

# Träkolslera

- en experimentell studie av  
blandningsförfarandet



**Anton Nilsson**

Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i  
Kulturvård, Bygghantverk  
22,5 hp  
Institutionen för kulturvård  
Göteborgs universitet

2015





Träkolslera  
– en experimentell studie av blandningsförfarandet

Anton Nilsson

Handledare: Nils-Eric Anderson  
Bihandledare: Anders Göransson

Kandidatuppsats, 22,5 hp  
Bygghantverksprogrammet  
Lå 2015





Program in Conservation, Building Crafts  
Graduating thesis, 2015

By: Anton Nilsson  
Mentor: Nils – Eric Anderson

Charcoal clay - An experimental study of the mixing process

## ABSTRACT

Clay is a building material that could well be used as an alternative to Swedish conventional building materials. New research suggests that due to climate change greater focus needs to be put on the production of building materials and not only the operational phase of the building. Since clay building technique cannot be classed as an established construction technology in Sweden some factors are lacking sufficient knowledge. There is no existing study that treats the mixture of clay and charcoal, the material produced in this work would therefore complement the existing materials straw clay, wood chips clay and haydite (Leca) clay. This work can, through practical experiments on construction solutions and operation, contribute to developing the inadequate state of knowledge in Sweden. The aim of this work was that by laboratory experiments with different proportions of granulated clay, charcoal, sand and water produce a filling material with heat insulating properties for constructions. The following questions have been answered in this work:

- What parameters are important or even crucial for the cohesion of the material?
- In which degree is the material heat-insulating?
- How does the material affect building's internal environment and the external environment, during the life of the material?

To answer the first question about the cohesion of the material clay granules, charcoal, sand and water were mixed in different ratios and then analyzed. The material were then applied into a timber frame construction. Pondered and brought a hypothetical discussion of the heat-insulation value of charcoal clay to answer the second. The third question was answered by gathering information from literature and scientific publications which then were applied on the results. Finally other factors were discussed such as how the mixing process affected the results in terms of cohesion, the isolation ability of charcoal clay and rationality linked to the production process.

Title in original language: Träkolslera – en experimentell studie av blandningsförfarandet

Language of text: Swedish

Number of pages: 47

Keywords: Charcoal, Clay, Timber Frame, Building material, Climate positive building, Self-build, Environmental impact





## Förord

Det var intresset för hållbart byggande och min nyfikenhet kring lera som byggnadsmaterial, i kombination med inspirerande tankar och motivation från min handledare, Nils-Eric Anderson som fick mig att välja ämne för det här examensarbetet. Under Bygghantverksutbildningen har utrymme inte lämnats för lerbyggnation och jag såg därför möjligheten till att fördjupa mig inom området under denna period. Tack vare ett visst antal personer har genomförandet av arbetet underlättats avsevärt. Jag skulle därför vilja passa på att tacka för deras hjälp.

TACK!

- ❖ Johannes Riesterer, Michael Bergman och Ulf Henningsson, för att ni inledningsvis hjälpte till med en presentation av kunskapsläget inom lerbyggnation.
- ❖ Lars Hylander för all hjälp med presentation av forskningsläget kopplat till träkol.
- ❖ Anders Göransson för tankar kring praktiskt utförande.
- ❖ Maria Hörnlund för ditt positiva engagemang och all hjälp i biblioteket.
- ❖ Nils – Eric Anderson för den ovärderliga insats du har gjort under hela examensarbetets gång.
- ❖ Sist men absolut inte minst, tack Maria Lindwall för att du har hjälpt och stöttat mig när jag behövt det.

Anton Nilsson

Mariestad i Juni 2015



# Innehållsförteckning

1. Inledning .....	9
1.1 Bakgrund .....	9
1.2 Problemformulering .....	10
1.3 Syfte.....	11
1.4 Frågeställningar .....	11
1.5 Avgränsningar.....	11
1.6 Begreppsförklaring.....	12
1.7 Litteraturanalys och historiskt avstamp .....	13
1.7.1 Lera som byggnadsmaterial i Sverige .....	13
1.7.2 Träkol .....	15
1.8 Miljöpåverkan .....	16
2. Laborationsförsök .....	17
2.1 Förberedande.....	17
2.1.1 Stolpverksstomme.....	17
2.1.2 Arbetsplats och utrustning.....	18
2.2 Inledning till blandningsprocess .....	18
2.3 Blandningsförfarandet.....	19
2.4 Lerblocksform .....	22
2.5 Torkställning.....	25
2.6 Materialkontroll.....	26
2.6.1 Torkning .....	26
2.6.2 Vägning.....	27
2.6.3 Mätning och krympning.....	28
2.7 Applicering i stolpverksstomme .....	28
2.7.1 Direktfyllning.....	28
2.7.2 Blockmurning .....	30
Figur 21. Tre fack är uppmurade och ett är direktfyllt .....	31
2.8 Isoleringvärde.....	31
2.8.1 Isoleringslåda .....	32
2.8.2 Jämförelse med tabell .....	34
3. Resultatutvärdering av materialet.....	35
3.1 Materialåtgång.....	35
3.2 Blockens sammanhållning .....	37
3.3 Inre och yttre miljö .....	39
4. Diskussion/Slutsatser .....	41
Käll- och litteraturförteckning .....	44
Muntliga källor .....	44
Tryckta källor .....	44
Elektroniska källor .....	46

## Bilagor

Bilaga 1. Olikheter i ytstrukturer

Bilaga 2. Detaljerad bild av yttemperaturer





# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Under hösten 2014 hade jag ett antal samtal kring tänkbara uppsatsämnen med Nils-Eric Anderson som är lektor och lärare på Bygghantverksprogrammet, Institutionen för kulturvård vid Göteborgs universitet. Det vi diskuterade var hur man skulle kunna framställa, blanda, ett material bestående av lera och träkol. Varken jag eller Anderson har tidigare stött på en blandning av de två materialen och därför föddes idén för undersökningen. På Bygghantverksprogrammet undervisar Anderson i kursen Byggnadsfysik, där hållbart byggande är ett inslag i kursen. Både lera och träkol kan klassas som ekologiska material och därmed vara en del av ett i vissa avseenden hållbart byggande.

Sveriges riksdag har fastställt 16 miljömål som skall uppfyllas till 2020 och endast två av dessa förutses uppnås (Regeringskansliet 2014a, 2014b). Giftfri miljö och god byggd miljö är två av miljömålen som kan relateras till denna undersökning. För närvarande inte är något län i Sverige som uppnår något av dessa målen. Bygg- och fastighetssektorn står för 16 % av Sveriges årliga växthusgasutsläpp (Toller, Wadeskog, Finnveden, Malmqvist & Carlsson 2009, s. 30). Koldioxidutsläpp sker vid alla processer<sup>1</sup> under ett byggnadsmaterials livslängd (Shamoun 2013).

Nya forskningsresultat tyder på att större fokus behöver läggas på materialens framställning rörande klimatpåverkan och inte bara driftfasen av byggnaden (Liljenström, Malmqvist, Erlandsson, Fredén, Adolfsson, Larsson & Brogren 2015). Det gäller därför att byggnaders material är tillverkade med hänsyn till förbrukning av råvaror, förekomsten av gifter och energianvändning för att minska miljöbelastningen och därmed det ekologiska fotavtrycket. När byggnader skall rivras, eller när materialen inte längre fyller sin funktion i en byggnad skall det vara möjligt att kompostera dem eller återanvända dem på ett sätt som inte hämmar naturens kretslopp (Boverket 2006, s. 17). På detta sätt skulle vi närma oss miljömålen och sänka de årliga växthusgasutsläppen inom bygg- och fastighetssektorn.

Tillverkningen av många av dagens konventionella byggnadsmaterial sker genom energi- och resurskrävande framställningsprocesser och för att dessa material skall vara konkurrenskraftiga, är de beroende av att energikostnaden fortsatt ligger på en låg nivå. Ofta är byggnadsmaterialen också i behov av långa transporter vilket gör förbrukningen av fossila bränslen ännu större. Många konventionella byggnadsmaterial innehåller dessutom potentiellt farliga kemikalier samtidigt som kunskapen om miljö- och hälso-

---

<sup>1</sup> Processer syftar i det här fallet på tillverkning, deponering och samtliga transporter för materialet.

störande effekter hos dem är liten. När flera kemikalier kombineras skapas i många fall nya kombinationer som blir de giftigare än de ingående enskilda komponenterna. Det gäller därför att få bort så många farliga och olämpliga kemikalier från byggbranschen som möjligt (Bokalders & Block 2014).

## 1.2 Problemformulering

Som Eva – Rut Lindberg skrev redan 2003 är lerbyggnadstekniken långt ifrån etablerad i den svenska byggbranschen, trots att den lämpar sig väl för det svenska klimatet (Lindberg 2003, s. 17). I allmänhet råder tveksamheter till lerjord som byggnadsmaterial (Palmgren 2003, s. i; Lindberg 2003, s. 9). Lindberg påvisar att det handlar om konstruktionslösningar och handhavandet av materialet då hon skriver ”Vad som är av betydelse för dessa, liksom alla byggnadsmaterial är att arkitekter, konstruktörer och hantverkare kan hantera materialet på rätt sätt” (Lindberg 2003, s. 11). I många andra länder runt om i Europa, såsom Tyskland, England och Frankrike, är dessa tekniker sedan länge väl etablerade (Lindberg 2003, s. 79) och mycket av den samlade kunskapen där kan appliceras på svenska klimatförhållanden. Föreliggande arbete kan bidra till att utveckla det bristfälliga svenska kunskapsläget genom att praktiskt utföra experiment på konstruktionslösningar och handhavandet.

Lera är ett byggnadsmaterial som mycket väl skulle kunna användas som ett alternativ till konventionella material. Leran har många användningsområden och kan exempelvis användas till bärande stommar, som in- och utvändigt putsskikt på väggar, eller som fyllnadsmaterial helt eller delvis i väggar, tak och bjälklag. Eftersom lerbyggnadstekniken inte kan klassas som etablerad byggnationsteknik i Sverige saknas också tillräckliga underlag på vissa plan. I en rapport som uppkom efter ett seminarium på KTH 1998, nämner författaren vissa områden som är utvecklingsbara inom lerbyggnationen. Det handlar då bland annat om val av lämpliga material för att motverka sprickbildning i lermaterialet, direktiv för praktisk torktid men även att teknikerna där man bygger med lera är lämpade för självbyggeri, vilket håller ner den totala byggkostnaden (Lindberg 1998, ss. 40 - 41). Detta arbete skall behandla och medverka till att fylla de ovanstående kunskapsluckorna och skulle därmed kunna vara behjälpligt vid framtida studier på ämnet.

Enligt Michael Bergman och Johannes Riesterer<sup>2</sup> som båda har lång erfarenhet av lerbyggnation, är lera ett mångsidigt material som går att blanda med det mesta. Det finns lerbyggnadstekniker där lera blandas med exempelvis träflis, halm eller lättklinker. Både träflis och halm är organiska material som används som isolering och armering inom lerbyggnation. Eftersom materialen är organiska finns det risk för mikrobiell tillväxt, både innan de blandas med leran, men även i den färdiga konstruktionen. I ett examensarbete om lerhalm nämner författaren att hus gjorda av lerhalm eller träflislera, är beroende av snabb uttorkning för att inte riskera problem

---

<sup>2</sup> Informanter, se källförteckningen.

med mögel (Eklund 1997, s. 7). Träkol kan användas som ett alternativ till halm eller träflis med tanke på att träkolets ringa näringsinnehåll eliminerar risken för mikrobiell tillväxt. Framställningen av lättklinker (Leca) är en mycket energikrävande process som släpper ut 0,296 kg koldioxid/kg material (Bokalders u.å.). Träkol skulle däremot kunna ses som ett miljövänligare alternativ enligt Hylander<sup>3</sup>, då det istället för att avge koldioxid vid framställningen binder ca 3,5 kg koldioxid/kg material. Det finns ingen befintlig studie som behandlar blandningen av lera och träkol, materialet som framställs i detta arbete skulle därför komplettera de befintliga materialen lerhalm, träflislera och Lecalera.

### 1.3 Syfte

Syftet med undersökningen är att genom laborationsförsök med olika blandningsförhållanden av lergranulat, träkol, sand och vatten framställa ett fyllnadsmaterial med värmeisolerande egenskaper för konstruktioner som lämpar sig för självbyggeri. Det skall även vara konstruktionsmässigt hållbart, då avses att materialet skall bära sin egenvikt och ingen annan last. Utöver dessa funktionskrav är målet att materialet skall ha så liten negativ inverkan som möjligt på miljön både under bygg-, brukar- och rivningsskedena.

### 1.4 Frågeställningar

- I. Vilka parametrar är viktiga/avgörande för sammanhållningen av materialet?
- II. I vilken utsträckning är materialet värmeisolerande?
- III. Hur påverkar materialet en byggnads inre miljö och vilken yttre miljöpåverkan har materialet under sin livstid?

### 1.5 Avgränsningar

Lera är ett av världens äldsta byggnadsmaterial och det räknas med att en tredjedel av världens befolkning bor i någon form av lerhus (Ekblom 1993, s.23). Det finns därav väldigt mycket skrivet om lerbyggnation och alla dess metoder. Därför kommer en kort sammanfattning av det svenska kunskapsläget att presenteras samt byggnadsteknikerna som är relevanta för de metoder som kommer att användas i undersökningen. Arbetet kommer att begränsas till isolerlera/lättlera. I undersökningen kommer 0 – 2 mm lergranulat från Bara Mineraler i Malmö att användas. För att säkerställa träkolens kvalitet och miljökrav har endast träkol som kommer från FSC - certifierad skog och som uppfyller den europeiska standarden, EN 1860-2, använts.

Materialet som framställs kommer att appliceras i en stolpverksvägg, dels som block men även som direktfyllning mellan stolparna, arbetet kommer därför inte att behandla materialet som bjälklagsfyllning eller liknande. När komponenterna skall blandas samman kommer detta att göras i en planblandare eftersom en frifallsblandare hanterar komponenterna på ett annat sätt. Detta hade medfört att en annan typ av blandningsprocess skulle studerats, vilket hade blivit för omfattande. Av två anledningar har lergranulat använts till blandningarna istället för naturlera. Det beror dels på tidsbesparing, då

---

<sup>3</sup> Lars Hylander, informant.

naturleran behöver bearbetas för att fungera fördelaktigt under blandningsprocessen. Naturleran kan också bestå av olika sammansättningar vilket genererar olika egenskaper och måste därför analyseras före användning för att resultatet skall bli rättvisande.

## 1.6 Begreppsförklaring

Nedan presenteras ord och begrepp som kan vara läsaren till godo. Begreppen är hämtade från Nationalencyklopedin och Appendix IV i *Gjort av jord* (Lindberg 2003, ss. 1 - 5).

*Armering*: Material som används för förstärkning av annat mindre hållfast material.

*Isolerlera*: Uppslammad lera blandad med isolerande material som används till väggmaterial. Isolerlera är inte lastbärande.

*Kolsänka*: Vegetation som sänker koldioxidhalten i atmosfären.

*Lambdavärde ( $\lambda$ )*: Värmeledningsförmåga eller värmekonduktivitet. Ett materials förmåga att leda värme.

*Lecalera*: Isolerlera med inblandning av lättklinkerkulor.

*Ler*: Skivformiga mineralfraktioner med en diameter mindre än 0,002 mm.

*Lera*: Extremt finkorning jordart där mer än 15% av viktinnehållet utgörs av lerpartiklar.

*Lerblock*: Använd beteckning för block som framställs i undersökningen. Se lersten.

*Lergranulat*: Kornformig råvara.

*Lerhalm*: Isolerlera med inblandning av halm.

*Lersten*: Även kallat adobeblock, råsten, jordblock, stenar av stampad jord, pisë – block eller obränt sågspånstegel.

*Lättlera*: Se isolerlera. Lättlera används inom geologi och betecknar jordart med lerhalten 15 – 25%. Kallas även grovlera.

*Träflislera*: Uppslammad lera blandad med stor mängd träflis.

*Komplementbyggnader*:

**9 kap. Bygglov, rivningslov och marklov m.m.**

**1 §** Detta kapitel innehåller bestämmelser om

1. bygglov, rivningslov, marklov och anmälningsplikt,

2. förhandsbesked och villkorsbesked,

3. handläggningen av lovärenden,

4. förutsättningar och villkor för lov, och

5. vad ett beslut om lov ska innehålla, hur det ska expedieras och hur länge det gäller.

**4 §** För en- och tvåbostadshus och till dem hörande fristående uthus, garage och andra små byggnader (**komplementbyggnader**) krävs det, trots 2 § och föreskrifter som har meddelats med stöd av 16 kap. 7 §, inte bygglov för att

Def. enligt PBL (2010:900)

## 1.7 Litteraturanalys och historiskt avstamp

Trots att en omfattande litteraturstudie har genomförts på det relevanta ämnesfältet såväl som samtal med informanter på området, har ingen vetenskaplig litteratur påträffats som beskriver eller för den delen nämner att de båda materialen tidigare har blandats samman. Med det sagt påstås inte att en sådan process aldrig tidigare utförts eller dokumenterats, undantag för praktiska försöket på Änggärdet, men möjligheten att undersöka detta grundligare sträcker sig utanför examensarbetets tidsram.

### 1.7.1 Lera som byggnadsmaterial i Sverige

Lars Allan Palmgren har skrivit en licentiatavhandling som heter *Svenska jordhus med lera eller kalk 1750-1950* (Palmgren 2003) och som titeln avslöjar har jordhus byggts i Sverige, åtminstone sedan 1750-talet. Han skriver om jordhustekniker som har varit de vanligast förekommande i landet enligt svensk litteratur som speglar den tidsperiod som avhandlingen avser. Dessa byggnationstekniker är lerhus, lerstenshus, stamhus, slaggflishus, kalkbrukshus och sandbrukshus.

Under 1700-talet fanns en föreställning om att en energikris skulle bryta ut i Sverige, det handlade då om skogsbrist. För att lösa denna energikris utträttades vissa åtgärder vilka skulle effektivisera skogsanvändning som exempelvis utveckling och effektivisering av sågar och uppfinnandet av kakelugnen. Stenkol som bränsle i eldstäder istället för ved från skogen och byggnadstekniska alternativ till timmer. Eftersom lerhusen hade ett känt rykte av att vara obrännbara gentemot trähusen samt billigare att uppföra än stenhusen blev byggnadstekniken mottagen med stort intresse (Palmgren 2003).

Under mitten av 1700-talet rådde upplysningstiden i Europa och kunskapsutbyte skedde över landsgränserna. Kunskapsutbyte från länder där lerhusbyggnation var vanligt i samband med föreställningarna om ovanstående, gjorde att byggnationstekniken togs i bruk i Sverige. Palmgren skriver om en period som han benämner den sociala revolutionen och den sträcker sig från år 1915 till 1950. Bostadsbrist, fattigdom och till viss del materialbrist rådde i landet på grund av de pågående världskrigen och därför var lerhusbyggnation användbart under denna period (Palmgren 2003).

1950 gav Carl – Olov Lindberg och K. G. Molin ut *Jordhusbygge – Arbetsbeskrivningar och ritningar*. I boken berörs vissa fält som är intressanta för undersökningen i detta arbete. Beredning av jorden diskuteras i några stycken där författarna ger ekonomiska och praktiska råd om tillvägagångssätt för att underlätta byggnationen (Lindberg & Molin 1950, ss. 35, 36). Jordblock eller lersten som det också kallas presenteras utifrån tillverkningsprocess och användningsområde. Bärande konstruktion av annat material behandlas på bokens sista sida och det författarna talar om är en sorts isolerlera som gjuts i eller runt en trästomme. Tillvägagångssätt, värmeisoleringsförmåga och blandningsförhållanden är exempel på vad som presenteras (Lindberg & Molin 1950, ss. 52 - 53).

Annelies Schöneck gav år 1984 ut ett litet häfte som heter *Jordhusbygge – Tradition och framtid*. Häri nämns strålera vars funktion är densamma som isolerlerans.

Ett väldigt detaljerat och omfattande examensarbete, *Om hus av jord och lerhalm*, skrevs år 1986 av den då arkitektstuderande Annika Ekblom, som sju år senare resulterade i en bok med samma namn. Ekblom presenterar dels isolerlera i form av lättlera, men även lerhallsisolering i bjälklag av olika slag samt adobeblock.

Emanuel Eklund skrev under våren 1997 ett examensarbete om lerhalm, där han i huvudsak undersöker materialegenskaper, genom mätningar och praktiska försök. Det finns enligt författaren praktisk kunskap om lera som byggnadsmaterial i Sverige, dock saknas teoretisk underbyggnad och syftet med examensarbetet är därför att råda bot på detta. I uppsatsen behandlas lerhalm som en icke bärande konstruktion som är beroende av en bärande stomme, alltså en typ av isolerlera. Författaren skriver att lersten finns i olika utföranden dels som handslagen i formar, alltså adobeblock, men även pressade eller gjutna samt stampade lerstenar.

*Hus med väggar av jord – Steninge 6:1* är en bebyggelsehistorisk uppgift författad av Ulrika Kihlqvist och Maria Moréteau (1997) vid Avdelningen för kulturvård, Gu. I arbetet presenteras olika byggtekniker med jord, däribland adobeblock och lättlera.

I Årsboken Uppland har Karin Blent skrivit en artikel som heter *Stöphus, lerhus och hus av slagg* (1998) där hon nämner att såväl bostadshus som fähus var uppförda med soltorkade lerstenar med halm.

Eva –Rut Lindberg har författat ett antal skrifter som sedan har resulterat i en licentiatavhandling. *Är jordbaserade byggmaterial utvecklingsbara inom byggindustrin?: rapport från seminarium på arkitektskolan den 20 mars 1998*, följdes två år senare upp av *Lerjord som byggmaterial: en lägesrapport för år 2000 skriven för Byggforskningsrådet*. Licentiatavhandlingen *Gjort av jord: lerjord som byggmaterial i Sverige och länder med likartat klimat*, gavs ut två år senare och har varit till stor hjälp under detta examensarbete.

Linnéa Stolle Wassberg har under sitt examensarbete, *Lersten i skånsk byggnadstradition* (2010), haft som syfte och målsättning att ta reda på och utvidga kunskapsfältet om det traditionella byggnadsmaterialet lersten. Tester har utförts på två typer av lersten för att kunna klargöra deras motståndskraft mot vatten.

### **1.7.2 Träkol**

När det gäller träkol kommer presentationen av den befintliga kunskapen och det historiska avstampet att sträcka sig utanför Sveriges geografiska gränser och byggnadssammanhang, för att ge en vidare bild av användningsområdet.

Träkol är inte lika omtalat som lera när det kommer till byggnadsmaterial. Liknande material omnämns desto mer frekvent inom äldre byggnadsläror. Det handlar då om kolstybb eller koksaska som har varit vanligt förekommande som ljud- och värmeisolering till källar- och vindsbjälklag. Källorna verkar vara samstämmiga i att materialen antingen kan användas var för sig eller i en blandning av kalkgrus, lera, mörgel, sand, slagg, torvströ, sågspån eller kutterspån (Kjellin & Hökerberg 1928, s. 394; Hökerberg 1959, s. 603).

I *Tio böcker om arkitektur* omnämner författaren, som levde och verkade för mer än 2000 år sedan att träkol användes i templens fundament (Vitruvius 1989, s. 72).

Historiskt sett har träkolsframställning genom kolmilor varit en viktig råvara för Sverige, då det har använts vid järn-, metall-, och svartkrutstillverkning. Träkol används idag till reningsfilter i form av aktivt kol (Nationalencyklopedin u.å.). Om man ser till den stora befolkningmängden i världen, inser man att träkol fortfarande är en användbar produkt. På Nationalencyklopedin kan man läsa att:

- ”I många utvecklingsländer är träkol fortfarande en av de viktigaste energiråvarorna. Man beräknar att flera hundra miljoner människor i framför allt Afrikas storstäder använder träkol som främsta energikälla.” (Egnéus & Helmersson u.å.)

Vid kontakt med medlemmar i Svenska lerbyggnadsföreningen framgick det att deras före detta ordförande, Michael Bergman, hade testat att blanda träkol och lera vid en kurs i lerhusbygge på ekoenheten Änggärdet, utanför Flen. De hade testat att fylla blandningen i en regelstomme, med lyckat resultat.

I flera artiklar från Ithaka – Journal står det skrivet om träkol i form av biokol som byggnadsmaterial. I samma artikel omnämns att vissa japanska byggföretag inte bränner sitt spillvirke, utan förkolnar det istället. Träkolen används sedan bland annat i byggnader för att sänka den annars höga luftfuktigheten inomhus. I en annan artikel behandlas ett tyskt företag, Casadobe, som blandar biokol och lera som sedan sprutappliceras som en puts på väggar (Schmidt 2013).

## 1.8 Miljöpåverkan

I den svenska litteraturen är det många av författarna som behandlar lera som ett ekologisk och miljömässigt hållbart byggnadsmaterial. Det råder dock delade meningar om begreppens betydelse, syftet med detta arbete är inte att redogöra för vad som är ekologiskt-, miljöanpassat - eller hållbart byggande. Det finns dock aspekter inom byggnadsbranschens utveckling kopplat till energiåtgång som är värda att belysa och som kan kopplas till lera som byggnadsmaterial. I *Ekologiskt byggande – Föreställningar och fakta* kan man läsa att ”Det är bättre att använda råvaror som ger ett lägre energibehov under bruksskedet än att ta speciell hänsyn till transportenergin!” (Adalberth 1998, s. 33). Hon hävdar att energiåtgången vid transporter endast motsvarar en bråkdel av den totala energiåtgången under byggnadens bruksskede och omnämner inte energiåtgång för materialframställning. Detta påstående var aktuellt år 1998, men byggbranschen har förändrats sedan dess. IVL Svenska Miljöinstitutet gav i år 2015 ut en rapport, *Byggandets klimatpåverkan*, där de skriver:

Historiskt sett har den största andelen av en byggnads klimatpåverkan uppstått vid driften av byggnaden, från den energi som då används. Allt eftersom husen blivit mer energisnåla och mer förnybara energikällor används under driften håller detta dock på att ändras, så att klimatpåverkan förskjuts från driftskedet till byggprocessen. För ett modernt [*sic!*] visar vår studie att energieffektivt betonghus i nivå med passivhuskraven är klimatpåverkan för att bygga och underhålla huset i samma storleksordning som klimatpåverkan från driftens energianvändning i 50 år. (Liljenström et al. 2015)

Om man ser till Boverkets byggregler (BBR) finns det bestämda krav på hur stor den specifika energianvändningen får vara under byggnadens driftskede. Det saknas dock energikrav rörande byggnationen av byggnader (Liljenström et al. 2015). Det finns även krav på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U -värde) för byggnadsdelar. Hänsyn tas då inte till vad byggnadsdelen har för värmelagrande förmåga, som i sin tur bidrar till en jämnare inomhustemperatur, sett över dygnet. Massiva tjocka lerväggar har bra värmelagrande förmåga men inte lika bra isolerande förmåga och överensstämmer därför dåligt med kraven i BBR.

I början av examensarbetet rådde osäkerhet kring huruvida träkol innehåller skadliga halter av tungmetaller eller ej och därför anses olämpligt att använda som ingående komponent i byggnadsmaterial. Kontakt togs därför med Lars Hylander som är agronom, lantmästare och docent i miljöanalys vid SLU. Enligt Hylander finns det mycket små halter av tungmetaller bundet i träden, något mer i barrträd som har vuxit på mager jord med lågt pH än i lövträd. På samma sätt är tungmetallerna bundna i träkolet och det är först när träkolet förbränns till aska som tungmetallerna övergår till icke bundna. Vid pyrolys av trä är kvicksilver den enda tungmetallen som avges, då det kokar vid cirka 357 °C, dock i så pass små halter att det inte är hälsoskadligt. Träkol kan även fungera som kolsänka om det sprids ut på exempelvis en åker som är närliggande skogen där virket till träkolen togs ifrån, eftersom man då sluter kretsloppet när byggnaden skall rivas.



## 2. Laborationsförsök

Frågeställningarna i arbetet besvarades genom att laborationsförsök gjordes med olika blandningsförhållanden, för att klarlägga vad som var avgörande i blandningsförfarandet när konstruktionsmässigt hållbar träkolslera skulle framställas. För att ta reda på i vilken utsträckning materialet var värmeisolerande tillverkades en isoleringslåda som gav en uppskattning av lambdavärdet för träkol. Materialvikten för en av blandningarna kunde även jämföras med en existerande tabell och därmed ge ännu en indikation på materialets värmekonduktivitet. Den tredje och sista frågan är kopplad till miljö och på grund av att fysiska experiment inte kunde genomföras inom tidsramen för arbetet, diskuterades detta istället ur ett teoretiskt perspektiv.

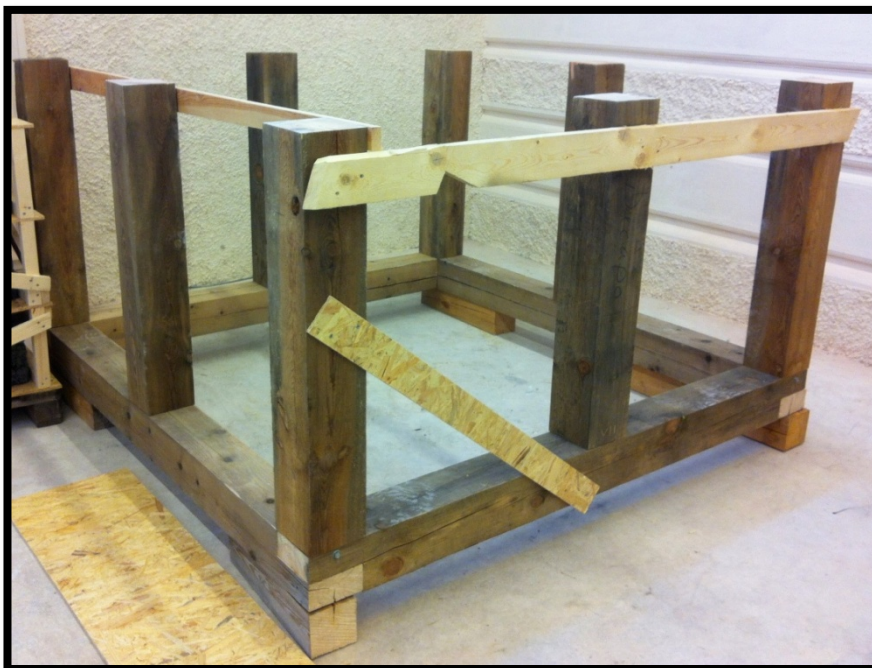
### 2.1 Förberedande

Där inget annat anges är fotografier och illustrationer tagna/gjorda av författaren.

#### 2.1.1 Stolpverksstomme

Eftersom materialet skall användas i någon typ av bärande stomme tillverkades en stolpverkskonstruktion som materialet kunde muras och fyllas upp i. En regelstomme hade förmodligen fungerat lika bra men eftersom stolpverk är en byggnadsteknik som lärs ut på Bygghantverksprogrammet kändes denna mer motiverad. Historiskt sett har även lerstenar murats upp i korsvirkeshus som är en typ av stolpverkskonstruktion.

Till konstruktionen användes lufttorkat 6 x 6" virke i gran och fur. Måtten mellan stolparna bildar "facken" och detta avgör vilket mått lerblocken behöver ha. Konstruktionen har fyra hörnstolpar och fyra mittstolpar, vilket totalt ger åtta fack för murning och direktfyllning. På grund av att osäkerhet rådde kring hur många olika materialblandningar som skulle framställas, samt för att materialåtgången inte var klarlagd, tillverkades åtta fack. Om det skulle visa sig att många olika blandningar behövde framställas för att uppnå ett eftersträvat resultat, skulle det finnas plats för att mura och fylla de olika materialblandningarna i stommen och därmed klargöra skillnader i handhavandet av de olika materialen.



Figur 1. Stolpverksstomme med strävning.

### ***2.1.2 Arbetsplats och utrustning***

Arbetets praktiska delar ägde rum i flera av institutionens lokaler i Mariestad. Stolpverksstommen tillverkades på bygggården vid Johannesberg, formen för blocken och den fasta formen för direktfyllningen samt torkställningen tillverkades i skolans snickeri. I blandarrummet på Murgården kunde själva blandningsförfarandet utföras. Där fanns tillgång till sand, lergranulat, vatten, planblandare, skottkärror, mäthinkar, våg, och skyfflar som behövdes för undersökningen. 37 säckar (å 2,5 kg) träkol införskaffades och en friskluftsmask hyrdes för att klara den dammiga miljön som uppstod vid hanteringen av träkolen. Den färdiga blandningen kunde enkelt tömmas ut i skottkärra och hjulas in till mursal tre där direktfyllning och blocktillverkning skedde.

### **2.2 Inledning till blandningsprocess**

Träkolen som införskaffades levererades i 2,5 kg säckar med varierande storlek på träkolen. För att träkolen skulle kunna användas som komponent i blandningen behövde den sönderdelas till en mindre fraktion. Träkolen ströddes ut på en skiva som var klädd med en regelram. En slägga användes till en början för att sönderdela träkolen, men slaggans tyngd och anläggningsyta gjorde att träkolen pulveriserades. För att få mindre bitar men inte lika mycket träkolspulver användes istället en skyffel för att hacka sönder bitarna till en fraktion omkring 10 - 40 mm. Eftersom träkolen dammar väldigt mycket användes en friskluftsmask och sönderdelningen skedde utomhus. Friskluftsmasken bör även användas vid uppmätning och blandning av träkolen.



Figur 2. Sönderdelning av träkolen till mindre fraktion.

Totalt gjordes tio blandningar med olika förhållanden av lergranulat, träkol, vatten och sand för att komma fram till olika ytterligheter. Laborationen med olika blandningar påbörjades den 2 april och avslutades den 14 april 2015. De fem första blandningarna framställdes genom att lergranulat (0 – 2 mm), sand (0 – 4 mm grovsand) och vatten, eller bara lergranulat och vatten, blandades samman innan träkol tillsattes. Detta i samband med att en för liten blandning kördes i planblandaren, resulterade i att en stor klump bildades. När träkolen tillsattes knuffades de bara runt av klumpen i planblandaren. För att undgå detta blandades nr. 6 – 10 genom att torrsbstanserna tillsattes först i planblandaren och när de hade blivit jämnt fördelade tillsattes vattnet. Detta medförde att komponenterna blev bättre blandade, men problemet kvarstod med att en klump bildades. När blandning nr. 10 skulle framställas fylldes därför hela planblandaren och detta gjorde att blandningen tumlades runt bättre och fördelades jämnt.

### 2.3 Blandningsförfarandet

När laborationen utfördes uppmättes de olika komponenterna i antal liter, men för att få en överskådligare bild skrivs andelarna ut i förhållande till lergranulat.

<i>Nr</i>	<i>Lergranulat</i>	<i>Träkol</i>	<i>Sand</i>	<i>Vatten</i>	<i>Nr</i>	<i>Lergranulat</i>	<i>Träkol</i>	<i>Sand</i>	<i>Vatten</i>
1	1 (14%)	3,14 (43%)	2,57 (35%)	0,57 (8%)	7	1	1,3	0	0,53
2	1 (16%)	2 (33%)	2,6 (43%)	0,48 (8%)	6	1	1,7	0	0,4
3	1 (13%)	2,75 (36%)	3,2 (43%)	0,62 (8%)	8	1	2	0,33	0,47
4	1 (19%)	4 (75%)	0 (0%)	0,35 (6%)	2	1	2	2,6	0,48
5	1 (18%)	3 (54%)	1 (18%)	0,55 (10%)	9	1	2,7	0,47	0,4
6	1 (32%)	1,7 (55%)	0 (0%)	0,4 (13%)	3	1	2,75	3,2	0,62
7	1 (35%)	1,3 (46%)	0 (0%)	0,53 (19%)	10	1	3	0	0,55
8	1 (26%)	2 (53%)	0,33 (9%)	0,47 (12%)	5	1	3	1	0,55
9	1 (22%)	2,7 (59%)	0,47 (10%)	0,4 (9%)	1	1	3,14	2,57	0,57
10	1 (22%)	3 (66%)	0 (0%)	0,55 (12%)	4	1	4	0	0,35

Tabell 1. Den vänstra tabellen visar blandningarna i nummerordning samt hur många % av de olika komponenterna blandningen innehåller. Den högra visar andelen lergranulat i förhållande till träkol i stigande ordning.

**1:**

Första blandningen (nr. 1) var ett försök för att se hur det fungerade att blanda samman de olika komponenterna och gjordes därför ganska liten. Komponenterna blandades i en 65 liters spann med en eldriven bormaskin försedd med blandare. Blandningen slogs sedan i formen och komprimerades med händerna. Anledningen till att detta moment utfördes var för att se hur väl formen fungerade att arbeta med (montering och demontering), innan större blandningar framställdes.

**2:**

Eftersom komponenterna fungerade bra att blanda samman och formen fungerade väl både under montering och demontering gjordes en större blandning i 165 liters planblandare. Blandning nr. 2 tillverkades med ungefär lika mycket sand, men med färre delar träkol och vatten än blandning nr. 1. Här upptäcktes problemet med att blandningen klumpar sig i planblandaren.

**3:**

I blandning nr. 3 tillsattes mer sand och vatten men mindre träkol än i blandning nr. 1. På grund av att formen var så smal och hög till sin utformning var det svårt att få blandningarna till att fylla ut hålrum och bli tillräckligt packade endast genom att slå blandningarna i formen. En enkel handstamp tillverkades därför så att blandningarna istället kunde komprimeras i formen. Några centimeter fylldes upp i taget och komprimerades till ungefär halva höjden med stampen.

**4:**

Blandningarna 1, 2 och 3 var alla ganska tunga på grund av det höga sandinnehållet och därför gjordes blandning nr. 4 som endast innehöll lergranulat, vatten och träkol. Eftersom lergranulat och vatten blandades först blev blandningen väldigt kletig. Här verkar det som att sanden har en rivande effekt i planblandaren så att leran inte kletar fast, samtidigt som den gör leran magrare. Då ingen sand användes i blandningen, tillsattes istället träkol och mer vatten för att lösa problemet. Det hjälpte dock inte och blandningen fick därför blandas för hand vilket var väldigt tidskrävande. Resultatet blev dock ett väldigt lätt material. Blandningen blev lite väl kletig, fastnade i formen och gjorde den svår att demontera. Fastnade även på stampen vilket gjorde att lersjok följde med stampen istället för att komprimeras.

**5:**

Den 5:e blandningen framställdes på samma sätt som tidigare, men till skillnad från den 4:e blandningen minskades andelen träkol och en del sand tillsattes. Detta var ett försök för att klargöra om blandningen skulle fastna mindre i formen om leran magrades lite, utan att bli alldeles för tung som tidigare blandningar. Samma problem som tidigare uppstod och därför fick blandningen återigen sönderdelas för hand. Lite mer vatten (0,2 delar) tillsattes och planblandaren fick gå cirka två minuter till. Blandningen fungerade bra att slå och komprimera i formen (som var lätt att demontera) med det visade sig att den sista delen av blandningen innehöll väldigt mycket träkol och höll därför inte riktigt ihop.

**6:**

För att undgå tidigare problem med att lergranulat, sand och vatten eller bara lergranulat och vatten bildar en klump innan träkolen tillsätts, blandades i nr. 6, lergranulat och träkol samman som torrsubstanser. När detta hade blandats runt i planblandaren tillsattes vatten, med bara någon liter i taget. Blandningen blev näst intill klumpfri, jämnfördelad och ganska kletig. När blandningen skulle slås i formen var den lite väl stel och kletig. Den fyllde därför inte ut formen tillräckligt bra och var svår att komprimera. Även denna blandning fastnade i formen.

**7:**

Blandningsförfarandet för nr. 7 utfördes på samma sätt som nr. 6, men andelen träkol minskades och andelen vatten ökades för att se om blandningen kunde bli lite mindre stel och därmed lättare att slå i formen. Formen blötlades innan blandningen slogs i för att se om blandningen skulle fastna mindre, men det var ojämnt arbete då vattnet rann av från formplywooden och ner på OSB-skivan. Blandningen fyllde ut formen relativt väl, behövde inte komprimeras utan kunde packas med händerna. Det var dock svårt att demontera formen eftersom blandningen hade blivit lite för kletig.

**8 och 9:**

I blandningarna nr. 8 och 9 ökades andelen träkol jämfört med nr. 6 och 7. Till skillnad från de förra blandningarna (nr. 2, 3 och 5) tillsattes nu bara en liten del sand för att blandningen inte skulle bli för tung. Torrmassorna tillsattes först och sedan vatten. Båda blandningarna fungerade bra att slå i formen. De var inte för kletiga vilket gjorde att formen lossnade lätt, dock behövdes blandningarna komprimeras lite. Blandning nr. 8 blev inte tillräckligt sammanhållande, då delar av blocken föll av när formen togs bort. Blandning nr. 9 höll ihop bättre än nr. 8, men inte optimalt. Förmodligen berodde detta på att blandningarna innehöll sand, samtidigt som andelen träkol var relativt stor.

**10:**

När den tionde blandningen skulle framställas blandades först 15 l lergranulat med 60 l träkol och därefter tillsattes 9 l vatten (1: 4: 0,6), men denna blandningen behövde mer lera för att hålla ihop. Därför blandades 5 l lergranulat med 2 l vatten som sedan tillsattes i blandaren. Detta fick mer eller mindre blandas för hand då blandningen inte tumlades runt i planblandaren, trots att totalt 20 liter lergranulat blandats med 60 liter träkol och 11 liter vatten. Blandningen fungerade väldigt bra att slå och komprimera i formen. Förhållandena i denna blandning valdes utifrån arbetets syfte att vara optimala för den här typen av isolerlera.

Eftersom den tionde blandningen bestämdes vara den som skulle representera träkolsera i undersökningen, blandades en riktigt stor sats för att se om problemen med att planblandaren inte tumlade runt blandningen skulle upphöra. 90 liter träkol lades först i blandaren och 30 liter lergranulat ströddes över. Detta torrblandades innan 16,5 liter vatten hälldes på. Blandningen blev väldigt jämnt fördelad dels för att lergranulatet

hålldes på tråkolen och hamnade därför inte på botten av blandaren men framför allt för att maskinen blev helt fylld så blandningen tumlades runt hela tiden.



Figur 3. Planblandaren är fylld och blandningen tumlas runt på ett fördelaktigt sätt.

## 2.4 Lerblocksform

Med tanke på att lerblocken skulle muras upp inuti facken på stolpverkskonstruktionen behövde flera parametrar tas i beaktning för att blocken skulle passa och därmed underlätta uppmurningen. Materialet antogs krympa cirka fem procent vid torkning och formen dimensionerades därför med avseende på denna krympmån, så att lerblocken efter torkning skulle förhålla sig till stommens mått. Därefter bestämdes att två block och därmed tre fogar skulle passa in i längdriktning mellan stolparna. Blocken murades med förband för att inte få en genomgående skarv. Detta medförde att det andra skiftet bestod av två halva och ett helt block med totalt fyra fogar. Måtten på de hela blocken bestämdes därför till 200x152x370 mm. De halva blocken hade samma höjd och bredd som de hela, men längden var 177,5 mm. Fogarnas bredd beräknades till 15 mm.

Formen tillverkades med inspiration från boken *Lera + halm* (Högström 1993, s. 14), i kombination med egna tankar och samtal med handledare. Formen utformades så att två hela och ett halvt block kunde slås på samma gång och därmed öka rationaliteten i framställningsprocessen. För att enkelt kunna montera och demontera formen utformades den på följande vis;

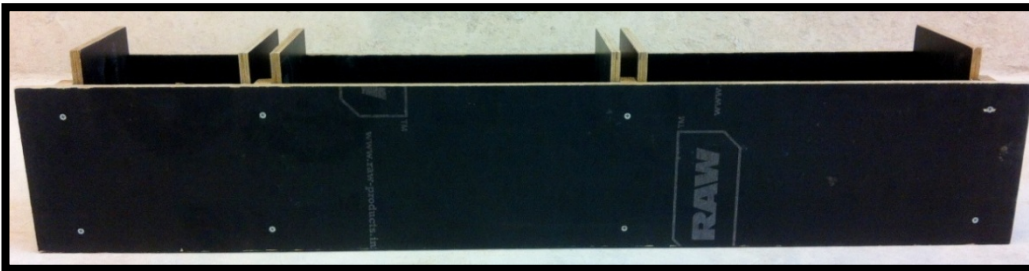




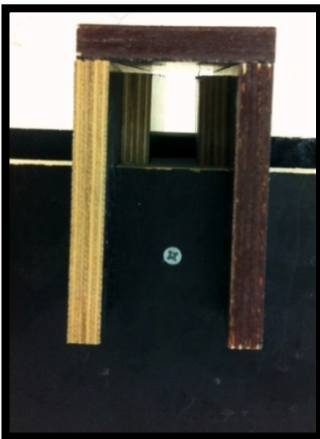
Figur 4. Långsidorna försågs med lister som kortsidorna kunde vila mot.



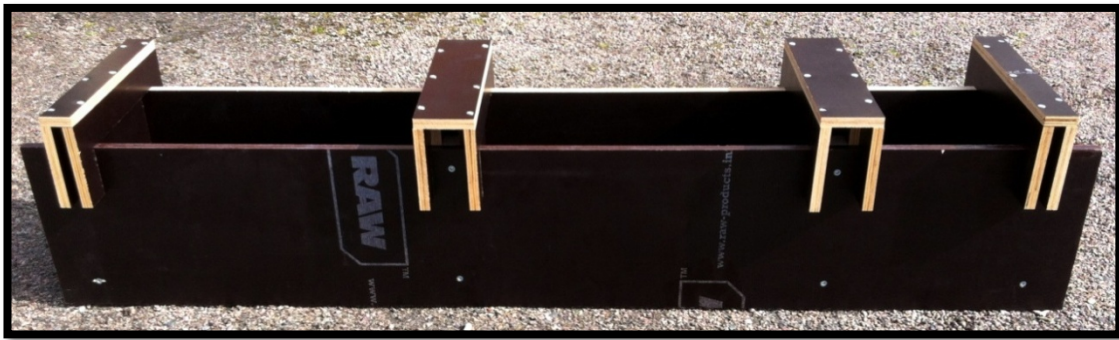
Figur 5. Kortsidorna placerades mellan långsidorna och vilade mot listerna.



Figur 6. Föregående figur från annan vinkel.



Figur 7. Bilderna visar bygel som låser formens långsidor och kortsidor i ovankant.



Figur 8. Färdigmonterad form. När den monterats mellan reglarna på OSB-skivan låser dessa formen i underkant. När blandningen sedan slås i formen gör trycket av blandningens tyngd att kortsidorna pressas från varandra, mot listerna. Facken blir därmed vinkelräta i formen.

Följande beräkningar användes för att ta reda på halva blockets storlek samt bestämma formens storlek med hänsyn till krympning:

**Halvt block:**

$$\begin{aligned} \text{Byggmått} &= \text{Helt block} + \text{fog} \\ \frac{1}{2} \text{ block} &= (\text{Byggmått}/2) - \text{fog} \rightarrow \\ &\rightarrow (385 \text{ mm}/2) - 15 \text{ mm} = 177,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

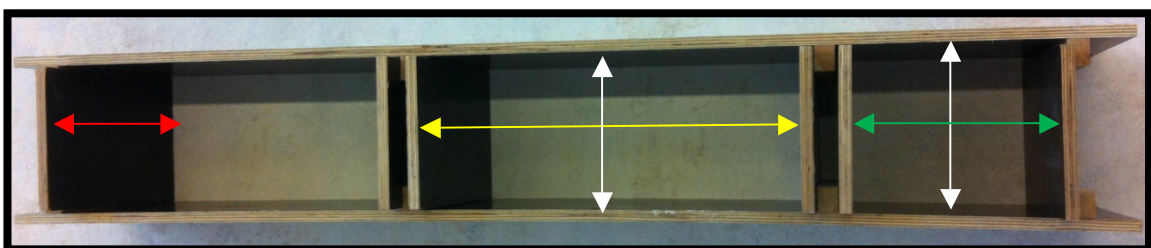
**Krympmån:**

$$\begin{aligned} 5\% \text{ krympning ger ekvationen:} \\ X * 0,95 &= \text{Blockets färdigmått} \rightarrow \\ \rightarrow X &= \text{Blockets färdigmått}/0,95 \end{aligned}$$

	<i>Blockets färdigmått [mm]/0,95</i>	<i>X [mm]</i>
Längd	370/0,95	389
½ Längd	177,5/0,95	187
Höjd	200/0,95	210
Bredd	152,4/0,95	160

Tabell 2. Tabellen visar uträkning för formens mått X

Facken i formen gjordes därför 210x160x389 mm för de hela blocken och 210x160x187 mm för de halva (se fig. 9).



Figur 9. Bild på formen ovanifrån. Den gula pilen visar det hela blockets längd (389 mm). Den gröna pilen visar det halva blockets längd (187 mm). Röd pil avser blockens höjd (210 mm) och de vita pilarna visar blockens bredd (160 mm).



## 2.5 Torkställning

På grund av att blocken blev relativt tunga och ömtåliga innan de hade torkat byggdes en torkställning upp runt blocken som slogs, för att de inte skulle behöva rubbas. Sju stycken OSB-skivor försågs med liggande regler i dimensionen 2x2". OSB-skivorna i sin tur skruvades fast i en träpall (se fig. 10). På mitten av de liggande reglarna monterades fyra stycken stolpar i samma dimension för att stötta upp nästa vånings OSB-skiva. Formen ställdes sedan mellan de liggande reglarna, dessa låste formen i underkant.

Blandningen slogs och packades tills formen var full, då den demonterades och flyttades till nästa tomma rad. Sex hela block och tre halva block slogs per OSB-skiva och varje block märktes med ett nummer för att veta vilket som var vilket. Därefter skruvades ytterligare fyra stycken regelstolpar fast i de liggande reglarna, en i varje hörn. På dessa stolpar kunde sedan nästa regelförsedda OSB-skiva monteras och arbetet fortlöpte på samma vis som tidigare beskrivet. Eftersom examensarbetet är riktat åt självbyggare, har framställningsprocessen försökt göras så rationell som möjligt för denna målgrupp.



Figur 10. 2x2" regler fastskruvade i OSB-skiva.



Figur 11. Blocken slås och formen flyttas.



Figur 12. I detta fall fylldes inte hela skivan, då blandningen inte räckte till.



Figur 13. Hörnstolpar och nästa våning monterad med strävning.

## 2.6 Materialkontroll

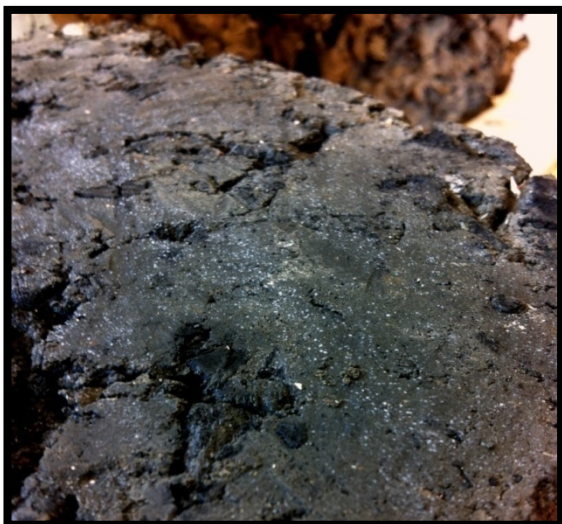
### 2.6.1 Torkning

Att alla block inte slogs vid samma tillfälle och hade olika innehåll, ledde till att de hade torkat olika mycket. Efter 23 dygn vändes alla block så att de skulle ha möjlighet att torka på alla sidor. En ny regelförsedd OSB-skiva skruvades fast på en tom träpall. Blandning nr. 10 som låg högst upp på torkställningen lyftes över till den tomma pallan. För att alla block skulle ha chans till att torka lika mycket placerades de block som tidigare legat i mitten av torkställningen på någon av de yttre raderna. En av de två raderna som tidigare legat ytterst placerades i mitten medan den andra fortsatt fick ligga ytterst. Alla block vändes så att den sida som tidigare legat ner mot OSB-skivan hamnade uppåt. När den första skivan var full monterades nya regelstolpar och en ny OSB-skiva, torkställningen byggdes upp på samma vis som tidigare beskrivet.



Figur 14. Blocken flyttas och omplaceras, från den högra torkställningen till den vänstra tomma pallan.

Under omplaceringen av blocken påträffades mikrobiell påväxt i form av vita små mögelfläckar (se fig. 15). Dessa fanns framförallt på blocken som hade legat längst tid på torkning (blandning nr. 1-7) och endast på den sida av blocken som legat ner mot OSB-skivan. Vilket kan förklaras med att det var OSB-skivan som hade blivit angripen av påväxten då de fuktiga blocken legat mot denna. De mest kompakta blocken från blandning nr. 1, 2 och 3 hade större kontaktyta med OSB-skivan än de lättare blandningarna som innehöll större andel träkol (se bilaga 1) och mindre, eller ingen, andel sand. De kompakta blocken hade även legat längst tid på torkställningen vilket innebar att dessa hade större andel påväxt.



Figur 15. Mikrobiell påväxt på ett av blocken i form av vita fläckar.

### 2.6.2 Vägning

När blocken hade torkat ytterligare nio dygn ansågs de vara genomtorra och plockades därför av från torkställningen för att vägas. Anledningen till att de vägdes var dels för att kunna jämföra de olika blandningarnas vikt men även för att kunna räkna fram densiteten ( $\text{kg/m}^3$ ) för de olika blandningarna (se 3.1 Materialåtgång). Blocken vägdes var för sig i en spann, som hängde i en våg och vikten för varje block dokumenterades i en tabell (se fig. 16). Uträkningen för murstegen ger att de halva blocken blir något kortare än om de hela blocken skulle dividerats med två ( $370 \text{ mm}/2 = 185 \text{ mm}$ ). De halva blocken vägde därför inte hälften så mycket som de hela.



Figur 16. Blocken vägdes i en spann.

<i>Nr</i>	<i>Vikt i kg</i>	<i>Torrsprickor</i>
1	17,2	Nej
2	19	Nej
½ 2	9,8	Nej
3	20,5	Nej
½ 3	10	Nej
4	9,8	Nej
½ 4	5,1	Nej
5	15,3	Nej
½ 5	6,6	Nej
6	12,5	Ja
7	13	Ja
8	12,6	Ja
½ 8	5,5	Ja
9	11,1	Nej
½ 9	5	Nej
10	9,3	Nej
½ 10	4,1	Nej

Tabell 3. ½ i numreringen avser halvt block.



### 2.6.3 Mätning och krympning

Efter det att blocken hade vägts, mättes de för att kunna klargöra hur mycket de hade krympt. Blocken avsågs krympa cirka fem procent, vilket motsvarar 10 mm på höjden, 8 mm på bredden och 19 mm på längden för de hela blocken. Det visade sig vara svårt att mäta exakta mått på blocken eftersom de inte hade några skarpa hörn att mäta mot. På grund av att spannet för krympningen var förhållandevis litet gav också en liten felmätning stort utslag i procent och mätresultaten blev därför inte tillförlitliga. För att få en vidare uppfattning mättes därför höjd, bredd och längd och sedan räknades varje blocks totala krympning ut. Alla resultat för den totala krympningen adderades och därefter dividerades med antalet block. På så vis kunde en genomsnittlig krympning räknas ut till cirka 1,5 % för ett genomsnittsblock där intervallet låg mellan 0,9 % och 2,7 % beroende på sammansättningen av blandningen. Måtten för ett helt genomsnittsblock blev därför 207,5 x 156,5 x 385 mm. Vad gäller torrspäckor i blocken förkom det endast på de block som kom från blandningarna nr. 6 och 7. Orsaken till detta grundar sig i att mängden lera i förhållande till träkol var för stor i samband med att sand inte användes i blandningarna för att magra leran.

## 2.7 Applicering i stolpverksstomme

### 2.7.1 Direktfyllning

Eftersom stolparna inte ansluter till något hammarband i ovankant, som säkerställer att facken är vinkelräta, fick detta kontrolleras och strävas upp provisoriskt (se fig. 1) framförallt för att underlätta den senare uppmurningen. För att kunna fylla materialet direkt i stommen tillverkades två stycken formar av OSB. Två stycken glespanel per skiva, med måtten 28 x 70 mm, skruvades fast från formens tänkta insida för att göra OSB-skivan styv. Formarna skruvades sedan fast i stolparna, en på var sida.



Figur 17. Montering av formar inför direktfyllning.

Blandningen som användes till direktfyllningen var nr. 10 och innehöll 30 liter lergranulat, 90 liter träkol och 16,5 liter vatten. Ingen bärande anordning för materialet monterades mellan stolparna då det fylls direkt i stommen istället för att exempelvis klinas på ett flätverk, som i korsvirkeskonstruktioner. Eftersom materialet bara skulle fylla en isolerande funktion i stommen monterades inte heller några lister<sup>4</sup> eller liknande, som förankrar materialet till stommen. Att utföra själva fyllningen var ett väldigt effektivt moment. Lerblandningen togs från skottkärror och släpptes ner i formen, jämnades ut och trycktes till med händerna till ett ca 100 mm tjockt lager i formen. Sedan komprimerades blandningen några centimeter med stampen eftersom den inte fyllde ut formen av sig själv. Detta pågick tills formen var full och behövde flyttas uppåt. Eftersom lera inte behöver härda på samma sätt som betong, kan formen flyttas på en gång vilket påskyndar fyllnadsprocessen. Det tog cirka 30 minuter att fylla upp facket som var 155 x 790 x 750 mm, då är inte flytt av formen inräknat.



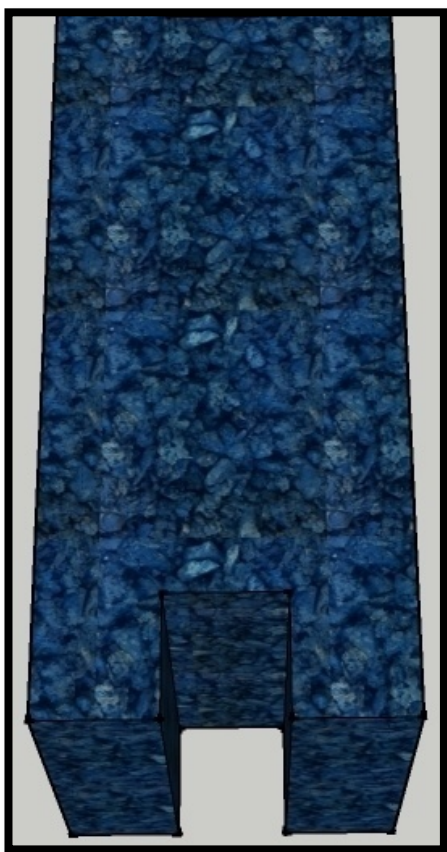
Figur 18. Materialet (92 liter) i stommen efter direktfyllningen.

---

<sup>4</sup> Lister i formen gör att blocken som slås i formen får ett notspår. En likadan list monteras sedan i stommen och fungerar som en fjäder, för att hålla blocken på plats.

### 2.7.2 Blockmurning

Stolparna justerades före direktfyllningen påbörjades, därför behövde detta moment inte upprepas. För att tyngdpunkten skulle hamna så långt ner som möjligt i konstruktionen påbörjades murningen med de tyngsta blocken längst ner, därefter valdes de lättare blocken (se 2.6.2 Vägning). Eftersom blocken inte hade krympt lika mycket som beräknat uppstod här ett problem. Blocken var för långa gentemot vad de skulle ha varit och därför uteslöts vissa fogar mellan blocken. Inga lister användes i formen och därmed fick blocken inte något notspår. Anledningen till att det momentet utelämnades var dels för att undersöka möjliga konsekvenser gällande själva uppmurningen, men även för att blocken då skulle få svaga punkter i hörnen (se fig. 19). När fogarna hade torkat kunde konstaterande göras att blocken stod tillräckligt stabilt för att uppfylla sin funktion som fyllnadsmaterial. I fogarna mellan blocken och stolparna hade dock en liten torrspicka uppkommit (se fig. 20). För att undgå luft rörelser genom denna springa skulle en not och spont minska eventuella luft rörelser. Andra lösningar hade varit att lerklina väggar- na eller montera en vindduk på stommens utsida.



Figur 19. Om blocken skulle tillverkats med notspår hade hörnen blivit svaga punkter.



Figur 20. Sprickbildning i fog mellan block och stolpe.

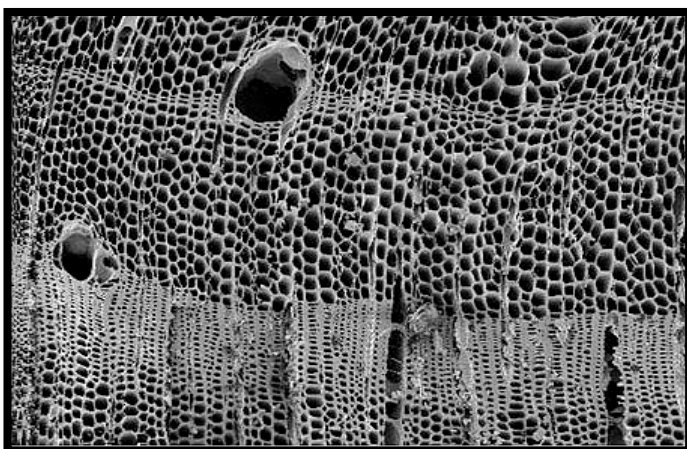




Figur 21. Tre fack är uppmurade och ett är direktfyllt.

## 2.8 Isoleringsvärde

I *Byggekologi: Kunskaper för ett hållbart byggande* (Bokalders & Block 2014) presenterar författarna lambdavärden för material som liknar träkol, exempelvis masugnsslagg, koksslagg och koksaska. Masugnsslagg har lambdavärde 0,10 – 0,08 W/mK medan koksslagg och koksaska har  $\lambda = 0,20$  W/mK. På grund av att lambdavärdet för träkol inte är känt, görs istället uträkningar och experiment så att ett hypotetiskt resonemang kan föras kring materialets värmekonduktivitet. En av grundtankarna till att använda träkol i undersökningen var på grund av porstrukturen som håller mycket luft (se fig. 22). Stillastående luft i porerna som kapslas in av förslutande lera skulle kunna ge materialet isolerande egenskaper.



Figur 22. Elektronmikroskopisk bild av träkol bestående av många små luftfyllda hålrum. Foto: Lars Hylander (Bioenergiportalen)

### 2.8.1 Isoleringslåda

Då lambdavärdet för träkol inte är känt, gjordes ett experiment där träkol jämfördes med andra material med kända lambdavärden. En kvadratisk låda tillverkades av wellpapp med sidorna 200 x 200 mm och runt om lådan gjordes en 20 mm bred spalt. Sidorna märktes med ett centrumkryss och en siffra så att mätpunkten skulle bli densamma för varje mätning. De fyra spalterna försågs sedan med olika material. I den första placerades mineralull (Isover), i den andra träkol, den tredje kutterspån och den fjärde lättklinkerkulor (Leca 2 – 6 mm). Lådan ställdes på en cellplastskena (Frigolit) och inuti lådan lades en plastpåse med is. Som lock användes också cellplast och en vikt placerades på skivan för att försluta lådan. Var femte minut mättes och antecknades sedan ytemperaturerna på lådans fyra sidor med en IR termometer. Mätningen pågick under 65 minuter.



Figur 23. (Sett från vänster och sedan moturs) Mineralull, träkol, kutterspån och lättklinkerkulor.



Figur 24. Plastpåse med is inuti lådan.

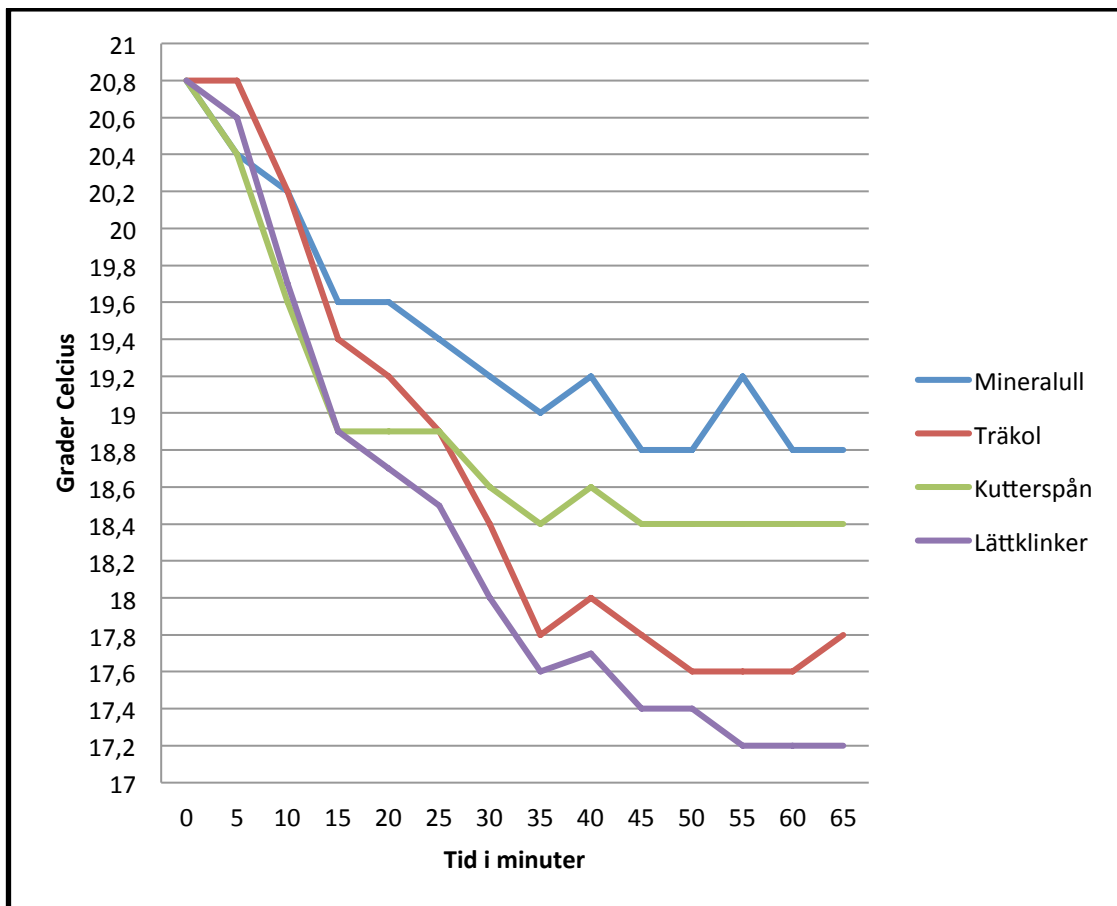


Figur 25. Cellplastskena som botten och lock samt vikt för att försluta lådan.



Figur 26. Mätning av ytemperatur. Notera laserpricken på lådans centrumkryss där temperaturen mäts.





Figur 27. De olika yttemperaturerna som avlästes. För mer detaljerat diagram, se bilaga 2.

Figur 27 visar att väggarna som var isolerade med mineralull och kutterspån hade de högsta temperaturerna, vilket betyder att dessa två material hade lägst lambdavärden. Väggarna som var isolerade med träkol hade lite lägre temperatur än mineralull och kutterspån, men högre än lättklinker. Experimentet anses inte vara vetenskapligt utan ger snarare en indikation på hur träkol förhåller sig till andra material när det kommer till värmekonduktivitet. Resultatet av experimentet visar att träkol har något bättre isoleringsvärde än lättklinker. Detta resultat är dock inte synonymt med att lera blandat med träkol har bättre isoleringsförmåga än träflisler eller Lecalera.

De tre materialens sluttemperaturer jämfördes med deras lambdavärden. På så sätt kunde ett förhållande räknas fram mellan sluttemperatur och lambdavärde. Detta förhållande användes för att komma fram till ett lambdavärde för träkol. Eftersom materialens värden är angivna i intervaller, har genomsnittsvärden för de olika materialen använts när lambdavärdet för träkol räknades ut.

Mineralull:  $\lambda = 0,033 - 0,040 \text{ W/mK}$

Träkol:  $\lambda = 0,101 \text{ W/mK}$

Kutterspån:  $\lambda = 0,045 - 0,08 \text{ W/mK}$

Lättklinker:  $\lambda = 0,09 - 0,15 \text{ W/mK}$

Tabell 4. Värdena (förutom träkol) är hämtade från *Byggekologi* (Bokalders & Block 2014).

## 2.8.2 Jämförelse med tabell

För att få en vidare inblick av materialets värmekonduktivitet har vikten per m<sup>3</sup> för blandning nr. 10 (se tab. 4) jämförts med existerande lambdavärden för lerhalm och träflislera. Värdena går att återfinna i en tabell som presenteras i *Gjort av jord: lerjord som byggmaterial i Sverige och länder med likartat klimat* (Lindberg 2003) i avhandlingens andra appendix. Både lerhalm och träflislera klassas som isolerlera och deras lambdavärden skulle kunna användas för att uppskatta ungefärligt lambdavärde för blandning nr. 10.

	Densitet	Värmekonduktivitet	Värmekapacitet		Värmekapacitet		Värmeinträngningstal
	$\sigma$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ W/mK	$c$ kJ/kgK		$S$ kJ/m <sup>3</sup> K		$b$ kJ/m <sup>2</sup> h K
			LH	TL	LH	TL	iM
Isolerlera	300	0,10	1,3	-	400	-	12
	400	0,12	1,2	-	500	-	14
	600	0,17	1,1	1,5	700	900	20
	800	0,25	1,1	1,4	900	1 100	28
	1 000	0,35	1,1	1,3	1 100	1 300	37
	1 200	0,47	1,0	1,2	1 200	1 500	45
Mackelerlera	1 400	0,59	1,0	1,1	1 400	1 500	54
	1 600	0,73	1,0		1 600		65
Stamplera	1 800	0,91	1,0		1 800		77
	2 000	1,13	1,0		2 000		90
Betong	2 400	2,10	1,0		2 400		135
Massivtegel	1 800	0,81	1,0		1 800		72
Håltegel	800	0,33	1,0		800		31
Lättbetong	600	0,19	1,0		600		24
Fur & gran	600	0,13	2,1		1 260		24
Mineralull	80	0,04	1,0		80		3

Tabell 5. Tabellen visar bland annat densitet och värmekonduktivitet för isolerlera. TL = Träflislera, LH = Lerhalm (Lindberg 2003, s. 30).

En kubikmeter av blandning nr. 10 beräknades väga 613 kg. Enligt tabell 5 ger densiteten 613 kg/m<sup>3</sup> lambdavärdet ( $\lambda$ ) 0,175 W/mK för isolerlera i form av träflislera och lerhalm. Med tanke på att lambdavärdet för träkol blev 0,101 W/mK enligt experimentet ovan, skulle 0,175 W/mK för träkol blandat med lera vara ett rimligt värde.

## 3. Resultatutvärdering av materialet

### 3.1 Materialåtgång

Det går inte att fastslå någon gemensam materialåtgång, på grund av att de tio blandningarna hade olika blandningsförhållanden. För att få en överskådlig bild av hur mycket material som går åt för att framställa en  $m^3$  av de olika blandningarna, gjordes följande uträkningar. Eftersom mätningen av blocken inte gav tillförlitliga svar (se 2.6.3 Mätning och krympning) räknades en genomsnittsvolym ut. Denna genomsnittsvolym användes sedan för att beräkna hur många block det åt gick per  $m^3$  och därefter kunde varje blandnings vikt per  $m^3$  räknas fram. Detta ger en anvisning på hur mycket av den ursprungliga volymen som återstår i en färdig vägg efter komprimering och uttorkning av blandningen. Sanden som användes i undersökningen antogs vara naturligt fuktig, sådan sand väger cirka  $1500 \text{ kg/m}^3$ . Vid en mätning av den använda sandens vikt per volymenhet erhöles resultatet  $1510 \text{ kg/m}^3$ , som alltså överensstämmer väl med vikten per volymenhet för naturfuktig sand. När man arbetar med sand i en bruksblandning måste hänsyn även tas till sandens förmåga att öka i volym när den mäts med vatten. Sand har en svällningskoefficient på 30% räknat från torr substans till mättad. Alltså ökar volymen på sanden i blandningen med närmare en tredjedel om den mäts med vatten.

Vikt per volymenhet räknades också ut för träkol och varierade mellan  $260 - 340 \text{ kg/m}^3$  beroende på vilken fraktion träkolen hade.  $260 \text{ kg/m}^3$  motsvarar då träkolsbitar i fraktionen 10 – 40 mm, medan  $340 \text{ kg/m}^3$  motsvarar träkol som var i princip pulveriserad. I *Encyklopedi över råvaror och material*, skriver författarna att vikten per kubikmeter för träkol varierar beroende på om det är stjälpmått<sup>5</sup> torra träkol som avses eller kolstybb. När det gällde stjälpmått varierade vikten mellan  $160 - 200 \text{ kg/m}^3$  medan kolstybb beräknades väga  $250 - 290 \text{ kg/m}^3$ . Senare angavs volymvikten för björkkol vara  $380 \text{ kg/m}^3$  (Tideström 1957, ss. 1619 - 1620). Författarna talar alltså om olika fraktioners innebörd för vikten per volymenhet. Eftersom vikten varierade mellan  $260 - 340 \text{ kg/m}^3$  för träkolen som användes i undersökningen bestämdes vikten till  $300 \text{ kg/m}^3$ . Materialvikterna i tabell 4 nedan avser block som både har komprimerats, torkats och därmed krympt. Fuktkvoten för de torra blocken uppskattades till tio procent. De ingående komponenternas vikt per volymenhet beräknades till;

Lergranulat ( $\text{kg/m}^3$ )	1530
Träkol ( $\text{kg/m}^3$ )	300

---

<sup>5</sup> Stjälpmått var den volymen träkol uppmättes i vid försäljning och kunde variera väldigt beroende på hur skrymmande träkolen var.

Nr	Kg/m <sup>3</sup>	Kg lergranulat/m <sup>3</sup>	Kg träkol/m <sup>3</sup>	Kg sand/m <sup>3</sup>	Kg vatten/m <sup>3</sup>
1	947	226	139	574	8
2	1081	271	106	695	9
3	1035	219	118	689	8,8
4	551	306	238	0	7
5	790	303	178	299	10
6	759	558	186	0	15
7	839	650	166	0	23
8	793	453	178	148	14
9	735	367	192	166	9,5
10	613	378	222	0	13

Tabell 6. Tabellen visar hur många kg av komponenterna som går åt för att framställa en m<sup>3</sup> av de olika blandningarna. Värdena baseras på grundvärden ur tabell 1 i 2.3 där 90% av det tillsatta vattnet från blandningsfasen förmodas avgetts till omgivande luft i form av vattenånga. Därav blir andelarna annorlunda fördelade och de redovisade resultaten ovan lika så.

Som en jämförelse skall nämnas att blandning nr. 10 som användes till direktfyllningen hade en volym om 136,5 liter. Blandningen komprimerades 32,6 procent med handstampen under processen, då den slutliga volymen blev 92 liter. Detta visar att en komprimeringsgrad måste tas med i beräkningen vid införskaffande av material.

### Attefallshuset

För att få en inblick av materialåtgången gjordes ett räkneexempel där väggvolymen för ett Attefallshus räknades ut. Anledningen till att denna typ av komplementbyggnad valdes var för att materialet avses vara lämpligt för självbyggeri i mindre skala. Husets mått bestämdes till 6800 x 3425 x 2500 mm och stommen antogs uppföras av 45 x 145 mm regler med 800 mm CC - avstånd. Totalt sett fick byggnaden 24 fack som materialet skulle kunna fyllas upp i, vilket motsvarar 45,3 m<sup>2</sup> väggyta. Avdrag gjordes sedan för en dörr (M 9 x 21) och fem fönster (M 6 x 8) och väggytan blev då 41 m<sup>2</sup>. 41 m<sup>2</sup> multiplicerades med reglarnas bredd (145 mm) och den totala volymen blev därav ungefär 6 m<sup>3</sup>.

En komprimeringsgrad på cirka 30 % bör tas med vid beräkningen av materialåtgången. De framräknade vikterna i tabell 4 motsvarar bara 70% av det material som kommer att åtgå. Om mängden 6 m<sup>3</sup> divideras med 0,7 eller 70% fås mängden 8,57 m<sup>3</sup>. Vid en komprimering av 8,57 m<sup>3</sup> minskar massan med 30% och den faktiska mängden blir 6 m<sup>3</sup>. Mängden material som åtgår är alltså 8,57 m<sup>3</sup>. Om blandning nr. 10 skulle använts som fyllning i stommen skulle materialåtgången för lergranulat och träkol bli;

Lergranulat (kg): 2268

Träkol (kg): 1332

Total vikt (kg): 3600

Tabell 7. Observera att komprimeringsgraden inte är inräknad i vikterna ovan

## 3.2 Blockens sammanhållning

Under momenten då blocken skulle vändas på torkställningen, vägas, mätas och muras upp i stommen visade det sig att sammanhållningen för de olika blandningarna skiljde sig åt markant. Vissa block höll ihop väldigt väl, medan andra föll isär enbart av att lyftas. Det är flera parametrar som avgör hur väl blandningarna håller ihop. Dels handlar det om förhållandet mellan de ingående komponenterna men även hur själva blandningsförfarandet utfördes (se 2.2 Inledning till blandningsprocess). Träkolens fraktion verkar också ha en inverkan på blockens sammanhållning. Leran är bindemedlet i blandningarna och träkolsbitarnas fraktion får därför inte vara för stor, eftersom leran inte har samma möjlighet att omsluta träkolen då.

### 1, 2 och 3:

De tre första blandningarna innehöll stor andel sand (mellan 35 – 43 procent) och blev därför väldigt kompakta och sammanhållande. Andelen trækol varierade mellan 33 – 43 procent och fraktionen var betydligt mindre än i senare blandningar (se Bilaga 1), detta var också en bidragande faktor till blandningarnas sammanhållning. Blandningarna frångår dock syftet med undersökningen eftersom de är så pass kompakta och tunga, vilket gör de har sämre värmeisolerande egenskaper.

### 4 och 10:

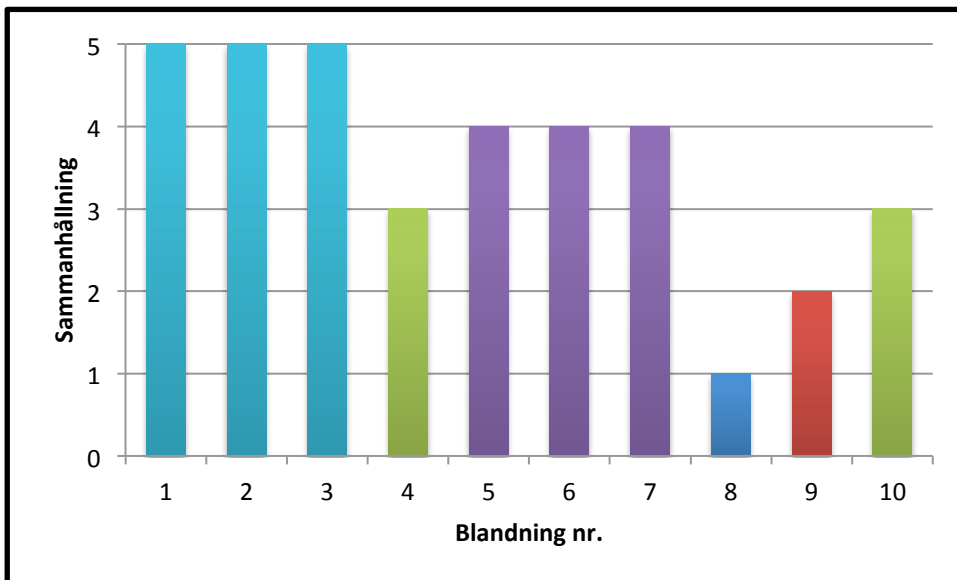
Blandning nr. 4 och 10 var de som hade störst procentuell andel trækol av alla blandningarna. Trots att andelen bindemedel var förhållandevis liten i de båda blandningarna, kunde de hanteras utan att större bitar föll av. Blandning nr. 4 höll ihop bra på grund av att fraktionen på trækolsbitarna var liten (10 – 30 mm), medan blandning nr. 10 fick sin sammanhållning på grund av att blandningsförfarandet var annorlunda (se 2.3 Blandningsförfarandet). Andelen trækol var också mindre i denna blandning än i den fjärde, vilket också innebär att det var större andel bindemedel i form av lera.

### 5, 6 och 7:

Den femte, sjätte och sjunde blandningen hade lika bra sammanhållning men av olika anledningar. Blandning nr. 5 skilde sig från den sjätte och sjunde eftersom den innehöll en del sand som armerade blandningen, medan det höga lerinnehållet var det som gjorde att nr. 6 och 7 höll ihop bra.

### 8 och 9:

Blandning nr. 8 och 9 innehöll 0,33 respektive 0,47 delar sand. Eftersom andelen sand var så pass liten hjälpte den inte till att armera blandningarna, utan tillförde bara vikt till blocken och gjorde blandningarna bräckliga. De två blandningarna var de som hade sämst sammanhållning och fungerade därför till blockmurning, eftersom de inte höll ihop tillräckligt väl vid handhavandet.



Figur 28. De olika blandningarnas sammanhållning på en skala mellan 1 – 5. 1 avser blandningar där stora delar av blocken föll av, medan 5 avser block som inte deformerades över huvud taget.

### 3.3 Inre och yttre miljö

Syftet med undersökningen var att framställa ett fyllnadsmaterial med värmeisolerande egenskaper. En målsättning var också att materialet skulle ha så liten negativ inverkan på miljön som möjligt. Denna del har alltså inte ingått i den praktiska undersökningen, men eftersom det framställda materialet har fördelaktiga egenskaper ur ett miljöperspektiv presenteras detta mer ingående.

I *Ekologiskt byggande: föreställningar och fakta* skriver Adalberth (1998) om yttre och inre miljö, när det kommer till hur byggnaden och dess funktion inverkar på naturen respektive brukarna. En tydlig koppling till detta återfinns i rapporten *Är jordbaserade byggmaterial utvecklingsbara inom byggindustrin?* (Lindberg 1998, s. 8) där författaren inledningsvis skriver om för och nackdelar med lera kopplat till inre och yttre miljö. Vad gäller den yttre miljön är det enligt Adalberth viktigt att det finns "...krav på att byggnaden i bygg-, brukar- och rivningsskedena använder så lite energi och icke förnybara råvaror samt åstadkommer så lite avfall som möjligt..." (Adalberth 1998, s.9).

Lera som byggnadsmaterial kräver inte några avancerade förädlingsprocesser eller långa transporter och uppfyller därför kravet på liten energianvändning i byggskedet. Energin som åtgår vid tillverkningen av träkol är bundet till hur det framställs och hur långa transporterna är (detta gäller även lergranulat om det används istället för naturlera). Eftersom arbetet riktar sig åt självbyggare, antas hen själv förädla leran och framställa träkol vilket håller nere den totala energianvändningen tack vare användningen av lokala material. Leran kan dessutom blandas med andra material som möjliggör en låg energiförbrukning vid driftskedet.

Blandning nr. 10 har värmeisolerade egenskaper, men kan inte klassas som ett isoleringsmaterial, en konstruktion som har blandning nr. 10 som fyllnadsmaterial skulle alltså behöva tilläggsisoleras för att uppnå dagens krav på U – värde (om detta krav finns på byggnaden). När lermaterial har tjänat sin funktion kan de antingen återanvändas genom att lösas upp igen eller återföras till kretsloppet, såvida inte några miljöstörande ämnen har tillsatts. Under rubriken 1.8 Miljöpåverkan presenteras träkol som ett material vars egenskaper gör att det istället för att vara miljöstörande snarare förbättrar miljön vid eventuell kompostering eftersom det då skulle fungera som en kolsänka.

Den inre miljön skall vara hälsosam och behaglig att vistas i för människan. Hus gjorda av lera genererar bra inomhusklimat under hela året eftersom vattenånga kan tas upp av materialet för att sedan återgå till inomhusluften när förhållandena tillåter, vilket ger en jämn fukthalt i luften (Lindberg 2003, s. 117). Luftföroreningar som damm och gas kan tas upp av lermaterialet, vilket fungerar som ett renande filter (Lindberg 1998, s. 8). Ithaka – Journal presenterar en lista med fördelar hos träkol. Dessa går hand i hand med lerans fördelar och kan kopplas till inomhusklimatet, såsom fuktighetsreglering, minskad elektromagnetisk strålning och luftrening då det binder gifter och dammpartiklar i luften (Schmidt 2013). I *Illustrerad varulexikon* från 1894 skriver författarna följande om träkol:

Sålunda utmärker sig T. genom sin porositet och stora förmåga att absorbera fuktighet samt genom sin anmärkningsvärda egenskap att motverka förruttelse och borttaga elakt lukt... (Ekenberg 1894, s. 892)



## 4. Diskussion/Slutsatser

Syftet var att materialet som framställdes skulle fungera som ett fyllnadsmaterial, ha värmeisolerande egenskaper, vara konstruktionsmässigt hållbart samt ha en så liten negativ inverkan på miljön som möjligt. Detta är vad som har undersökts och resultatet av undersökningen svarar väl mot syftet. Trots att ett fördelaktigt resultat uppnåddes uppstod vissa avvikelser under arbetets gång, dessa presenteras nedan.

### **Diskussion av problem och slutsatser**

Blandning nr. 4 var den som innehöll störst andel träkol i förhållande till lergranulat. Eftersom träkolsinnehållet var så pass stort, borde denna blandning teoretiskt sett blivit den lättaste och därmed haft bäst värmeisolerande förmåga. Så var dock inte fallet och anledningarna till att denna blandning inte användes som optimal med avseende på arbetets syfte berodde på flera orsaker. För det första blev blandningen allt för kletig och fastnade i formen när blocken skulle slås, med tanke på det höga träkolsinnehållet borde blandningen inte blivit kletig. När blandning nr. 10 framställdes blandades den till en början med samma förhållande som i nr. 4, för att klargöra om det var blandningsförfarandet som bidrog till att nr. 4 blev för kletig. Det visade sig att blandning nr. 10 inte höll ihop med blandningsförhållandena från nr. 4 och därför fick lergranulat blandat med vatten tillsättas. En slutsats kunde då dras att blandning nr. 4 höll ihop för att träkolsbitarnas fraktion var mindre i den fjärde blandningen än i den tionde.

Den andra orsaken till att blandningen inte användes som optimal var på grund av vikten. Enligt tabell 3 väger den tionde blandningen mindre än den fjärde trots att den tionde innehåller mer lera. Även detta beror förmodligen på att träkolens fraktion var mindre i den fjärde blandningen och därmed gick det åt mer material till att fylla formen, vilket kan förklara varför blandningen var tyngre. Den sista orsaken till att blandning nummer fyra inte användes hade också att göra med träkolens fraktion. I den tionde blandningen var bitarna större och hade därmed fler luftfyllda hålrum. Ett antagande gjordes därför att de större bitarna hade bättre isoleringsförmåga på grund av porstrukturen.

När blocken skulle mätas uppstod ett problem, då blocken saknade skarpa hörn att mäta mot. För att undgå detta problem och få en mer exakt och tillförlitlig mätning skulle en klave eller liknande mätinstrument använts, istället för måttband. Då hade de olika blocken kunnat jämföras med varandra och eventuella skillnader kunnat klarläggas samtidigt som volymen för varje block skulle kunna räknats ut istället för en genomsnittlig volym för alla block.

På grund av att mätningen av blocken inte kunde göras exakt, kunde inte heller någon procentuell krympning räknas ut exakt. Därför gjordes en överslagsberäkning för alla blockens krympning så att en genomsnittlig krympning kunde räknas fram. Blocken hade inte krympt lika mycket som förväntat, vilket ledde till att vissa fogar fick utelämnas vid uppmurningen. Uppmurningen bedömdes endast utefter rationaliteten i uppmurningsprocessen och stabiliteten för de uppmurade blocken hade därför mindre betydelse. Konsekvensen av att blocken inte krympte lika mycket som beräknat fick därför inga allvarliga följder, utan ses mer som en upptäckt och eventuell anvisning för senare undersökningar på området.

Det visade sig i experimentet med isoleringslådan och jämförelsen med tabellvärden att även de lättaste blandningarna med störst träkolsinnehåll inte kunde mäta sig med renodlade isoleringsmaterial. Materialet är alltså inte optimalt ur isoleringssynpunkt, utan användningsområdet hör snarare till stommar som inte behöver högvärdig isoleringskapacitet, exempelvis komplementbyggnader vilket överensstämmer med arbetets syfte om att materialet skulle ha värmeisolerande egenskaper.

Under rubrik 3.2 Blockens sammanhållning presenteras blandning nr. 8 och 9 som olämpliga för blockmurning på grund av att de inte höll ihop vid handhavandet. Dessa blandningar skulle dock kunna fylla andra funktioner i en konstruktion, exempelvis vågrätt, som fyllnad med isolerande egenskaper i ett bjälklag.

Under momenten då blandningen skulle fyllas direkt i formar mellan stolparna användes inte några lister eller liknande som förankrar materialet i stommen. När blandningen torkade och krympte innebar det att ett springa uppkom mellan själva blandningen och stolparna vilket gjorde att den stod löst i stommen. Lister av något slag skulle därför behöva monteras på stolparna innan materialet fylls mellan stolparna för att stabilisera materialet i stommen och för att undgå luftrörelser genom springan.

### **Rationalitet**

Under laborationerna uppkom flera funderingar om hur rationaliteten i framställningen skulle kunna ökas. Framförallt gällde det skillnaden i att hantera blocken jämfört med arbetsinsatsen att fylla materialet mellan stolparna. En form behöver tillverkas som blocken kan slås i. De behöver även en torkställning som de kan stå på och denna behöver i sin tur byggas upp och rivas flera gånger då blocken efter några veckor skall vändas. Samtidigt är denna metod i behov av lagringsutrymme där torkställningarna kan stå i väntan på att blocken torkar. Att fylla materialet direkt mellan stolparna kräver färre moment och blir därför mer effektivt. Genom att sätta fast en skiva mellan stolparna som motsvarar den höjd som skall fyllas, är man endast i behov av att ha en liten skiva på andra sidan av stolparna som successivt flyttas uppåt under arbetes gång. Denna metod skulle bli mer rationell än den som användes i laborationen.

Blocken har dock andra användningsområde som kan vara av intresse. För att uppnå nivån för godkända isoleringsvärden kan ibland skalmurar vara en bra lösning. Blocken skulle då kunna muras upp innanför den bärande stommen och därigenom bevaras också materialets goda egenskaper för inomhusklimatet. De skulle också kunna användas över fönster och dörrar som ett komplement till direktfyllningen.

För att träkolsleran skall fungera bra som ett fyllnadsmaterial behöver följande parametrar uppmärksammas:

- ❖ *Träkol placeras först i blandaren följt av lergranulat. När dessa komponenter har blandats runt och fördelats jämnt tillsätts vattnet.*
- ❖ *Planblandaren bör vara helt fylld så att blandningen tumlas runt ordentligt.*
- ❖ *Att fylla materialet direkt i en stomme är utan tvekan den mest rationella metoden.*
- ❖ *Någon form av lister behöver monteras på stolparna innan blandningen appliceras för att säkerställa att materialet står stabilt i stommen.*
- ❖ *Fyll i tio cm i formen och komprimera massan cirka 30 procent innan ytterligare massa tillsätts.*

### **Vidare studier**

Undersökningen har lett fram till vissa slutsatser om hur det fungerar att blanda samman lera och träkol. För att ta reda på faktiska värden för materialet, såsom lambdavärde, krympning och sammanhållning skulle materialet behöva testas i laboratorium. Att testa materialets fuktbuffrande och luftrenande förmåga skulle också vara intressant, detta kräver dock också laboratoriestudier. Syftet var att materialet skulle klara av att bära sin egenvikt och ingen annan last, en vidareutveckling hade varit att hållfasthetsprova blocken genom att tryckbelasta provkuber.

Undersökningen riktar sig åt självbyggeri, det hade därför varit intressant att se hur framställningen skulle fungera om lera som inte är granulerad (naturlera) blandas med egenframställd träkol. Ulf Henningsson<sup>6</sup> nämnde under ett samtal att han hade hört att aska kan tillsättas i bruket till lerputs för att göra bruket hårdare och starkare, istället för att använda linolja. Stämmer detta och skulle det i så fall göra sammanhållningen bättre för blandningarna som utförts i undersökningen?

---

<sup>6</sup> Ulf Henningsson, informant.

# Käll- och litteraturförteckning

## Muntliga källor

Johannes Riesterer, möbel- och inredningssnickare, lerbyggare och ugnsmurarmästare, Svenska Jordhus, telefonsamtal den 20 februari 2015

Lars Hylander, lantmästare, agronom och docent i miljöanalys, telefonsamtal 26 februari 2015 och ett flertal e - mail

Michael Bergman, landskapsarkitekt och f.d. ordförande i Svenska Lerbyggeföreningen, telefonsamtal den 23 februari 2015

Ulf Henningsson, väg- och vatteningenjör och aktiv i Svenska Lerbyggeföreningen, telefonsamtal 20 februari 2015

## Tryckta källor

Adalberth, Karin (red.) (1998). *Ekologiskt byggande: föreställningar och fakta*. Karlskrona: Boverket

Blent, Karin (1998). *Stöphus, lerhus och hus av slagg: byggnadstekniska experiment under 1700- och 1800-talen*. Uppland. 1998, s. [7]-34

Bokalders, Varis & Block, Maria (2014). *Byggeologi: kunskaper för ett hållbart byggande : [sunda hus, hushållning, kretslopp, platsen]*. 3. [uppd. utg. Stockholm: Svensk Byggtjänst

Bokalders, Varis (u.å). *Varis Bokalders guide till schyssta isoleringsmaterial*. Kloka-hem.com. Hämtad: <http://www.kloka-hem.com/artikel/varis-bokalders-guide-till-schyssta-isoleringsmaterial> [2015-04-09]

Egnéus, H., Helmersson, D. (u.å.). Träkol. *Nationalencyklopedin*. Hämtad: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/tr%C3%A4kol> [2015-02-12]

Eklom, Annika (1993). *Om hus av jord och lerhalm*. Stockholm: Byggförl.

Ekenberg, Martin & Landin, John (1894). *Illustrerad varulexikon upptagande tekniskt viktiga råvaror, kemikalier, metaller och mineralier, produkter af kemisk-tekniska indu-*

strien, närings- och njutningsmedel, kolonialvaror, färger och färgämnen, spånadsämnen, gödningsämnen, brännmaterialier m. m.: deras beståndsdelar, förekomst eller fabrikation, förfalskning och surrogater, användning i det praktiska lifvet etc.. Stockholm: Chelius

Eklund, Emanuel (1997). *Lerhalm: undersökning av materialets isolerings- och brandegenskaper samt fuktupptagning för lerputs*. Luleå Tekniska Universitetet  
*Ekologiskt byggande: en granskning ur miljö- och hälsoperspektiv*. 1. uppl. (2006). Karlskrona: Boverket

Högström, Ebba (red.) (1993). *Lera + halm*. Lund: Lunds arkitekturskola

Hökerberg, Otar (red.) (1959). *Byggteknik. D. 2:2*. Stockholm

Kihlqvist, Ulrika & Moreëteau, Maria (1997). *Hus med väggar av jord Steninge*. Göteborg: Göteborgs universitet: Institutionen för miljövetenskap och kulturvård

Kjellin, Elis & Hökerberg, Otar (1928). *Byggnadskonsten, dess teori, juridik och praktik*. Sthlm: Hökerberg

Liljenström, C., Malmqvist, T., Erlandsson, M., Fredén, J., Adolfsson, I., Larsson, G. & Brogren, M. (2015). *Byggandets klimatpåverkan – Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet. Hämtad: [http://www.ivl.se/download/18.41ba7c1514a956c967dcb5/1423832085017/B2217\\_ME.pdf](http://www.ivl.se/download/18.41ba7c1514a956c967dcb5/1423832085017/B2217_ME.pdf) [2015-03-18]

Lindberg, Carl-Olov (1950). *Jordhusbygge: arbetsbeskrivningar och ritningar*. Stockholm: Hem i Sverige

Lindberg, Eva-Rut (red.) (1998). *Är jordbaserade byggmaterial utvecklingsbara inom byggindustrin?: rapport från seminarium på arkitektskolan den 20 mars 1998*. Stockholm: KTH

Lindberg, Eva-Rut (2001). *Lerjord som byggmaterial: en lägesrapport för år 2000 skriven för Byggforskningsrådet*. Stockholm: KTH

Lindberg, Eva-Rut (2003). *Gjort av jord: lerjord som byggmaterial i Sverige och länder med likartat klimat*. Licentiatavhandling, 2. uppl., Stockholm : KTH

Palmgren, Lars Allan (2003). *Svenska jordhus med lera eller kalk 1750-1950: om olika svenska jordhusmetoder - när, varför och hur de uppfördes*. Licentiatavhandling Stockholm : Kungliga tekniska högskolan

Schmidt, Hans-Peter (2013). *Biochar as Building Material for Optimal Indoor Climate*. Ithaka – Journal. Hämtad: <http://www.ithaka-journal.net/pflanzenkohle-als-baustoff-fur-optimales-raumklima?lang=en> [2015-02-12]

Schmidt, Hans-Peter (2013). *The use of biochar as building material – cities as carbon sinks*. Ithaka – Journal. Hämtad: <http://www.ithaka-journal.net/pflanzenkohle-zum-hauser-bauen-stadte-als-kohlenstoffsenken?lang=en> [2015-02-12]

Schöneck, Annelies (1984). *Jordhusbygge: tradition och framtid*. Järna: Syran

Shamoun, R. (2013). *Koldioxidutsläpp från byggnadsmaterial*. Högscoleexamen, Höskolan i Gävle, Akademin för teknik och miljö, Avdelningen för bygg- energi- och miljöteknik. Hämtad: <http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:678786/FULLTEXT01.pdf> [2015-02-18]

Stolle Wassberg, Linnéa (2010). *Lersten i skånsk byggnadstradition*. Göteborg: Institutionen för kulturvård, Göteborgs universitet. Hämtad: [https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/23508/1/gupea\\_2077\\_23508\\_1.pdf](https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/23508/1/gupea_2077_23508_1.pdf) [2015-02-09]

Sverige (2014). *Plan- och bygglag (2010:900): plan- och byggförordning (2011:338)*. [Rev. uppl.] Vadstena: Förlagshuset

Tideström, Stig H:son (red.) (1957). *Encyklopedi över råvaror och material: ursprung - tillstånd - form - egenskaper - användbarhet - framställning - behandling - normer - tabeller*. Stockholm: Nord. rotogravyr

Toller, S., Wadeskog, A., Finnveden, G., Malmqvist, T. & Carlsson, A. (2009). *Bygg- och fastighetssektorns miljöpåverkan*. Stockholm: Boverket. Hämtad: [http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2009/bygg\\_och\\_fastighetssektorns\\_miljopaverkan.pdf](http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2009/bygg_och_fastighetssektorns_miljopaverkan.pdf) [2015-02-18]

Vitruvius (1989). *Om arkitektur: tio böcker*. Stockholm: Byggförl.

## Elektroniska källor

Bioenergiportalen. Hämtad: <http://www.bioenergiportalen.se/attachments/42/832.pdf> [2015-05-18]

Casadobe (2003). *Produkte, teknik*. Hämtad: <http://www.casadobe.de/> [2015-02-10]

Regeringskansliet (2014a). Giftfri miljö. *Miljö kvalitetsmålen med preciseringar*. Hämtad: <http://www.regeringen.se/sb/d/5542/a/43906> [2015-02-11]

Regeringskansliet (2014b). God bebyggd miljö. *Miljö kvalitetsmålen med preciseringar*. Hämtad: <http://www.regeringen.se/sb/d/5542/a/43957> [2015-02-11]

Svenska jordhus (u.å.). *Fakta om lerklining och lerputs*. Hämtad: <http://www.svenskajordhus.se/lerklining.html> [2015-02-10]



# Bilagor

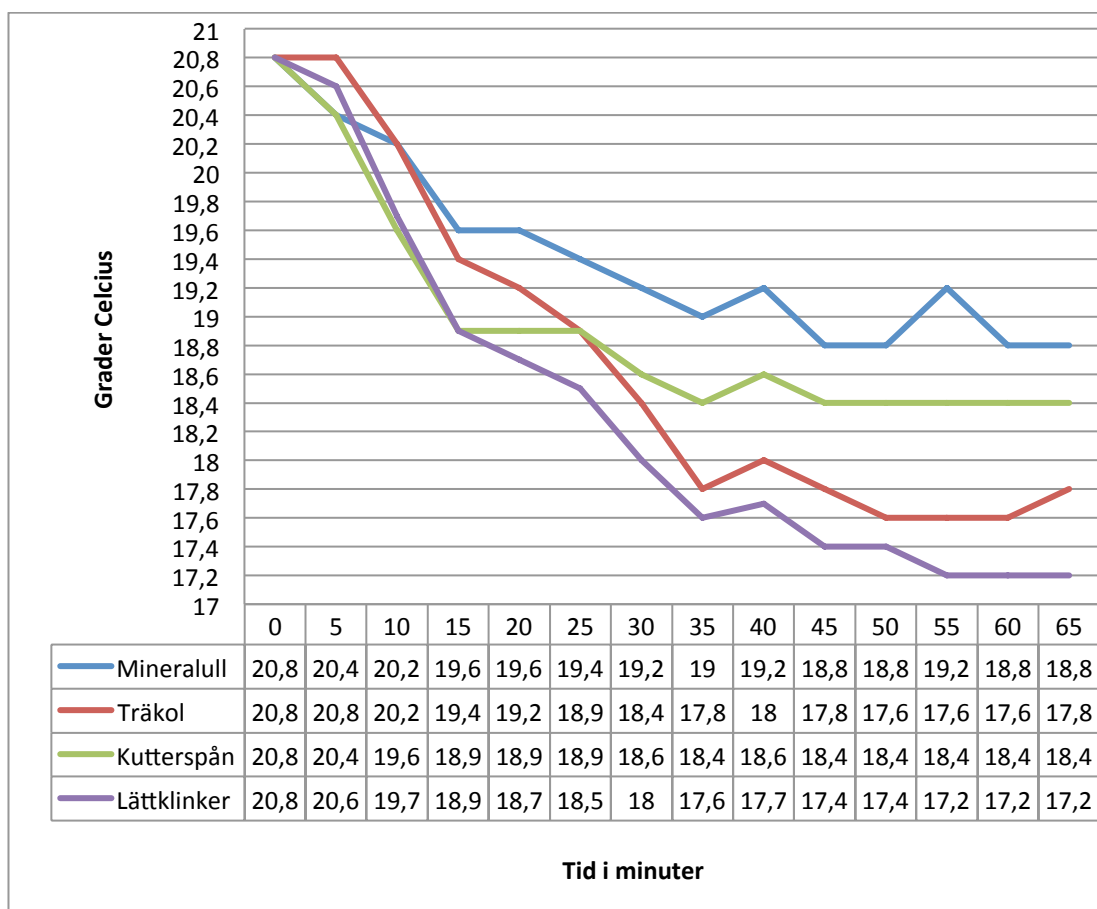
## Bilaga 1. Olikheter i ytstrukturer



Detaljbilder som visar på olikheter i ytstruktur för blocken. Den övre bilden representerar blandning nr. 3 medan den undre representerar blandning nr. 10



## Bilaga 2. Detaljerad bild av yttemperaturer



0 – 65 på den vågräta axeln avser antal minuter. Datatabellen nedanför den vågräta axeln visar vilken temperatur som avlästes vid de olika tidpunkterna.