig av platsgjuten LHC med sprayning som applicering av materialet då detta är en beprövad metod innan man tar nästa steg mot ett prefabricerat system.



Referenser

Ahlsten, H.(2010) Rötning av industrihampa för fiberproduktion. SLU.

Alternativ(2013) Hydraulisk Kalk. Tillgänglig digitalt:

http://handbok.alternativ.nu/Bygga_och_bo/Allm%C3%A4nt/Byggmaterial/Kalk#Osl.C3.A4ckt_kalk.2C_br.C3.A4nd_kalk.2C_kalciumoxid.2C_E_529 (accessed: 7 feb 2013)

American Lime tec, (2012), Martin-Korp Residence, Ashville, USA. Tillgänglig online:

<http://www.americanlimetec.com/> (accessed: 28 feb 2013)

Bevan, R. & Woolley, T. (2008). *Hemp Lime Construction - A guide to building with hemp lime composites*. Bracknell, UK: IHS BRE Press. ISBN 978-1-84806-033-3

Boverket(2013) Skydda ditt hus mot fuktskador. Tillgänglig online:

<http://www.boverket.se/om-boverket/webbokhandel/publikationer/2003/skydda-ditt-hus-mot-fuktskador/> (accessed: 11feb)

Callman, C.(2013) Jordbruksverket. Mejlkontakt. Jönköping, Sverige.

Danielsson, E. Robertsson, H. (2008), *Prefabricerad produktion med betongelement, Mälardalens Högskola, Västerås*.

De Bruijn, P(2012) Material properties and full-scale rain exposure of lime-hemp concrete walls. Alnarp, Sverige. SLU. ISBN 978-91-576-7715-0

Eriksson, D. (2008) Industrihampa - Marknad och odlingsareal. Tillgänglig Digitalt:

http://194.47.52.113/janlars/partnerskapAlnarp/ekonf/20080313/20080313_hampa.pdf

Ernest L. Abel (1980) *Marijuana - The First Twelve Thousand Years*. New York and London: Plenum Press.

Evrard, A. & De Herde, A. (2010). Hygrothermal performance of Lime-Hemp wall assemblies. *Journal of Building Physics* 34(1), 5-25.

Haynes, M. (2013). Mejlkontakt. Tradical. Derbyshire, England.

Hempcrete Australia(2012), Product and service Information

Ivarsson, P-A(1999) Kalk är inte bara kalk, Byggnadskultur nr 2/1999, Tillgänglig digitalt:

<http://www.byggnadsvard.se/byggnadskultur/kalk-%C3%A4r-inte-bara-kalk>

(accessed: 2feb 2013)

Johnson, P. (1999), *Industrial Hemp: A Critical Review of Claimed Potentials for Cannabis Sativa*. Tappi Journal Vol:87 No.7

Nordholm, H(2013) Mejlkontakt. Nordkalk, Landskrona.

Nordkalk(2013), Släckt kalk. Tillgänglig digitalt: <http://www.nordkalk.se/kalk> (Accessed: 4 feb 2013)

Nordholm, H(2013) Mejlkontakt. Nordkalk, Landskrona.



Prefabricerad Hampabetong

Nyteknik, 2013, <http://www.nyteknik.se/nyheter/bygg/byggartiklar/article2506160.ece>

Roger Olofsson(2013). Personlig kontakt. Grästorps, Sverige.

Roulac, J.W. (1995) Industrial Hemp: Practical Products – Paper to Fabrics to Cosmetics.

Hemptech. ISBN: 1-886874-00-X

Véronique CERÉZO,(2005),Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique, Franska.

Bilder

fig4. www.limetechnology.co.uk

Fig5. CAT(2013) How were natural insulation materials hemp cellulose and cork use wise.

Tillgänglig online: <http://info.cat.org.uk/questions/wise/how-were-natural-insulation-materials-hemp-cellulose-and-cork-used-wise>

Fig6. www.hemp.org

Fig 7. www.bionic.nu

Fig8. www.stastier.co.uk

Fig 9. <http://discuss.bis.gov.uk/midsizereview/case-studies/adnams/>

Fig10. http://www.hemp.com/2011/03/hemp_house_ashville_north_carolina_video_on_using_hempcrete/

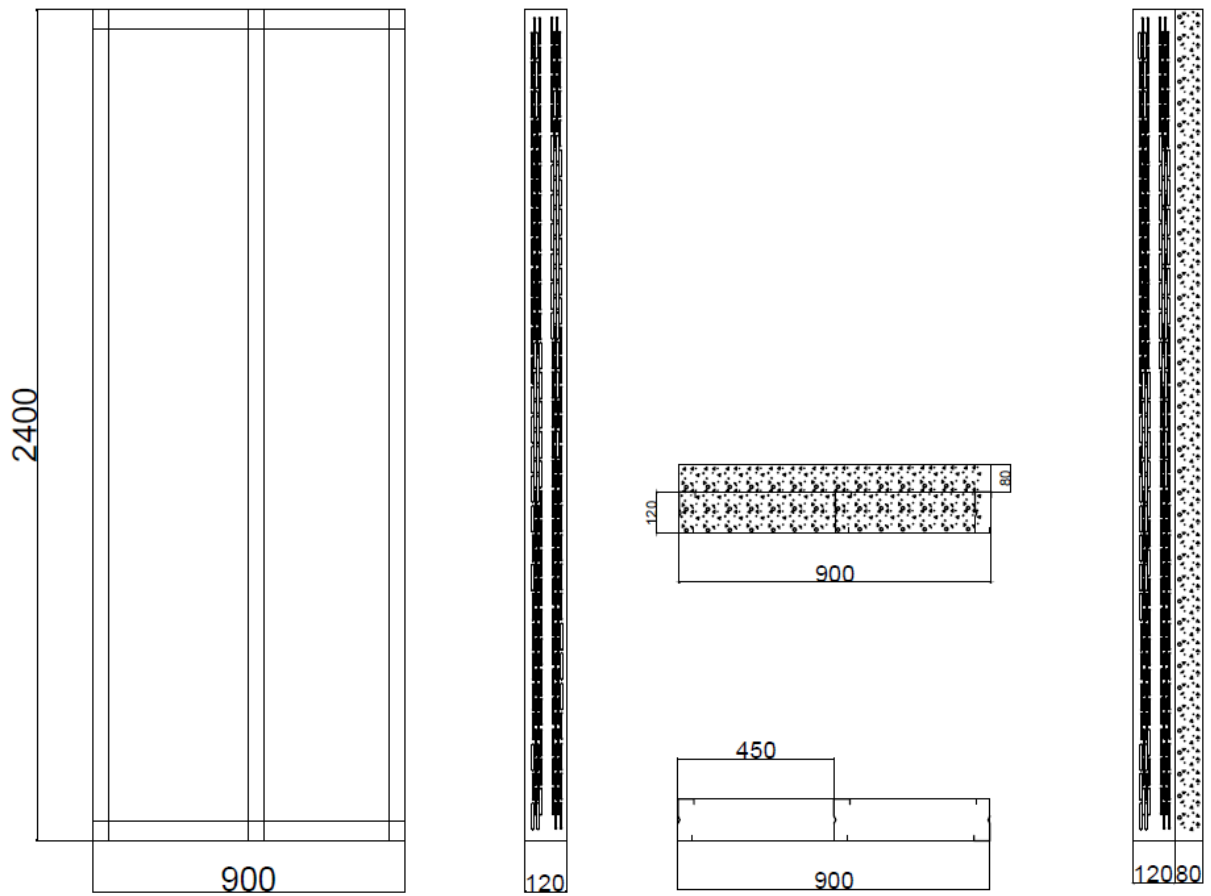
Fig 12. <http://www.greenlighttrust.org/history-of-the-foundry/>



Bilagor

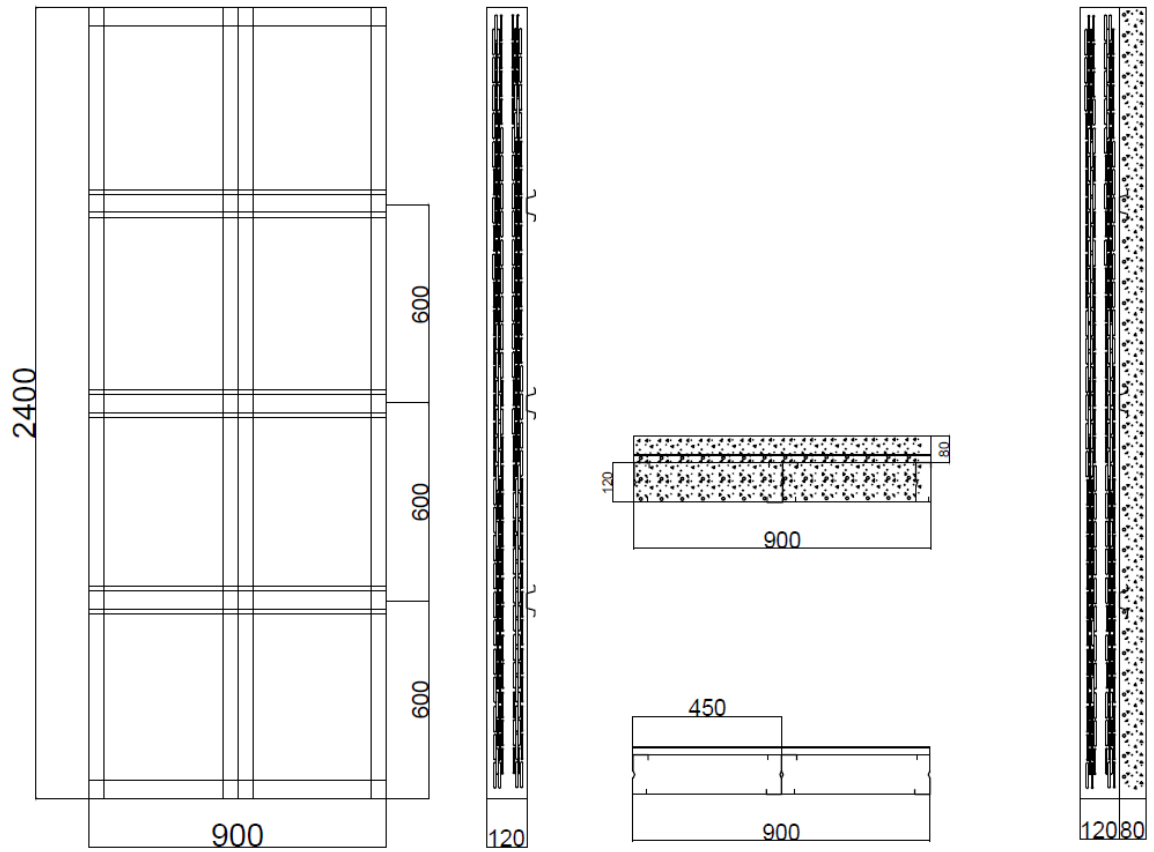
Bilaga 1

Bilaga 1. LHC element, Gjutning nr: 1



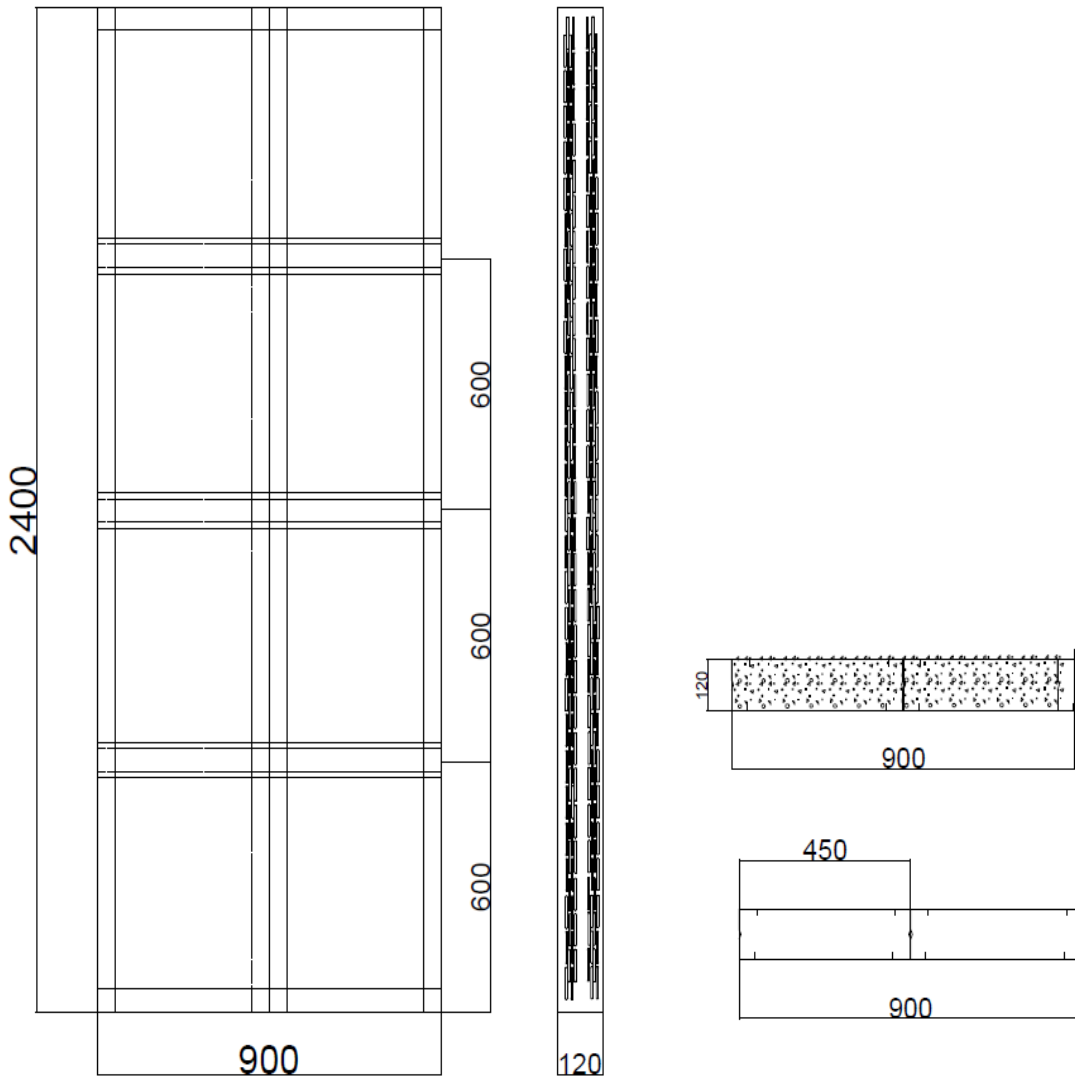
Bilaga 2

Bilaga 2. LHC element, gjutning nr: 2



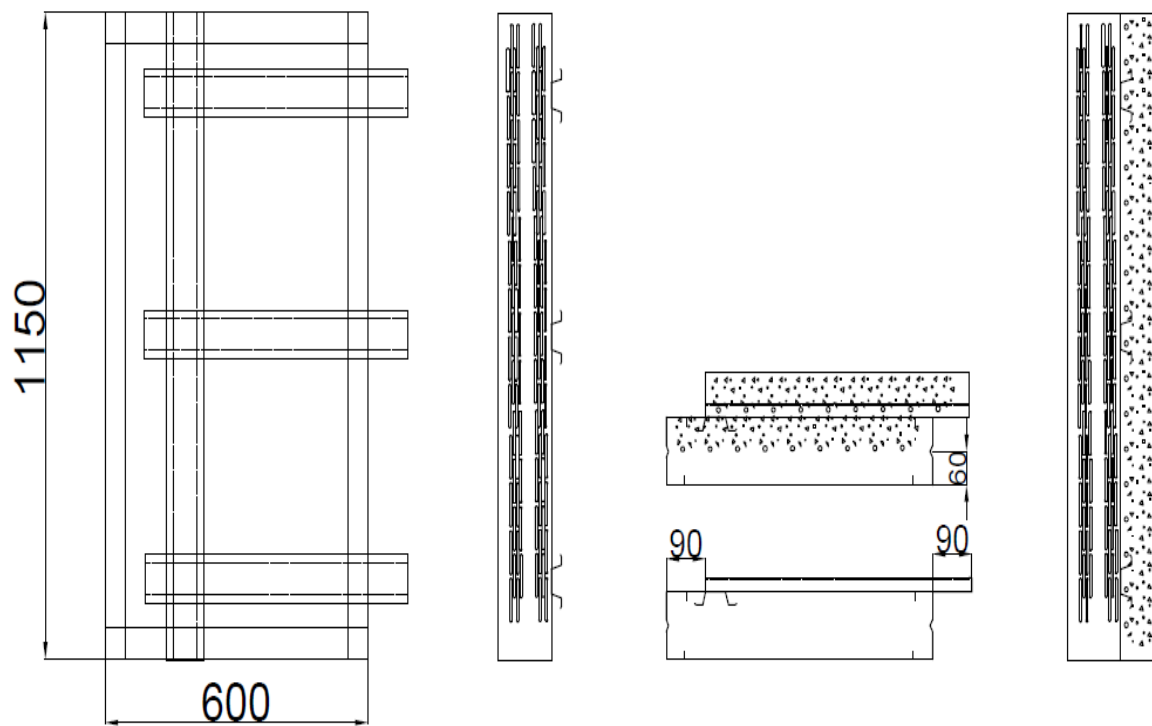
Bilaga 3

Bilaga 3. LHC element, gjutning nr: 3



Bilaga 4.1

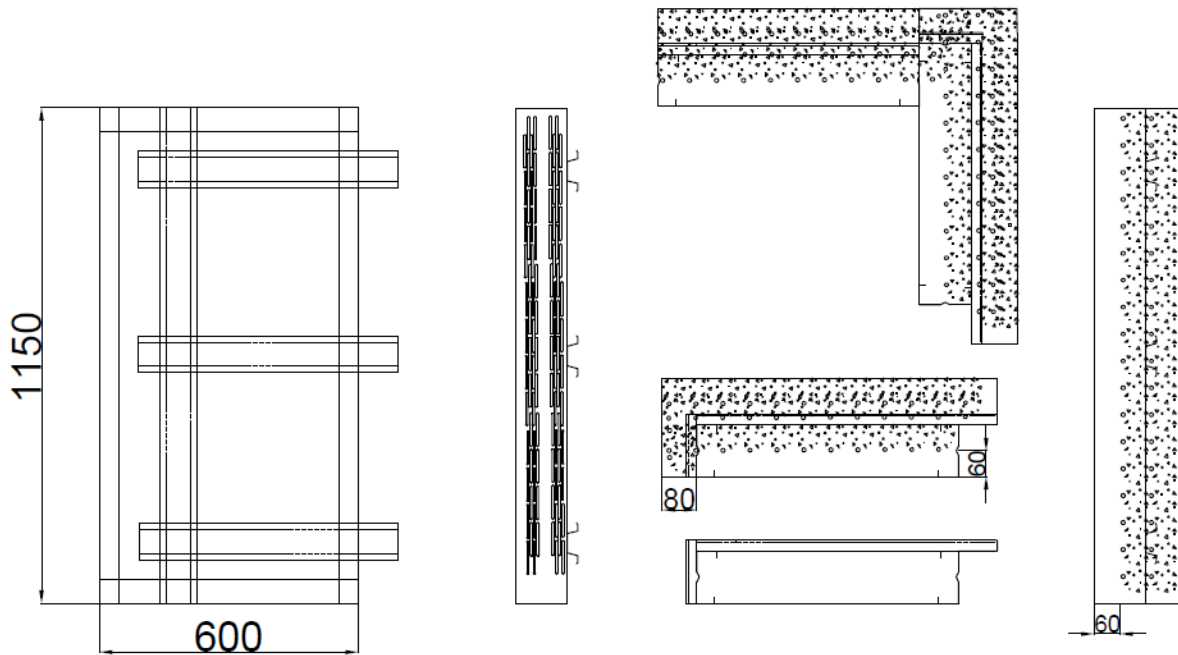
Bilaga 4.1. LHC element, gjutning nr: 4



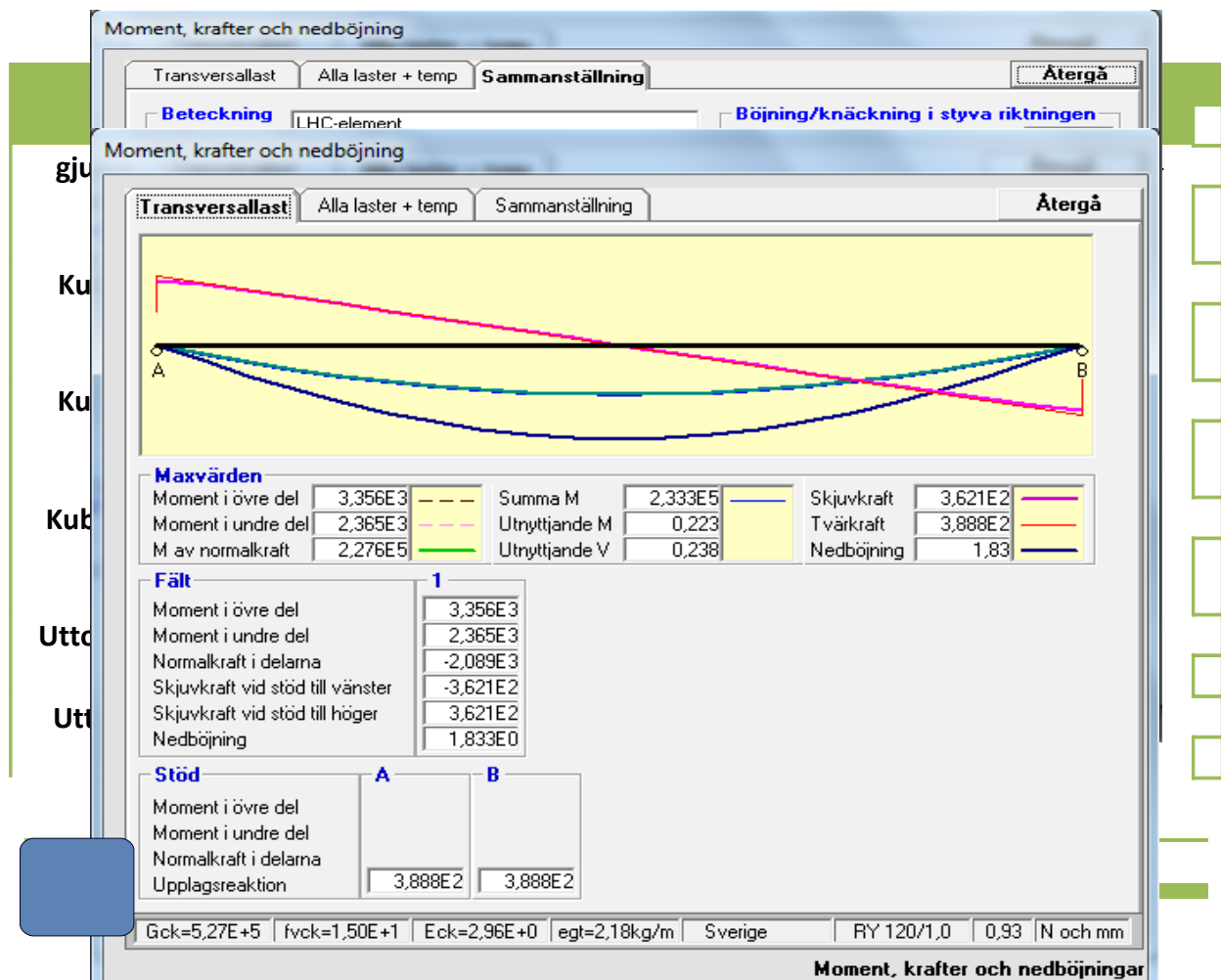
Prefabricerad Hampabetong

Bilaga 4.2

Bilaga 4.2. LHC element, gjutning nr: 4



Bilaga 5. lastberäkningar



Prefabricerad Hampabetong

Uttorkning 1 månad	6,52 kg	5,94 kg	5,84 kg	6,42 kg	
Uttorkning 1,5 månad	6,04 kg	5,52 kg	5,48 kg	5,80 kg	
Övrigt	350 kg LHC användes. Blandningar på 12 kg kalk med 2.16 kg hydralisk och 9.82 kg	350 kg LHC användes. Blandningar på 12 kg kalk med 8 kg släckt och 4 kg	306kg hampa använd es. Sidorna	avformades efter 1 dag. 9 kuber gjordes för trycktest.	

Bilaga 6 – Testresultat

