

EN RÄTTVIS BYGGNAD

Social och ekologisk hållbarhet genom byggnation med lokala material



Fair building with local materials
Examensarbete vid Chalmers Arkitektur

JOSUA SMEDBERG

Master Programme Design for Sustainable Development
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2015-01-12

EN RÄTTVIS BYGGNAD

Social och ekologisk hållbarhet genom byggnation med lokala material

Fair building with local materials
Examensarbete vid Chalmers Arkitektur

JOSUA SMEDBERG

Master Programme Design for Sustainable Development
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2015-01-12



EN RÄTTVIS BYGGNAD

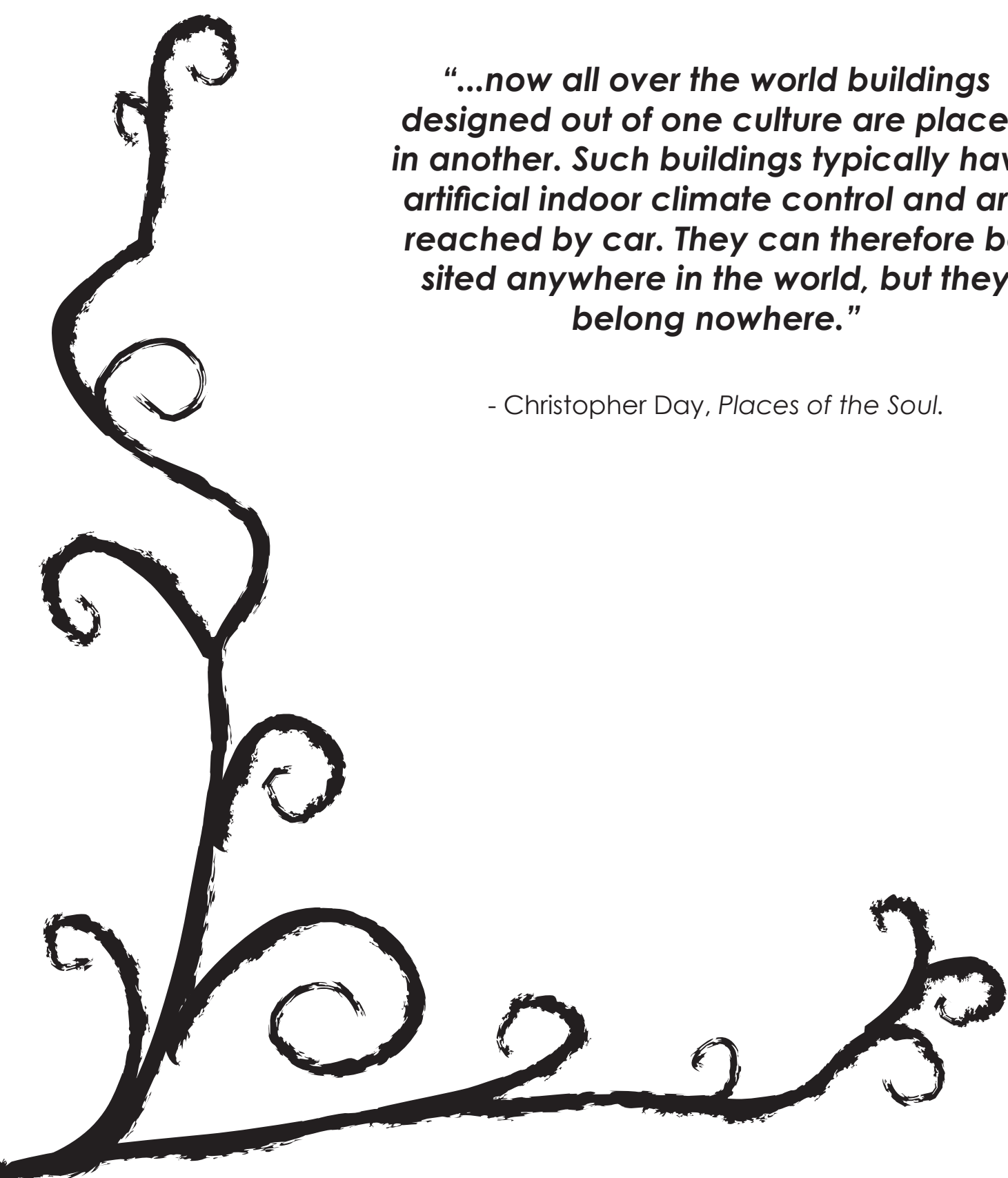
*SOCIAL OCH EKOLOGISK HÅLLBARHET GENOM BYGGNATION
MED LOKALA MATERIAL*
JOSUA SMEDBERG

© JOSUA SMEDBERG, 2015

Examinator: Lisa Brunnström, Arkitekt/Universitetslektor
Handledare: John Helmfridsson, Arkitekt

Master Programme Design for Sustainable Development
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Bilder & illustrationer av författaren, där ej annat anges.



“...now all over the world buildings designed out of one culture are placed in another. Such buildings typically have artificial indoor climate control and are reached by car. They can therefore be sited anywhere in the world, but they belong nowhere.”

- Christopher Day, Places of the Soul.

INNEHÅLL

	Förord	1
	Abstract	2
	Summary	3
1.	Inledning	7
	1.1 Bakgrund	
	1.2 Syfte & mål	
	1.3 Frågeställningar	
	1.4 Metod	
	1.5 Avgränsningar	
	1.6 Källkritik	
	Lokala material i teorin	
2.	Lokala material	15
	2.1 Lokalt vs. ekologiskt	
	2.2 Varför bygga med lokala resurser?	
	2.3 Vad är "lokalt"?	
	2.4 Materialanalys	
3.	Det lokala alternativet	31
	3.1 Jämförelse i tre kategorier	
	3.2 Miljöpåverkan vid produktion	
	3.3 Hälsoeffekter	
	3.4 Jordens resurser	
	Lokala material i kontext	
4.	Scenario & koncept	49
	4.1 Planområdet Högsbotorp	
	4.2 Detaljplan, förutsättningar & regler	
	4.3 Koncept & arkitektur	
5.	En lokal byggnad	61
	5.1 Material- & teknikförslag Högsbo	
	5.2 Struktur	
	5.3 Energi & fukt	
	5.4 Byggprocess & ekonomi	
	5.5 Miljöpåverkan	
	5.6 Utförande	
6.	Slutsatser & Reflektion	99
7.	Referenser	105
	7.1 Tryckta källor	
	7.2 Internetkällor	
	7.3 Bilder & illustrationer	
8.	Bilagor	115
	8.1 Beräkningar	
	8.2 Byggnadsbeskrivningar	
	8.3 Byggemenskap och arkitekturen	
	8.4 Träkonstruktioner	

FÖRORD

Intresset för lokala material grodde ur en fascination för byggnader som är i balans och samspråk med platsen de står på. En stark förankring i den lokala miljön och kulturen skapar en naturlig harmoni som, enligt mig, är svår att framkalla på annat sätt. Varje byggnad bär på en historia om människor och Tiden, en öppen bok som vi alla instinktivt lär oss att läsa - om än genom våra egna glasögon. Jag är övertygad om att de val vi gör bland olika material har stor potential att påverka den historien.

Under arbetets gång växte fascinationen vidare till en insikt om hur användandet av lokala material även kan spela en viktig roll i skapandet av en mer rättvis värld. Fokus skiftade sakta men säkert mot byggindustrins möjlighet att verka för social och global hållbarhet. Ju djupare in i ämnet man kommer desto mer känns det som att lokala material är en klart underskattad resurs.

Grävandet efter lokala material och byggnadstekniker ledde oundvikligen in på traditionella metoder från en tid då man i mycket högre grad själv engagerade sig i byggnationen av sitt eget hem. Den stora utmaningen idag är att undersöka om det är möjligt att utveckla dagens moderna konstruktionstekniker för att möjliggöra större andelar lokalt producerade material. Som det här examensarbetet visar på skulle det ha potentialen att skapa byggnader med större hänsyn till global rättvisa och ett mindre ekologiskt fotavtryck. Så frågan är, vilken historia vill vi att de byggnader vi bygger idag ska berätta för framtida generationer?

Jag vill också här passa på att rikta ett stort tack till min examinator Lisa och min handledare John som har haft stort tålamod under min utdragna process. Det har varit några motiga stunder men jag har lärt mig otroligt mycket på vägen!

Josua Smedberg

ABSTRACT

The discussion on sustainable building is today mainly focused on energy and ecology. Much of the available literature on sustainable building materials study specific materials and their benefits compared to conventional alternatives, but does not consider the positive effects of sourcing materials locally.

When materials are collected from a distant place, it may be hard to control the effects of the production on the workers' health and on their local environment. By using local building materials one can more easily ensure ethical production and move possible negative impacts to one's own region. This creates a more fair building and evokes awareness and concern. The use of local materials may also help creating a healthier house with lower ecological footprint than a conventional building. It also shapes a stronger bond between the building, the place and the inhabitants.

When compared to a conventional multi-storey building, a local alternative has shown to buffer CO₂ rather than add to emissions. It has also proven to contain less substances harmful to health and uses mainly renewable or abundantly available materials. An analysis of the local area around Göteborg has found several possible sources for local building materials, the most interesting being wood, straw and earth.

By implementing local resources on a scenario in central Göteborg, a proposal for a four storey residential building has been created. Four building elements have been studied in detail: exterior walls of strawbales and wood; loadbearing interior walls of compressed earth blocks; non-loadbearing interior walls of cordwood; and elevator shafts of rammed earth. These elements are able to create an energy efficient home with good indoor climate and show potential for prefabrication and modular assembly.

In order to be economically competitive with conventional methods, the process of construction needs further investigation and development. However, for a fully sustainable and fair building there is a need for modern building industry to move towards more local and sustainable building materials.

Keywords:

Local materials, fair building, social sustainability, straw bales, modular construction

Lokala material, rättvis byggnad, social hållbarhet, halmbalar, modulär konstruktion

SUMMARY

The structure of this report is divided into two main blocks. The first, chapter 2 and 3, is dealing with the theoretical reasons for using locally sourced materials in construction. The second chapter discusses three major impacts they can have on the global situation, as well as in a local society. In chapter 3 I compare local alternatives with conventional building methods and evaluate the effects on ecology, health and natural resources. The second block, consisting of chapter 4 and 5, implements the theoretical background on a real scenario by creating a proposal for how a multi-storey building in an urban context could be built with local resources.

Before entering an analysis on the effects of local materials in the building sector, one needs to define what is meant by "local". First of all, a distinction need to be made between "local" and "ecological" or "organic". When comparing two alternative materials it is usually the ecological aspects which are of interest. Local, instead, is a preset condition and a good in itself, rather than just one more weight to add to the scales. There is no set universal definition of what is "local". In this report, a geographical area is used, for reasons described below. For the scenario presented in chapter 4, "local" is defined as the Göteborg region.

The use of locally sourced materials has the ability to produce far more than just lower emissions from transport, or even just other ecologically positive effects. The reasons for why local materials should be used as a selection criteria are handled under three headings: *Control over production*, *The power of the builder*, and *Connection to the place*. When using materials produced in a distant place, it can be very difficult for the final user to trace the social and ecological footprint of the product. This means that countries and companies with low moral or environmental concern can abuse poor countries and people, without the final customers getting to see the whole impact of their consumption. By sourcing the materials locally one can both ensure ethical and environmentally sound production, at the same time moving the consequences of bad production to one's own local area. This has the power to create a more fair building.

Using local materials also empowers the builder to know the full content of the product, enabling the creation of a healthy indoor climate and safe construction environment. It also brings the possibility to ensure high quality products with specific or unique aesthetics, as well as moves the control over economy fully back into the builder's hands. Lastly, the use of local resources creates a connection to the site of the building and anchors it into the local culture and history. Some authors talk about a "spirit of the place", which can be enhanced by letting our buildings become a part of a closed (local) loop. The use of local materials can create an intimate bond between the landscape and the building, which can also be extended to include the people living there and the local society.

An analysis of the Göteborg region found a number of available local building materials, the most prominent being wood, clay and straw. Reusable, "second hand", materials is another large group of building materials with great possibilities for sustainable construction. This includes materials such as reclaimed bricks, old window frames, or empty glass bottles. Looking at examples such as Michael Reynolds' *Earthships*, it is easy to see that imagination is often what sets the boundaries for building materials.

In order to evaluate the ecological effects of locally sourced materials, a conventional residential building is compared to a local alternative of the same measurements. Brf Cyklisten in Kvillebäcken is chosen as the conventional example and consists mainly of a concrete load bearing structure with a steel and mineral wool exterior wall construction. The local alternative is chosen to consist of straw bale and wood modules with interior walls of adobe (clay bricks) and cordwood (wood laid with clay mortar), placed on a stone foundation. The resulting comparison shows that the conventional building has a carbon dioxide equivalent of 110,8 tonnes, while the local alternative ends up on a negative -150,5 tonnes. The reason for the negative result is the inclusion of wood and straw's ability to store carbon dioxide, but even without this the difference is large.

When comparing the effects on people's health, both alternatives show low risks. In many cases it is smaller components such as additives, glues or paint which are the big problem. The local materials do however need less protective clothing during construction and generally create a healthier indoor environment. Looking at the impacts on global resources, the conventional materials mainly consist of non-renewables, while most of the local materials are renewable. By using local materials, one can also ensure that the production has shown care for the local environment. A negative aspect of concrete is that it usually is very hard to reuse or return to nature, unlike clay, straw and wood.

In order to describe how a process of building with local materials could look like, a scenario has been set up. Departing from a new zoning plan in Högsbotorp, Swedish building regulations, and an architectural example from OkiDoki Arkitekt, a building concept has been designed, and local building techniques for the different elements suggested. The conceptual building volume consists of four full storeys and ca 14 apartments, centered around a communication core with stairs and elevator. Local material alternatives are then given for the building, after dividing it into ten separate elements: exterior walls, loadbearing interior walls, non-loadbearing interior walls, foundation, roof, floor slabs, elevator shaft, windows and doors, balcony, and stairs.

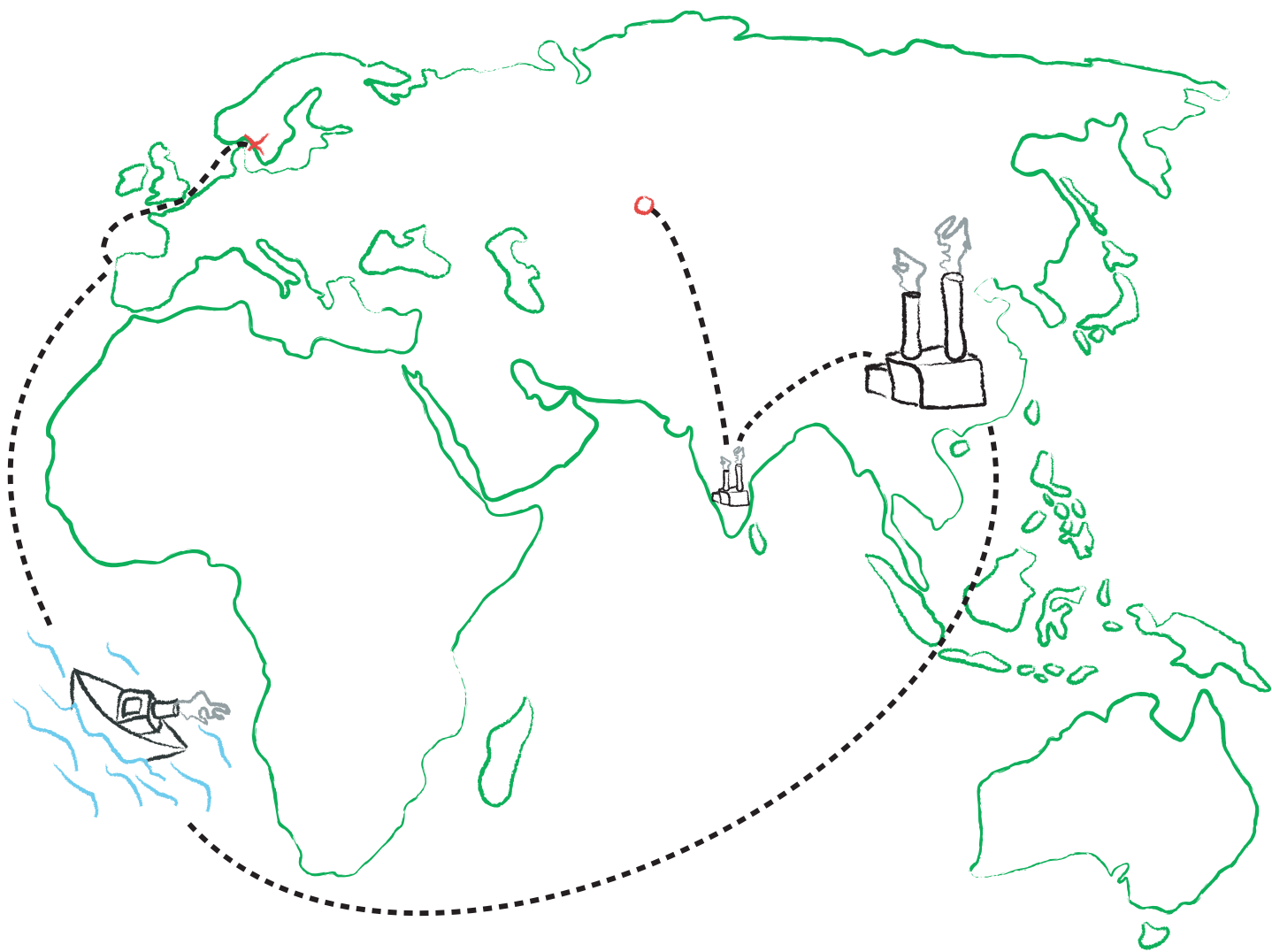
The proposed construction methods are respectively straw bale and wood exterior modules, CEB loadbearing interior walls, cordwood non-loadbearing interior walls, stone foundation with a clay slab and mussel shell insulation, turf roof, wood and straw bale slabs, rammed earth modules for elevator shaft, renovated windows and doors where possible, free standing wooden frame balconies, and concrete stairs.

Four of the elements, the three wall types plus elevator shaft, are studied more in detail under the topics *Structure*, *Energy & moisture*, *Economy & production*, and *Environmental effects*. As inspiration for the straw bale modules, the ModCell system has shown the possibility to industrialize straw as insulation in a wooden frame. Inspired by this, the local alternative is based on a framework of solid wood with a straw bale filling and clay plaster finish. The U-value for the wall element may reach down to 0,11 W/m²K. Straw is good at transporting moisture out from the wall, but also needs good protection from hard weather.

In order for the loadbearing interior walls to be able to handle fast assembly, a wooden structure is used as base for a CEB infill. The bricks then work to stabilize the structure and functions as heat and moisture regulation for the indoor climate. The interior walls have taken inspiration mainly from cordwood construction but can also incorporate the use of reclaimed bricks, wooden construction waste and empty glass bottles. As shown by the Austrian company *Lehm Ton Erde*, rammed earth

can be built as prefabricated modules without the need for additional reinforcement. This provides a good alternative for sturdy elevator shafts, or as alternative for loadbearing interior walls.

The clay based elements all have low insulative values but can instead buffer heat and moisture, thus avoiding over heating or high relative humidity. The cost for all four elements is much depending on the efficiency of construction and amount of labour needed, while the basic materials can be found at low cost. This is also the greatest challenge for local material construction; to find new ways of working without losing the efficiency and security of today's conventional methods. That this change is necessary is clearly shown when the four elements are compared to conventional alternatives, and prove to provide for a better environment, social sustainability, and increased global justice.



1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

I Sverige ser vi idag ett stort fokus på energifrågor när det diskuteras hållbarhet inom byggsektorn. Energikrav, passivhus, förnyelsebar energi och högpresterande material tar upp en stor del av debatten kring hållbart byggande, både i media och på politisk nivå. Risker med detta är att fokus hamnar på hårda fakta och mätbara värden, på så vis utelämnande en stor del av en holistisk och hållbar arkitektur.

Något som många engagerade, miljömedvetna byggare redan har insett är att även mjukare värden måste få en central plats i diskussionen. Faktorer som hälsa, estetik, känsla, ansvar och kultur spelar in när ett material bedöms. Där har lokala material, dvs. material med en geografisk och ofta kulturell närhet till byggplatsen, fått en viktig roll att spela. Vissa pratar till och med om att platsen har en själ, som huset måste vara i harmoni med.

Det som i grund och botten driver användandet av lokala material och resurser är återförandet av kontrollen till byggherren. Genom att själv skaffa sig en direkt inblick i var materialen kommer ifrån kan man säkerställa materialens innehåll, kostnad, kvalitet och inbyggda energi, såväl som miljöpåverkan och etisk framställning.

Det finns idag ett allvarligt problem med de många och långa transporter och processer ett material genomgår, utöver transportutsläppen. Det verkligt svåra ligger i att det blir näst intill omöjligt för den slutliga köparen att bedöma ett materials totala avtryck i miljön och samhället. För mer bearbetade och behandlade material blir det ännu mer komplext, då indirekta faktorer måste tas med för en rättvis helhetsbild. Till exempel räcker det inte med att veta att det trä man köper tagits från väl skötta skogar om det sedan impregnerats med kemikalier från en fabrik med dåliga villkor för sina arbetare.

Enligt organisationen Free the Slaves, som arbetar för att befria moderna slavar, finns idag runt 21-30 miljoner moderna slavar, spridda över alla världens delar (Free the Slaves, 2014). Utan lön sliter de långa dagar för att förse omvärlden med allt ifrån guld, tegel och sten, till fisk, kakao och sex. Slaveri är förbjudet överallt, så anledningen till att det kan fortgå i sådan utbredning är att de ansvariga lyckas hålla det gömt genom korruption och list.

Så hur kan vi då garantera att inga av de produkter vi själva använder inte tillverkas på detta vis, eller genom andra oetiska metoder? Här utelämnar vi oss ofta helt i händerna på de företag som köper in produkterna. Vi hoppas att de ska känna samma moraliska ansvar som vi och i sin tur kontrollera de tidigare leden i produktens transportkedja. Det utbredda slaveriet är dock ett bevis på att det ibland brister.

Olika märkningssystem kan i viss mån hjälpa i sådana situationer, men ofta är en fullständig kontroll svår och dessutom är långt ifrån alla material märkta idag. Även i fall där produkter faktiskt är märkta kan det finnas brister. Bland annat riktar Naturskyddsföreningen hård kritik mot systemet Forest Stewardship Council (FSC) som ska säkerställa ansvarsfullt skogsbruk, och har till och med lämnat sitt medlemskap i svenska FSC (Naturskyddsföreningen, FSC, 2013).

T.v.: Många av de produkter vi konsumerar idag kan ofta ha rest en lång, och inte sällan till synes märklig väg...

Det finns idag en mängd litteratur om olika aspekter av hållbart, eller ekologiskt, byggande. Förhoppningen är att den här studien ska kunna visa på vikten av att arbeta med lokala material för att kunna skapa en fullständigt hållbar byggnad, som inte bara tar hänsyn till vår miljö utan även strävar efter global rättvisa, ansvarstagande och hänsyn.

För att sedan tillämpa denna kunskap ska studien även ge en överblick över hur byggnation med lokala material kan bli verklighet i en svensk kontext, samt hur det skulle stå sig jämfört med konventionella metoder. För att ge arbetet en extra dimension presenteras ett förslag till hur man kan arbeta med lokala material i en urban miljö, där kraven på byggnaden och de lokala förutsättningarna ofta är väldigt olika de i en landsbygdssituation.

1.2 Syfte och mål

Syftet med det här arbetet är att undersöka hur användandet av lokala byggnadsmaterial kan vara med och skapa social hållbarhet och global rättvisa, samt att undersöka och utvärdera några av de övriga effekterna (såsom effekter på ekologi, hälsa och ekonomi) av att bygga med dem. Målet är att utifrån ett specifikt scenario studera ett antal lokala material och tekniker, och genom generella exempel samt några för scenariot föreslagna byggnadselement jämföra och analysera utvalda effekter av teknikerna. Byggnadselementen ska visa på hur lokala material kan användas i ett flerbostadshus i en urban kontext, främst för att försöka utmana den oekologiska (och oetiska?) materialstandard som till hög grad finns idag.

För att på ett realistiskt vis kunna konkurrera med konventionella metoder är målet även att undersöka möjligheterna för effektivt och modulärt bygge med miljövänliga och lokalt hämtade material. Detta sker genom att undersöka relevanta metoder som används eller utvecklas inom industrin idag (som till exempel ModCell och Lehm Ton Erde), samt genom att skapa några "lokala" förslag åt flerbostadshuset.

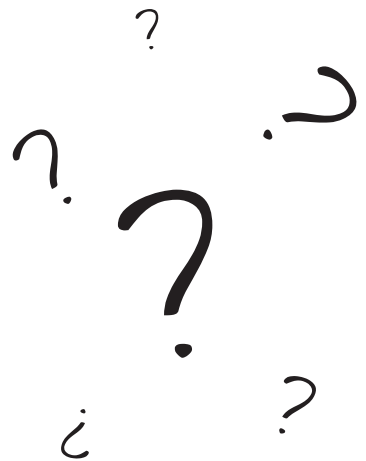
1.3 Frågeställningar

De grundläggande frågeställningarna för det här arbetet handlar om hur användandet av lokalt hämtade byggnadsmaterial kan verka för en socialt hållbar värld, samt vilka övriga effekter det har på byggnadsprocessen och byggnadens avtryck på miljön och människor. De fördelar sig på två olika grupper av frågor, där den första gruppen är mer teoretiskt lagd och behandlas främst i kapitel två:

- **Hur kan byggnation med lokala material verka för global rättvisa, såsom etiska produktionsförhållanden och vård av våra gemensamma resurser?**
- **Hur kan byggnation med lokala material påverka den lokala kontexten, såsom effekt på de boendes hälsa, estetiskt uttryck och lokal ekonomi?**

Den andra delen av arbetet studerar de lokala teknikerna när de appliceras på ett verkligt scenario och försöker bland annat svara på:

- **Hur presterar lokala material ekologiskt och byggnadstekniskt jämfört med konventionella?**
- **Vilka lokala material och tekniker lämpar sig bäst för byggnadens olika delar,**



och hur kan de anpassas till modern byggnadsteknik?

Inom temat lokala material finns det mycket kvar att utforska utöver det som rymts inom frågeställningarna för det här arbetet. Intressanta teman att forska vidare inom vore exempelvis:

- Hur kan man säkerställa etisk produktion av installationer inom el, vvs, osv?
- Hur kan återvunna byggnadsmaterial spela en större roll som lokala material-resurser?
- Hur kan man utöver lokala material även utnyttja de boendes kompetens och lokalt engagemang bättre i dagens byggande?
- Hur skulle man kunna optimera byggandet av halmbalsmoduler för att göra dem till en realistisk konkurrent på marknaden idag?

1.4 Metod

I denna studie används främst kvalitativa metoder och terminologin för dessa metoder är i första hand hämtad från böckerna *Närhet och distans: Kvalitativa metoder i samhällsvetenskap* (Repstad, 2007) och *Metodik för utvecklingsarbete och utvärdering* (Carlström, 2006). Olika metoder har använts för arbetets olika delar och skeden.

För att bemöta frågeställningarna i arbetets första del om lokala material används främst studier av relevant litteratur och forskning inom ämnet. Efter att frågorna om vad som är lokalt och varför man bör arbeta med lokala material besvarats har det lokala området (definierat i kapitel 2.3) analyserats och de lokala materialtillgångarna bedömts. Sökningen är baserad på de lokala material som funnits i litteraturstudier och referensprojekt.

Underlaget för jämförelsen mellan det konventionella byggandet och byggnation med lokala material i kapitel 3, *Det lokala alternativet*, är för det konventionella exemplet främst baserat på intervju och referensprojekt. Det lokala alternativet är baserat på i första hand litteraturstudier. Informationen har bedömts genom jämförelser mellan olika litterära källor, samt vägts mot resultat och erfarenheter från studerade genomförda referensprojekt. Där olika källor har angett olika uppgifter, värden eller råd, bedöms de utifrån författarnas utbildningsbakgrund, erfarenhet inom ämnet, samt utifrån bedömning av källans vetenskapliga värde. Specifika värden eller materialdata (som exempelvis U-värden för olika byggnadstekniker) har vid behov även kontrollerats genom enklare beräkningar.

Vid jämförelsen mellan lokalt och konventionellt har koldioxidekvivalenten beräknats för en konceptuell byggnad. Värdena för de olika materialen har hämtats från beräkningsprogrammet *Carbon Calculator*, skapat av *The Edinburgh Centre for Carbon Management*. Programmet har valts ut för sitt breda register av material men har visat sig delvis partiskt mot trä och naturmaterial.

För uppbyggandet av scenariot i Högsbo har aktuella handlingar analyserats, främst inkluderande områdets nya detaljplan med tillhörande planbeskrivning och kvalitetsprogram. Den aktuella tomten och planerade projekt i planområdet har analyserats, främst med fokus på OkiDokis vinnande markanvisningsförslag *Wooden it be nice?*.

För den kreativa delen av arbetet, där material och tekniker vägs mot varandra för att slutligen resultera i utformningen av olika byggnadselement, kompletteras

litteraturstudien med kvalitativa intervjuer med sakkunliga, främst inom de byggnadstekniker som valts ut för byggnadsexemplet. Syftet med intervjuerna är att bekräfta och komplettera uppgifter från litteraturen och på så vis skapa en bättre grund för beslut i valet av material och tekniker. Efter att byggnadens delar getts lokala alternativ har fyra element valts ut för djupare analys. Elementen undersöks genom faktorer som struktur, energi och fukt, miljöpåverkan, ekonomi och produktion. I undersökningen kring de olika materialens samverkan och estetik har även skalmodeller av de utvalda byggnadselementen byggts.

För att skapa en kontext till byggnadselementen har utformningen tagit avstamp ur ett byggnadskoncept skapat utifrån förutsättningarna i det planerade området vid Guldmyntsgatan i Högsbo. Områdets nya detaljplan och kvalitetsprogram har använts som bakgrund för utformningen av konceptet, samtidigt som fokus legat kvar i användningen av lokala material för byggnadens olika delar.

1.5 Avgränsningar

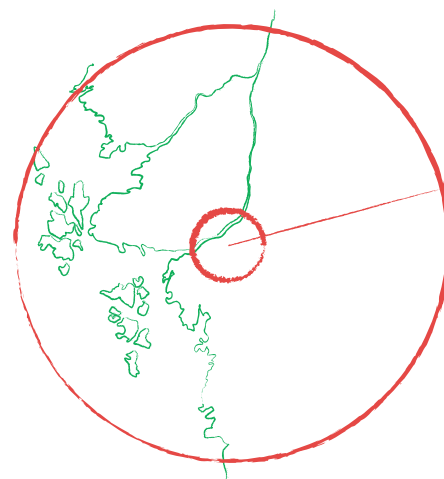
Detta arbete behandlar i första hand lokala material i en svensk kontext och tar därför inte upp material eller tekniker som inte går att anse som lokala i Sverige. För att ytterligare avgränsa arbetet presenteras de flesta material och tekniker endast kortfattat. Fyra byggnadselement - ytterväggar, bärande och icke bärande innerväggar, samt hisschakt - har valts ut för djupare studie och presenteras mer ingående. Detta innebär att andra väsentliga delar av byggnaden, som tak och bjälklag, endast beskrivs översiktligt och utan ingående detaljer och analyser.

För byggnadselementen är lokala material och deras roll i fokus. Övriga aspekter som ofta är förknippade med ekologiskt byggande såsom uppvärmning, avfallshantering, energiproduktion och dylikt behandlas inte. Dock har enklare energiberäkningar och strukturanalyser genomförts, för att styrka valet av tekniker och material. Ingående beräkningar av hållfasthet och fukt genomförs inte utan undersöks istället genom exempel och litteratur. Den totala strukturens hållfasthet för det slutliga byggnadsförslaget i kapitel 5.6 beräknas ej, utan baseras istället på exempel i liknande material och tekniker. Detta gäller även för bäringen av det föreslagna, tunga, torvtaket, då det finns lättare alternativ att tillgå om så skulle behövas.

Då det givetvis fungerar att på många sätt använda en låg grad av lokala material tillsammans med mer konventionella material ser det här arbetet främst till byggnadstekniker som använder en hög andel lokala material.

För definitionen av "lokala material" har i detta arbete satts en geografisk gräns till området "Storgöteborg". Området innefattar 13 kommuner och formar grovt sett en cirkel med Göteborg centrum i origo, med en radie på ca 3 mil. För mindre projekt och projekt som placeras i landsbygdsmiljö finns det anledning att diskutera en betydligt kortare geografisk definition av "lokalt". Definitionen av "lokalt" diskuteras vidare i kapitel 2.3, *Vad är lokalt?*.

I Kapitel 4, *Scenario*, tas vissa krav från BBR upp i avsnittet *Regler och riktmärken*. Andra BBR-krav har utelämnats, eftersom de anses av mindre vikt för den utformning som sker i det här arbetet. Det gäller till exempel åtkomst för brandbil, vattentemperaturer, lufthastigheter och olycksskydd (fallskydd, heta ytor, m.m.).



Vid utformningen av modulerna i kapitel 5 och i de konceptuella planerna och sektionerna för byggnadsförslaget i kapitel 5.6 tas inte installationer, el, ledningsstråk, schakt, vattenavrinning o.dyl. med i illustrationerna, då de kan anses ha gott om plats vid en mer detaljerad ritning. En reflektion över dessa små men viktiga delar av byggnaden tas även upp i kapitel 6.

De planer och sektioner som presenteras för byggnadsförslaget i inledningen till kapitel 5.6 är konceptuella, varför exempelvis måttsättningar och planlösningssdetaljer inte bör tolkas för precist. För detaljer kring hur modulernas dimensioner påverkas av sådant som fönstersättning, halmbalsstorlekar, etc, bör man istället se till de detaljritningar som återfinns i kapitel 5.2 och 5.6.

1.6 Källkritik

Intresset och nyfikenheten kring lokala material startade för det här arbetet i funderingar kring vikten av en byggnads koppling till platsen där den står. Arkitekten Christopher Day formulerar problematiken väl i sin bok *Places of the Soul* när han skriver: *"Nowadays you can design a building in one country to be built in another. Such buildings typically have artificial indoor climate control and are reached by car. They can therefore be sited anywhere in the world, **but they belong nowhere**"* (Day, 1990, s. 13).

Det finns idag starka tendenser att ytterligare vilja centralisera och systematisera byggandet av bostäder. Bland annat kan man läsa i en debattartikel i DN från den 12e september 2013 hur dåvarande bostadsminister Stefan Attefall skriver om hur "Gemensamma tekniska byggregler i hela landet ska underlätta byggandet av fler och billigare bostäder" (Attefall, 2013). Attefall jämför med bilindustrin och skriver att "Bilindustrin har tillåtits industrialisera, standardisera och optimera produktionsystemen", vilket i sin tur har lett till billigare bilar. Frågan är dock om vi verkligen vill att bostadsbyggandet ska ta samma väg som bilindustrin, när vi idag ser hur det gått för våra svenska biltillverkare.

Fenomenet med att vilja använda standardisering och effektivisering som en väg mot hållbarhet beskrivs i Stefan Wallners bok *Stigfinnare* (Wallner, 2004), som från ett intressant perspektiv belyser frågan om hur olika vägar mot ett hållbart samhälle kan se ut. Där har denna väg kallats "vägvinnare", ett begrepp som myntades i Naturvårdsverkets rapport *Sverige år 2021 - vägen till ett hållbart samhälle*, och beskrivs som en av två tänkbara vägar mot ett hållbart samhälle. Wallners bok beskriver dock i första hand den andra vägen, "stigfinnare", som istället för förtätning av städer "pekar mot ett mer utspritt samhälle, där bebyggelsen knyts till lokala försörjningsområden så att transportbehoven minskar" (s. 50).

Inom begreppet "stigfinnare" ligger många värderingar som även Day talar om och byggnadernas koppling till platsen är ofta central. Dock kan man ibland ifrågasätta om dessa stigfinnare lyckas ta hänsyn till Days kritik mot artificiella inomhusklimat och beroende av bil. Som Wallner själv pekar ut ligger säkerligen den bästa vägen mot hållbarhet någonstans mellan ytterligheterna av vägvinnare och stigfinnare (s. 50).

I jakten på en byggnad som är i harmoni med platsen den står på kommer man oundvikligen in på användandet av lokala resurser. Det finns en stor mängd böcker inom ekologisk arkitektur och hållbart byggande, med många olika fokus

och infallsvinklar. Många behandlar antingen hållbart byggande mer generellt, eller mer specifikt fokuserat kring ett material, en teknik, eller ett koncept. Syftet med det här arbetet, att utvärdera effekten av att bygga med lokala material i Sverige, har lett till att mycket litteratur har genomförts för att skapa en så fullständig helhetsbild som möjligt.

Björn Berges bok *The Ecology of Building Materials* (Berge, 2001), som behandlar byggnadsmaterialens ekologi, har varit en av de mest användbara källorna i efterforskningarna kring material och deras egenskaper. Boken tar upp de flesta av materialen som presenteras i denna rapport och därtill en hel del fler (varav många generellt är svåra att motivera som "lokala" material).

Berges bok går däremot inte in på djupet i hur materialen kan kombineras i olika byggnadstekniker och här är den svenska litteraturen i många fall bristfällig. Istället får man söka sig till bland annat den amerikanska ekobyggekulturen, där en mängd olika byggnadsmetoder med lokala material finns utförligt beskrivna. Där finns det dock många entusiaster som skriver mer utifrån en förälskelse till ett material eller en metod, snarare än utifrån vetenskaplig forskning, vilket medför att det ibland kan vara svårt att finna tydliga och väl underbyggda värden för konstruktionernas prestanda. Generellt sett är böckerna fokuserade på en specifik byggnadsmetod (till exempel *Straw Bale Building* (Magwood, 2000) eller *Adobe and Rammed Earth Buildings* (McHenry, 1984)) och/eller kring ett enskilt byggnadsmaterial (exempelvis *Building with Earth* (Minke, 2009)).

Bland de mer generella böckerna om ekologiskt byggande kan Varis Bokalders och Maria Blocks bok *Byggekologi* (Bokalders, 1997) nämnas som ett gott exempel på svensk litteratur om hållbart byggande. Boken är uppdelad på fyra delar delar, där den första, *Att bygga sunda hus*, tar upp material och i viss mån tekniker. Den är däremot mer begränsad i sitt urval än till exempel Berges bok och kanske mer användbar som en källa för idéer än praktisk handbok för specifika byggnadstekniker.

För en grundlig beskrivning av det praktiska utförandet är boken *Building Green* (Snell, 2009) ett bättre exempel. Där beskriver författarna på ett väl strukturerat och detaljerat sätt hur ett hus byggs upp med ett antal populära tekniker för ekologiskt byggande. Detta åstadkoms genom att för ett mindre hus bygga väggar och tak där det appliceras olika tekniker, bland annat halmbalar, kubbteknik och cob. Det öppnar i sin tur för en mycket intressant och relevant diskussion kring användandet av olika material och tekniker i samma byggnad, där varje material får en speciell uppgift relaterad till dess unika egenskaper. Även om vissa material i *Building Green* hämtas lokalt ligger fokus främst på ekologin, snarare än att de är lokala.

Värt att nämna i sammanhanget är här David Martínez Escobars examensarbete vid Chalmers Arkitektur, *Earth Architecture: Building with rammed earth in a cold climate* (2013), som på många sätt liknar det här arbetet i sin strävan att introducera naturliga och lokala material i en urban kontext i nordiskt klimat. David fokuserar på en specifik metod, stampad jord (pisé), och utgår i första hand från materialets ekologiska och arkitektoniska fördelar i jämförelse med bland annat betong. I sitt praktiska exempel skriver han dock om fördelarna med att hämta material från den lokala kontexten och beskriver bland annat goda möjligheter till att hämta stora mängder lerjord från Göteborgs kommande tunnelbyggen m.m. (s. 125). Ett problem som även David brottas med är att anpassa det lokala materialet till dagens effektiviserade modulkonstruktioner och för pisémetoden har detta arbete kunnat hämta mycket inspiration från hans arbete.

Boken *Natural Architecture* (Rocca, 2007) lyfter genom sina bilder på konstnärlig arkitektur fram arkitektur som i många fall bokstavligen fått växa fram. Det lyfter in tidsaspekten till byggandet, något som ofta är en av de hårdaste kritikerna mot byggnation med lokala material. Många av de tekniker som beskrivs i litteraturen om ekologiskt byggande och lokala material är ekonomiska och resurseffektiva, men kräver hög arbetsinsats och noggrann planering i återgåld. Detta står också i stark kontrast med Stefan Attefalls tankar om hur effektivare arbete ska leda vägen till billigare bostäder.

Roccas bilder visar hur tålmod och en väl genomtänkt koppling till platsen kan skapa arkitektur och konst som trots sin enkelhet når höga höjder. En av målsättningarna för designuppgiften i detta arbete är just att undersöka hur de olika byggnadsdelarna kan tillåtas ta olika lång tid, för att främja en tålmodig och vacker arkitektur samtidigt som man konkurrerar med konventionella metoder.



2. LOKALA MATERIAL

2.1 Lokalt vs. ekologiskt

Byggnadsmaterialens energi

Byggnadsindustrin står idag för ca 40 % av världens totala energikonsumtion. I detta ingår produktion, drift och rivning, där driftskedet står för den klart största delen. Andelen energi direkt kopplad till valet av material ligger normalt mellan 10 - 25 % (Kram, 2001), men i takt med att våra byggnader blir effektivare i driftskedet stiger den andelen.

Den inbyggda energin som materialen lagrat upp (innan driftskedet) skapas normalt till 85 - 95 % under materialets produktion, medan det resterande tillkommer vid byggnationsfasen (Berge, 2009, s. 20). Detta fördelas i sin tur på direkt energi för brytning och bearbetning av material, indirekt energi genom till exempel värme och belysning i fabriker eller tillverkningsenergi för maskiner, samt transportenergi.

Skillnaden mellan ett lokalt och ett icke-lokalt material ligger främst i den sista punkten, transportenergi. Som framgår ovan står transporten för en relativt liten del av den totala energikonsumtionen i en byggnad, men exakt hur stor andel beror till stor del på vilket material det handlar om (hur tungt och skrymmande det är) och hur det transporteras. Till exempel kan transport med flyg kräva uppåt ca 100 gånger mer energi än transport med båt (Berge, 2009, s. 20).

Exempel:

Transport av ett ton trä med lastbil från norra Sverige (Gällivare) till Göteborg, ca 1500 km, ger utsläpp på minst 1200 MJ enligt Berges tabell (s. 20). Detta motsvarar ca 0,5 ton CO₂e (enligt *Interactive Unit Converter*, www.epa.gov), vilket kan jämföras med resultaten i kapitel 3.2. Modulerna för ytterväggarna i byggnadsförslaget i kapitel 5.6 innehåller totalt uppskattningsvis ca 10 ton trä, vilket då skulle ge 5 ton CO₂e.

Att en resurs är lokalt framställd behöver inte nödvändigtvis betyda att den är ett bättre alternativ än en icke-lokal motsvarighet. Ser man situationen väldigt förenklat så innebär "icke-lokalt" egentligen bara ett tillskott av energi och utsläpp för transport, som beroende på resurs kan innebära allt från en stor del till en näst intill obefintlig del av miljöpåverkan. Som Naturskyddsföreningen påpekar i *Grön Guide* kan det till och med vara så att en biltur till mataffären påverkar miljön mer än transporten av maten till affären (Naturskyddsföreningen, *Grön Guide*, 2013).

Den förenklade bilden förutsätter även att man ser produktionen av själva resursen som likvärdig oavsett plats, vilket sällan är fallet. Tvärtom kan i själva verket en produkt producerad på andra sidan jordklotet ha mindre påverkan på miljö och hälsa än en producerad i det direkta närområdet, något som även Naturskyddsföreningen ofta påpekar när de svarar på om man bör köpa oekologiskt svenskt eller ekologiskt från andra länder.

Om man försöker använda *lokalt* som en utgångspunkt för jämförelse mellan olika byggnadsmaterial blir avstånd en av de viktigaste parametrarna man jämför, när det i själva verket är mer intressant att jämföra energiåtgång vid produktion, hälsorisker vid byggnation och brukstid, naturpåverkan vid utvinning, osv. Dessa parametrar mäter snarare hur *ekologiskt* ett material är och påverkas sällan direkt av var materialet är framställt. En intressant jämförelse mellan två material handlar alltså om hur ekologiska materialen är, snarare än hur lokala, även i fallet av en jämförelse mellan ett lokalt och ett icke-lokalt material.

Men hur spelar då *lokalt* in i det hela? *Lokalt* blir istället en utgångspunkt, ett urvalskriterium, som man har satt som förutsättning för de val man tänker göra. *Lokalt* tillåts vara något som i sig själv är bra, medan det man sedan jämför är hur ekologiska materialen är. Men är lokalt något som i sig själv är värt att sträva efter, istället för bara det ekologiska?

2.2 Varför bygga med lokala resurser?

Många av de negativa faktorer man lätt kopplar ihop med icke-lokala resurser är egentligen en fråga om ekologi. Det handlar till exempel om hur vi i Sverige under början av 2000-talet importerat allt mer tropiskt trä (Bartholdson, 2009, s. 17), trots att det är ett välkänt faktum att de tropiska skogarna hastigt försvinner. Att regnskogarna ligger på långt avstånd gör att man lätt ser det som en fråga om distans, men i själva verket spelar avståndet en mycket liten roll jämfört med de faktiska effekterna på det lokala ekosystemet där skogarna fälls. När de mätbara värdena jämförs är det alltså sällan närheten till materialet som gör det hållbart - skövlingen av regnskogarna hade varit precis lika ohållbar även om allt materialet hade använts lokalt.

Vinsterna med att använda lokala material kan innefatta ekologiska vinster, men i många fall handlar det främst om värden som är svåra att mäta. I vissa fall kan

det handla om hårda fakta, som exempelvis när man beräknar utsläppen av transporter, medan det i andra fall snarare närmar sig ideologiska åsikter, vilkas effekter kan vara svåra att bevisa. Målet med det här kapitlet är att genom följande tre punkter påvisa varför begreppet lokalt är något i sig självt positivt och därför ett urvalskriterium som bör övervägas redan i första stegen när man väljer material:

- * Kontroll över produktion
- * Byggherrens makt
- * Koppling till platsen

Dessa punkter går delvis in i varandra men summerar tillsammans flera viktiga aspekter av varför man bör överväga att arbeta med lokala material vid byggnation. I samtliga punkter finns även både mätbara parametrar liksom värden som kan vara svåra att definiera.

Kontroll över produktion

En klassisk definition av hållbar utveckling kommer från den så kallade Brundtland-rapporten och lyder enligt följande: *En hållbar utveckling tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov* (Wikipedia, *Vår gemensamma framtid*, 2013). Det är en väl formulerad definition som på många sätt kommer ganska nära sanningen för att vara så enkelt och kort. Dock har den en stor brist.

Det är utifrån Brundtland-definitionen väldigt lätt att få intrycket att hållbar utveckling innebär att vi kan leva som vi vill så länge vi ser till att lämna tillräckligt med resurser för våra barn och barnbarn. Sen ska vi även se till att städa upp så att de också får leva i en någorlunda ren värld med bevarade naturrikedomar och ekosystem. Så långt är allt fint och väl, men felet som många gör är att i "tillfredsställer dagens behov" bara räkna sina egna, sin stads, eller möjligen sitt lands behov.

I vårt globala samhälle ser vi idag mycket handel där stora företag från rika länder drar nytta av underutvecklade och fattiga länder för att producera stora kvantiteter av material och produkter som skeppas ut över hela världen. Detta kan tyckas gagna många människors ekonomi på de platser där produkterna slutligen säljs, men det är viktigt att komma ihåg att det alltid är någon som får betala fulla priset i slutändan. Som det engelska ordspråket går: *there is no such thing as a free meal...*

Sann hållbar utveckling kan inte baseras endast på larm om växthuseffekten, smältande polarisar, förstörda ozonlager, och utdöende djurarter, utan måste även innefatta social medmänsklighet och alla människors lika värde. Tyvärr har mediadebatten ofta vinklats för mycket just mot det första, vilket lämnar många med en känsla av att "det där med hållbarhet och miljö är fasligt överdrivet". Trots att det finns gott om studier som pekar mot stora sociala katastrofer vid ökad miljöpåverkan (se Daniel, 2013, m.fl.) så är det lätt att förtränga sådant som inte ger någon direkt känsla av att vara påverkad.

Men det finns en sida av [bristen på] hållbar utveckling som är mycket kännbar för en del av mänskligheten. Miljoner människor drabbas av sjukdomar, våld, svält och slaveri för att kunna "tillfredsställa dagens behov" i västvärlden. Ett klassiskt exempel ser vi i hur arbetare på bananplantage, i samma takt som bananerna, besprutas med farliga gifter (Svensk mat- och miljöinformation, 2009, m.fl.). Ett annat, ännu otäckare exempel ser vi i Afrika, där kampen om resurser leder till omfattande tortyr, mord och våldtäkt (Gad, 2013).

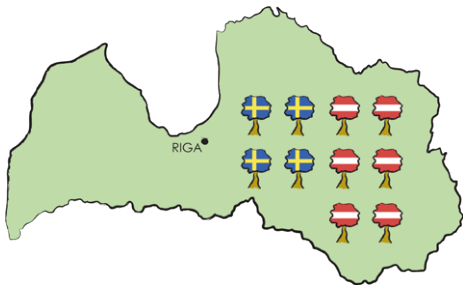




Det faktum att vi idag har två olika märkningssystem för varor som är bra för ekologin (*Ekologiskt*) och varor som tar social hänsyn (*Rättvisemärkt*) visar på ett tydligt sätt hur vi skiljer på två lika viktiga delar av hållbar utveckling. *Ekologiskt* blir lätt det man väljer för att inte "*äventyra kommande generationers möjligheter*" medan *Rättvisemärkt* är för att visa respekt för människans lika värde. Insikten att de två är tätt sammanlänkade är avgörande för att lyckas övertyga fler människor att tänka mer på konsekvenserna av deras handlingar.

Trots att fler och fler svenskar kanske engagerar sig och gör allt mer medvetna val av produkter finns det många brister. Till exempel är efterfrågan på ekologisk mat på uppgång i Europa (EU-kommisionen, 2007), men det framgår tydligt i bland annat många av SwedWatch rapporter att det både för märkta och omärkta produkter ofta brister i kontrollen. Att istället använda sig av lokala produkter återinför direktkontakten mellan råvaran och användaren, vilket kan säkerställa både miljövänlig och etisk produktion.

När det gäller byggnadsmaterial kan vi se exempel på hur material fraktas långa sträckor enbart på grund av vad som verkar vara en ekonomisk fördel. Men det är viktigt att komma ihåg att det inte bara är transportutsläppen som är negativa för miljön. Även i Sverige, ett land fullt av skog och sten, har vi i nyheterna kunnat läsa om till exempel hur sten till våra gator importeras från Kina, på bekostnad av fattiga arbetare som tvingas arbeta under väldigt svaga hälso- och säkerhetsomständigheter (Sveriges Radio, 2006).



Trots att Sveriges landyta består till ca 60 % av skog (Skogsstyrelsen, 2013) är importen av virke i vissa fall en ekologisk och moralisk katastrof. I en rapport från Världsnaturfonden år 2004 (Olsson, 2004) beskrivs Sverige som en av de största importörerna av virke från Baltikum och Ryssland. Bland annat anges att så mycket som 40 % av skogen som avverkas i Lettland fraktas till Sverige (s. 3). Det skapar en situation där svenska konsumenter till mycket hög grad bidrar till det ekologiska fotavtrycket i öst, ofta utan att vara medvetna om till hur hög grad. Samma rapport skrader inte orden när Sveriges skuld sätts i ord: "*Olagliga avverkningar är ett stort problem i skogarna på andra sidan Östersjön. Värdefull natur hotas, samtidigt som fattiga länder luras på miljardbelopp. Sverige är en av de största importörerna av virke från Ryssland och Baltikum. Därför kan vi inte blunda för problemet*" (s. 5).

Det svenska skogsbruket har visserligen också sina brister och har fått utstå en hel del tuff kritik (se t.ex. Naturskyddsföreningen, *Gäster kritiska till svenska skogsbruket*, 2013), men i slutändan är det mycket lättare att kontrollera att avverkningen gått korrekt till på hemmaplan. Dessutom, och kanske ännu viktigare, så förflyttar man konsekvenserna av ett felaktigt skogsbruk till de som är konsumenter, vilket i slutändan bör leda till ett ökat ansvarstagande. Genom att som byggherre använda sig av lokala resurser överför man ansvaret till sig själv och ger sig själv helt andra möjligheter att ha kontroll över hur ett material framställts. Det leder inte bara till att man kan säkerställa att materialet tagit hänsyn till miljö och ekologi, utan även att man visar social hänsyn och respekt för människor som annars lätt blir utnyttjade.

Byggherrens makt

Om man så ville skulle man kunna gräva ner sig djupt i hur material användas i svenska byggnader påverkar den globala miljön och utsatta människor. Men det är inte det enda syftet med det här arbetet, och inte heller den enda anledningen till varför man bör fundera över sina materialval. Även ett etiskt framställt material kan ha negativa aspekter, som dessutom är mer direkt kopplade till brukaren.

Efter energiaspekter är hälsoeffekter det som får mest uppmärksamhet i den offentliga debatten om byggnadsmaterial. När ekonomin blir det som styr används ofta massproducerade och kraftigt behandlade material. I väggarna till dagens hus kan man exempelvis ofta finna plaster och limmer som släpper ut giftiga gaser, material med cancerframkallande ämnen, och ibland asbest eller radioaktivt radon.

Medvetenheten har ökat markant under de senaste decennierna, vilket lett till att man idag har gjort sig av med många av de farligaste ämnena. Under den senare delen av 1900-talet myntades begrepp som *Sjuka hus* och *Sick Building Syndrome (SBS)*, där bland annat byggnadsmaterialens kemikalieinnehåll uppmärksammades. Symtomen vid SBS kan vara till exempel irritation i ögon, näsa och hals, torr hud och slemhinnor, hudutslag, och trötthet (Björk, 2000, s. 5), men även till exempel allergier härleds ibland till byggnader. Orsakerna till SBS kan vara många men en viktig faktor är ämnen som finns i ineluften och som avgetts från byggnaden. Dessa ämnen kommer främst in i kroppen genom inandning, där de antingen tas upp i lungorna eller följer med slem ner i mag- och tarmkanaler. Under 2000-talet har begreppen SBS och *Sjuka hus* mött en hel del kritik, vilket lett till att de inte längre används i samma omfattning (se t.ex. Carlson, 2006).

Att ett material är taget lokalt garanterar inte att det är fritt från farliga emissioner, ens om det anses väldigt "naturligt". Trä som är fuktigt kan bli orsak till att skadliga mikroorganismer får fäste och släpper ut ohälsosamma sporer (Björk, 2000, s. 22) och stenmaterial kan vara en källa till radon. Genom att välja lokala material kan man dock enklare hålla koll på vilka material och ämnen som man släpper igenom sina egna kontroller, istället för att förlita sig på att någon annan tar ansvaret. En något mer utförlig jämförelse av hälsoeffekterna från konventionella respektive lokala material görs i kapitel 3.3, *Hälsoeffekter*.

Att använda sig av lokala material ger tillbaka makten till byggherren på fler plan än hälsa. Genom att skapa en direkt kontakt med råvaran kan en medveten byggherre ta kontroll över materialens kvalitet, utseende och form, vilket kan innebära stora möjligheter för skapandet av ett unikt estetiskt uttryck. Dels kan de lokala materialen tack vare en "råhuggen" ytbehandling ofta få en speciell finish som är svår att härma. Det kan till exempel vara användandet av krokiga träddelar och vädersliten natursten eller återvunna fönster och tomflaskor.

Samtidigt innebär användandet av lokala material givetvis en kraftig begränsning av valmöjligheterna, vilket också kan påverka det slutliga utseendet negativt. Bortsett från det kan ändå ett lokalt urval ofta vara en bra utgångspunkt för att skapa en byggnad i harmoni med platsen, vilket argumenteras mer för i nästa avsnitt.

Inom många av byggnadsteknikerna där lokala material kan användas är det inte bara behandlingen av råmaterialet som är enkel. Även byggnadsteknikerna är i många fall relativt enkla och lämpar sig bra för händiga personer utan större utbildning eller erfarenhet. Ofta är de mer "förlåtande" när det gäller imperfektioner och innehåller många moment som går fort att lära sig. Däremot är hantverkarnas kompetens mycket viktig för att till exempel säkra lufttätheten i konstruktionen.

Nackdelen med metoderna kan ofta anses vara tidsaspekten. Många av teknikerna kompenserar billiga material och enkel konstruktion med högre arbetsbelastning och krav på långsiktig planering. Att fylla en trästomme med färdiga isoleringsskivor av glasull går snabbare än att stapla halmbalar och vill man bygga med trä från platsen behöver man fälla träd i god tid för att låta dem torka innan man kan använda dem.



Cobhusets organiska former kompletteras av de noga utvalda stockarna som ramar in entrén (Thomassen, 2007).

Att vända tiden till sin fördel är dock ofta något man tjänar mycket på i det långa loppet. Bostaden är en plats där de flesta spenderar den största delen av dygnet och förtjänar ordentlig planering och eftertänksamhet. I vissa byggnadstekniker kan man även engagera vänner och barn i tidskrävande moment, vilket inte bara minskar tiden utan även skapar starka band mellan byggnad och brukare.



Earthship av bland annat däck och aluminiumburkar i New Mexico (Prochnik, 2009). Viktigt att tänka på när man överväger den här typen av material är dock att de kan medföra skadliga utsläpp.

För att kunna konkurrera med moderna byggnadstekniker är det ändå viktigt att man även för lokala material undersöker metoder att påskynda delar av processen, för att minska onödiga kostnader och till exempel fuktproblem under byggnationen. Därför är det intressant att se efter vilka delar av en byggnad som bör byggas effektivt och vilka som kan tillåtas växa fram med tid.

Sist men inte minst kan användandet av lokala material också ge ett positivt avtryck på ekonomin för byggnaden. Genom att välja tekniker med enkla och obehandlade material, rivningsmaterial, skräp m.m. så kan man i många fall hålla materialkostnaderna mycket låga. Många av de lokala materialen har just den fördelen att de kan finnas att tillgå direkt på eller i anslutning till tomten man vill bygga på och blir därför väldigt billiga, om inte gratis. Till exempel kan det på en obebyggd tomt ofta finnas träd man behöver ta bort, och vid grävning av grunden kan man stöta på både sten och lämplig lera.

Det finns även många andra exempel på där man bygger med sådant som vanligen anses vara skräp, till exempel så kallade Earthships som är byggda av bland annat gamla bildäck och tomma glasflaskor. Visserligen kan de ekonomiska vinsterna i många fall ske på bekostnad av tid och arbete, men det är just så byggherren själv får möjlighet att gå in och styra över projektet även med en smal budget.

Koppling till platsen

I inledningscitatet för detta arbete citeras Christopher Day som i sin bok *Places of the Soul* skriver om hur vi idag bygger byggnader som "don't belong anywhere" (Day, 1990, s. 13). Hem som inte hör hemma någonstans. Hem utan ett hem...

Det finns visserligen all anledning att diskutera om Days kritik mot global design, bilar och artificiellt inomhusklimat alltid är relevant, men det ligger ändå något i hans slutsats om att vi allt mer bygger hus som inte "hör hemma". Det finns flera anledningar till varför hem byggda med lokala resurser kan skapa ett unikt band till platserna de står på, och även till de som bor däri.

Många av de värden som skapas genom att bygga med lokala resurser är svåra att mäta, eller rentav att sätta fingret på vad de över huvud taget beror av. Flera författare som skriver om att använda lokala material pekar mot något slags "slutande av en cirkel", att låta våra byggnader bli en naturlig del av det ekosystem och kretslopp som finns runt omkring oss.

Dominic Bradbury, journalist och arkitekturskribent, uttrycker detta i sin bok *New Natural Home* genom att se på en ladugård: "A barn is one of the most beautiful and practical of building types and seems intimately bound to the landscape that helped produce it in the first place" (Bradbury, 2011, s. 114). Detta "intima band" är svårt att definiera, men trots det ändå något som människan kan uppleva. Om ett sådant band skapas genom att bygga med de resurser som finns på platsen är en bra frågeställning när man studerar vacker arkitektur.



När man både utnyttjar de lokala resurserna och samtidigt tydligt knyter an till den lokala miljön kan spännande arkitektur uppstå (Gnatoush, 2012).

En del arkitekturskribenter tar ett steg till och pratar om att platsen har en själ, som vi när vi bygger antingen måste ta hänsyn till eller annars riskera att förstöra. Enligt Christopher Day är vackra platser undatagslöst underbyggda av vad han kallar "rightness in place". Platsens själ förstärks, enligt Day, genom att vi värderar den (Day, 2002, s. 113).

Författaren David Pearson skriver i boken *Earth to Spirit* ett kapitel om den lokala och traditionella arkitekturens vishet (*Vernacular Wisdom*), och berör där även användandet av lokala material. Genom att människorna som byggde förr var tvungna att förlita sig på lokala resurser så hamnade byggnadernas färger och form i harmoni med deras omgivning (Pearson, 1994, s. 96).

Just den traditionella arkitekturen är något återkommande i mycket ekologiskt byggande idag, där äldre tekniker återupplivas och utvecklas. Som Pearson skriver var dåtidens människor tvungna att "arbeta med sitt klimat", utan dagens överflöd av energi (s. 95). Traditionella arkitektur är "*built to meet specific needs, accommodating the values, economies and ways of life of the cultures that produced them*" (May, 2010, s. 42). Det kan visserligen gälla även för mycket av dagens arkitektur, men risken är att man förlorar kopplingen till kulturen när byggnadsmaterialen inte längre har någon anknytning till platsen.

Att knyta bostäder till den lokala kulturen är värdefullt på många sätt. Genom att nyttja lokala material och byggnadsmetoder hjälper man till att bevara såväl materiella värden som immateriellt kulturarv. Enligt Christopher Day kan användandet av lokala material förstärka den lokala identiteten, genom att förankra byggnaderna i den lokala kulturen (Day, 2002, s. 78). Dessutom påpekar han att man stödjer det lokala samhället och skapar arbetsmöjligheter.

Det intima band som Bradbury talar om måste inte bara knytas mellan landskap och byggnad, utan även med den lokala kulturen, samhället, och inte minst de boende. Vilket bättre sätt att knyta ihop "bo" och "boende" än att engagera sig i sitt eget hem genom att omsorgsfullt välja byggnadsmaterial från det område man så starkt förknippar med sin egen identitet?

2.3 Vad är "lokalt"?

Det finns olika sätt att se på vad som är "lokalt" och hur man ska sätta en definition. Först är det lätt att tänka på en geografisk gräns, där "lokalt" blir definierat som avstånd från punkten där man bygger. Men ordet är även kulturellt betingat och ett material kan anses traditionellt och lokalt på grund av den historiska relationen till materialet, trots att den specifika platsen för bygget kanske har låg tillgång till materialet. Exempelvis är trä ett mycket traditionellt byggnadsmaterial i nästan samtliga delar av Sverige och därför kan det i viss mån betraktas som lokalt även då en specifik byggplats har dåligt med trä inom den närmaste geografiska radien.

Men även inom den geografiska definitionen av "lokalt" kan man se situationen på olika sätt. Det beror bland annat på att man kan välja att relatera ordet "lokalt" till i första hand platsen, dvs. ett tydligt definierat geografiskt område, eller till ett specifikt material. I det första alternativet kan "lokalt" vara till exempel "en mils radie kring byggplatsen". I detta fall ligger det svåra i att bestämma var gränsen ska gå; hur långt kan man sträcka sig och fortfarande hålla sig "lokalt"?

konsten att koppla
till platsens själ ...

Överst t.v.:

Timmerstuga byggd med lokal natursten och ekstockar, Nordamerika (Anoldent, 2007).

Överst t.h.:

Stora moskén i Djenné, en av världens största byggnader i adobe (Ceccaldi, 2008).

Mitten t.v.:

Strukturen till en *indlu*, en traditionell byggnad hos den sydafrikanska stammen Zulu. Den bärande delen skapas av långa, tunna grenar och täcks slutligen av torkt gräs (Cutts, 2007).

Mitten t.h.:

En kvinna från den sydamerikanska indianstammen Uru, sittandes framför de traditionella husen gjorda av vass. Uru-folket lever på flytande öar i vassrika sjöar (Fedekuki, 2005).

Nederst t.v.:

Stenhus bland bergen i Kappadokien, Turkiet (Inaglor, 2006).

Nederst t.h.:

Igloo på berget Denali i Nordamerika (MegaBuddy, 2009).



I det andra alternativet är gränsen lättare satt, men "lokalt" blir samtidigt väldigt olika beroende på material. Exempelvis är kalksten från Gotland betydligt mer lokalt än kalk från Portugal om man bygger i Göteborgsregionen, men samtidigt är kalk från Kinnekulle mer lokalt än kalk från Gotland. "Lokalt" blir därför snarast definierat som "så nära som möjligt", snarare än en viss gräns, och avståndet från bygget till resursen kan vara väldigt olika från material till material.

Det här arbetet syftar till att visa på hur man kan bygga med det som finns runt omkring oss, det som finns på platsen. Därför är det andra alternativet till definition av "lokalt" mindre intressant, eftersom det i praktiken skulle öppna upp för material som finns på väldigt långa avstånd från platsen, både geografiskt och kulturellt. Istället används i det här arbetet det första sättet, där "lokalt" definieras som ett definierat område kring platsen. Eftersom tanken är att de lokala materialen ska öka kunskapen om materialens ursprung och ekologiska/sociala fotavtryck blir närheten till materialen nödvändig. De kulturellt lokala materialen är ofta bland de första man bör titta efter, men geografiskt lokalt är i det här fallet kanske en mer användbar definition eftersom även material som anses icke-traditionella kan erbjuda intressanta möjligheter idag.

Att bestämma vilken gräns som ska användas är inte lika enkelt. Det finns många olika åsikter om hur man bör definiera "lokalt", men ingen generellt godtagbar standard. Det amerikanska jordbruksdepartementet skriver i en rapport 2010 (Martinez, 2010) om lokal matproduktion och (bristen på) definitioner av "lokalt". I rapporten har de funnit definitioner på till exempel 100 miles (ca 160 km) och 400 miles (ca 640 km), men konstaterar även att åsikterna är ganska spridda.

Utifrån platsen som används för konceptet beskrivet i kapitel 4 sätts gränsen för "lokala" resurser i det här arbetet till Storgöteborg. Det innebär ungefär en cirkel med Göteborg centrum i origo och en radie på ca 3 mil. Gränsen är medvetet satt jämförelsevis väldigt kort men skulle för mindre projekt med fördel sättas ännu kortare, inte minst i en icke-urban kontext.

Det starkaste argumentet för att sätta gränsen kort är inte nödvändigtvis att det ökar möjligheterna till inblick i produktionen. I dagens samhälle är det mycket enkelt att förflytta sig betydligt längre än 3 mil under en dag. Istället är det, som berörs i kapitel 2.2, förflyttandet av konsekvenserna av en eventuellt felaktig framställning som verkligen kan göra en skillnad. Då behöver gränsen sättas nära nog för att det ska märkas i människors vardag och fritid. Nödvändigheten att ibland låta gränsen vara lite flexibel diskuteras dock vidare i kapitel 6.

En komplikation som kan uppstå även för lokalt producerade material är att förädlingen till färdig byggnadskomponent ibland sker utanför den lokala gränsen. Risken som då uppstår är att man tappar kontrollen över insynen samt att transportenergin avsevärt ökar. Inom matindustrin finns goda exempel som illustrerar problemet. I SvD Näringsliv kan man i en artikel läsa om *Räkans långa resa* (Dunér, 2011), där det berättas om hur svenska räkor handskalas ända nere i Marocko innan de fraktas tillbaka till de svenska butikerna. Problemet som främst lyfts upp är transportutsläppen och risken för bristande hygien vid hanteringen.

Anledningen till transporterna är förstås de låga arbetslönerna som håller räknerna nere. Men vad som lätt glöms är att man förutom de miljömässiga nackdelarna plötsligt som konsument får svårt att kontrollera att de etiska förhållandena i skalfabriken är goda. För att den geografiska definitionen av lokalt ska bli relevant är det därför viktigt att även bearbetningen sker lokalt, eller åtminstone mycket



Exempel på material att leta efter lokalt:

Trämateriäl:

Massivt

Spån

Cellulosa/Fibrer

Sten

Halm

Lera

Ull

Lin

Hampa

Torv

Näver

Sand

Vass

Ålgräs

Mossa

Drivved

Snö

Rivningsmaterial:

Fönster

Dörrar

Plåt

Tegel

Skräp:

Tomflaskor

Bildäck

Textilier

Tidningspapper

etc...

Ko-/Hästgödsel

Snäckskal

nära området. Annars öppnar man för diskussioner om det inte vore ännu bättre att använda material som var framställda närmare orten där de bearbetas, och så har man tappat lokaliteten totalt. I detta arbete ingår därför att materialen bearbetats lokalt för att fullt ut ingå i kategorin "lokala material".

2.4 Materialanalys

När man arbetar med lokala material är platsen utgångspunkten och det som sätter spelreglerna. Därför blir även ett fiktivt projekt helt irrelevant om det inte är knutet till en verklig plats, med både dess resurser och utmaningar. Byggnadselementen presenterade i kapitel 5 är därför utformade för ett byggnadskoncept som i kapitel 4 anpassas efter en verklig plats i Högsbotorp, rivningstomten efter Högsboskolan. I den här följande materialanalysen är det lokala området till stor del specifikt centrerat kring denna plats, för att öka tydligheten i hur och var lokala material kan hittas. För en bättre förståelse för platsens karaktär i nedanstående analys hänvisas därför till kapitel 4.

Vad kan man egentligen bygga med? Den optimistiske kanske svarar med en motfråga: "Vad kan man inte bygga med?". I viss mån kanske den frågan faktiskt hade varit enklare att svara på. För en kreativ byggare är det ofta bara fantasin som sätter gränser och förvånadsvärt mycket skulle kunna hitta sin plats i ett hus.

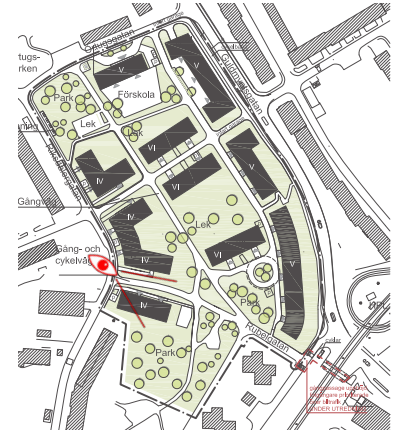
När det gäller naturens resurser är mycket redan testat och använt i traditionell arkitektur, men även tillverkade saker som vi kanske inte först associerar till byggnader kan ibland ha överraskande effekter som byggnadsmaterial. Som inspiration kan man till exempel studera tidigare nämnda *Earthships*, som bland annat använder sig av bildäck och tomglas (*Earthship Biotechnology*, 2013), eller det konstnärliga taket *Penumbra* i New York, skapat av gamla trasiga paraplyer (Bahamón, 2008, ss. 292-297).

I det här avsnittet analyseras det lokala området definierat i kapitel 2.3 utifrån vilka lokala material som kan finnas tillgängliga för byggnadskonstruktion. Analysen gör inte anspråk på att gå igenom samtliga tänkbara lokala material men tar upp de som är vanligast förekommande inom byggnation med lokala material. De material som beskrivs i analysen är sedan de som utgör grunden för materialval i kapitel 3 och 5, där även materialens egenskaper och tekniska värden kommer in i bilden.

Trä

Mer än hälften av Sveriges landyta är skog och uppdelat på befolkningen skulle varje svensk ha ca 2,5 hektar skog, vilket motsvarar ca 3,5 fotbollsplaner. Detta gör Sverige till ett av världens skogsrikaste länder (Skogsstyrelsen, 2013). För större behov av trä finns, liksom i de flesta delar av Sverige, gott om skogsmarker i den lokala zonen kring Högsbotorp. För att säkerställa lokalt ursprung och etisk skogsavverkning kan man se över om det inom byggprojektet finns lokala kontakter som är skogsägare, alternativt direkt kontakta ett lokalt sågverk eller lokala markägare.

Inom det för kapitel 4 aktuella planområdet finns en hel del träd (se bild nästa sida), men det är önskvärt att försöka lämna så många som möjligt för att bevara den naturmiljö som karaktäriserar området. Det skulle dock behöva fällas en del vid byggnation, inte minst på tomten bredvid (se bild nästa sida), vilket skulle kunna användas i byggnaden.



En intilliggande tomt i Högsbotorp sedd från gångbanans övre del, i riktning ner mot Axel Dahlströms torg.

Halm

Det finns gott om lantbruk i det lokala området, dock generellt i utkanterna. Att det där förekommer halm råder inga tvivel om. Problemet ligger istället i att hitta tillräckliga mängder av lämplig sort, samt en bonde med rätt typ av halmbalspress för att kunna göra balar anpassade för byggnation. Halm som är lämpligt att bygga med bör vara beständigt mot fukt och röta. I det avseendet skiljer sig de olika södesslagen från varandra och råg är ofta det som anses att föredra som isolering. Eventuella svårigheter med att hitta tillräckliga mängder råg inom den lokala zonen är kanske en av de främsta anledningarna att diskutera hur hårt gränserna för vad som är lokalt bör dras (se kapitel 6, *Reflektioner*).

Bland halmbalspressarna finns både rundbalspress och fyrkantspres, där fyrkantspresarna dessutom skiljer sig i färdig balstorlek. Vanligast för byggnation med halmbalar är att man använder så kallade småbalar, på engelska kallade *two-string* eller *three-string bales* (Steen, 1994, s. 57). Det beror främst på att de oftast kan hanteras för hand, medan storbalar kräver lyftmaskiner.

På grund av ovanstående anledningar gäller det att ta kontakt med lokala bönder i god tid, för att säkerställa tillgången på rätt sorts balar. Har man svårt att hitta en lokal bonde med både lämplig halm och press kan ett alternativ vara att låna/hyra/köpa en press och pressa om lokal halm.

Lera

Som det framkommit i den geologiska undersökningen består marken i planområdet i första hand av berg med ett mer eller mindre tunnt jordlager ovanpå (se bild nästa sida). I rapporten framgår även att de lösa jordlagren generellt består av "sandig torrkorpelera" eller "lerig sand" under ett lager av muljord eller fyllnads-material (Göteborgs Stad, 2012, s. 10).

Oavsett om lera är lämplig för användande vid byggnation eller ej så rör det sig inom planområdet inte om några särskilt stora mängder. Det lokala området är



Rundbalar i Göteborgstrakten. En vanlig syn på fälten, men olämpliga att bygga med.



SGU's jordartskarta över planområdet, där rött = berg, orange = friktionsmaterial och ljus gul = lera (Göteborgs Stad Fastighetskontoret, 2012).



Några av björkarna i området, strax nedanför tomten. Platsen passeras av mycket människor vilket gör dessa björkar olämpliga att ta näver av.

däremot känt för att innehålla mycket lera, så det bör inte vara några problem att hitta lämplig lera i större mängder vid till exempel en annan byggplats i området. Även här gäller givetvis noggrann planering för att hitta en plats som ska transportera bort lera vid lämplig tidpunkt.

Vass

I dagsläget använder många professionella vasstaksläggare vass från större odlingsområden, där de har koll på kvaliteten (se t.ex. Vasstaksgruppen, 2013). Historiskt sett har dock vass till tak givetvis tagits från närområdet, så möjligheten finns även idag. Att tänka på är att vass vid strandkanter omfattas av strandskyddet (Naturvårdsverket, *Strandskydd*, 2013) och därför kräver tillstånd för att få kapa. Ett lämpligt tillvägagångssätt är därför att utnyttja områden där vass ska röjas för att öppna vattenområden (se t.ex. Lundgren, 2013). Ett sådant tillvägagångssätt kräver en hel del arbete och lämpar sig sannolikt främst för mindre taktytor.

Näver

Inom planområdet står ett antal björkar, men inte tillräckligt för att förse ett tak med taknäver. Dessutom skulle den visuella konsekvensen av ett tilltag mot björkarna vara olämplig i den här typen av parkmiljö.



I likhet med vass så används ofta importerat material för nya takläggningar idag, men även här går det att få tag på näver lokalt. Liksom för trä kan man börja med att se över om det finns kontakter med skogsbestånd, alternativt kontakta lokala markägare och fråga om de har björkbestånd som antingen ska fällas eller som man varsamt skulle kunna få ta bark från.

Ålgräs

Ålgräs är en slags alg som växer i havet och som historiskt använts som takmaterial, likt vasstak. En undersökning genomförd av Miljöförvaltningen i Göteborg visar att

det utanför Göteborgs kust finns mycket gott om ålgräs. Dock skriver de även att "ålgräsängar är hotade miljöer som minskar globalt och i Sverige" samt att det för de största områdena med ålgräs planeras kommunala naturreservat (Göteborgs Stad Miljöförvaltningen, 2010). Av den anledningen kommer ålgrästak inte behandlas som ett lokalt alternativ i det här arbetet.

Ull

Det finns åtminstone fyra gårdar i utkanterna av Göteborg som har får och säljer diverse produkter. De breder ut sig från Vallda-Sandö i söder (Lindholmen Gård) till Kode i norr (Årsnäs Sörgård) med två gårdar i öster (Lammet och Bonden i Stan-num, samt Lexby Gård i Partille). Utöver dessa finns givetvis också flera fårägare med varierande storlek och ambitioner. I många fall betraktas även ullen som rest-produkt och används inte (Isolen, 2013). Det är få företag i Sverige som tar till vara på denna resurs och därför kan det trots tillgång på ull vara svårt att hitta maskiner som kan behandla råmaterialet till lämplig isolering.

Hampa & lin

Roger Olofsson, hampaodlare och verksamhetsledare i den ekonomiska föreningen *Hampaprodukter Sverige*, uppger i mailkontakt (24 okt 2013) att han tror att de odlingar som finns i Grästorps ligger närmast Göteborg. Grästorp ligger i Västra Götaland, men ändå klart utanför området definierat i kapitel 2.3. Vidare nämner han att de odlingar som finns där i dagsläget borde räcka till runt tre villor. Det innebär att det för ett flerbostadshus som i kapitel 5 endast skulle räcka till vissa delar av isoleringen. Så även om en lokal odling skulle finnas är det inte sannolikt att den skulle kunna förse ett större bygge med enbart lokalt framodlad hampa.

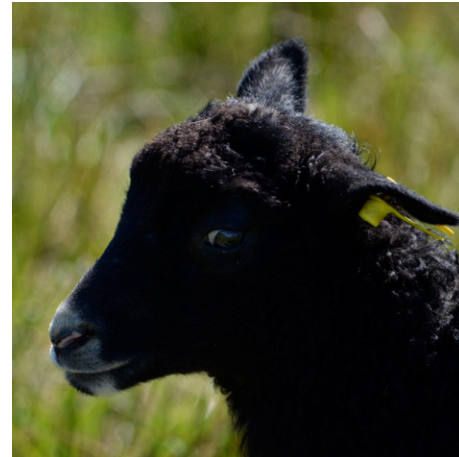
Lin är likt hampa i avseendet att det inte är lika vanligt förekommande och ofta odlas i annat syfte än att skapa isoleringsmaterial. Därför kan samma förhållanden anses gälla lin, dvs. att det sannolikt inte finns tillräckligt riklig mängd för att förse en större byggnad med enbart lokalt producerat isoleringsmaterial.

Torv

På grund av förekomsten av lämpligare isoleringsmaterial, till exempel halm, är torv inte aktuellt för isolering av väggar e.dyl. Skulle torv vara intressant för till exempel ett torvtak så bryts det enligt uppgift från en säljare på Neova Torv (telefonsamtal 23 okt 2013) torv i Landvetter. Syftet med den brytningen är dock endast att få bort den, inte att använda den. Det framgick inte om torven skulle vara lämplig för ett torvtak, men om så är fallet skulle det troligtvis vara en bra möjlighet för mycket billig torv.

Sten

Den kanske allra största resursen inom själva planområdet är sten. Efter tidigare rivningsarbete m.m. låg det lös sten av många storlekar och former utspritt över hela området. Bilden på nästa sida visar exempel på hur det såg ut under hösten 2013 på stora delar av området. Den mesta stenen låg utspridd som utfyllnadsmaterial. Skulle man därför inte vilja utnyttja den till byggnation så kommer det tillkomma mycket mer sten vid de sprängningar som kommer behöva genomföras inför byggnation av gemensamt parkeringsgarage (Göteborgs Stad, *Planbeskrivning*, 2013, s. 10), samt vid grundarbeten för husbyggnationer. Stenen är obearbetad och ofta "grov" i sina former, men tack vare mängden finns det gott om stenar som skulle lämpa sig för vissa typer av byggnation.



Ett ungt får på en av fårfarmarna i det lokala området.



Gott om sprängsten i området efter rivningen av Högsboskolan. Här utspridd som utfyllnadsmaterial.



Tegel

Det är viktigt att komma ihåg att en stor del av de lokala resurser vi har består i de byggnader som redan finns. Tegel är en resurs som ofta finns tillgänglig lokalt genom att den tas från byggnader som rivs i området. Högsboskolans stomme bestod till stor del av tegel och betong. Vid samtal med Kenneth Malmqvist (23 okt 2013), som ledde rivningen på uppdrag av Lokalförvaltningen, framgår att det mesta av teglet har krossats vid rivningen och spridits ut som utfyllnad över området (se bild nedan). En del har även transporterats bort och ytterligare en del kommer transporteras iväg när byggnationer startar på området.



Mycket av rivningsteglet från Högsboskolan utspritt som fyllningsmaterial. Det mesta hade generellt sett varit svårt att ta till vara på.



Enligt Malmqvist hade det inte varit värt mödan att ta till vara på teglet, eftersom det var murat med cementbruk och hade krävt oerhört mycket arbete att knacka rent från bruk. I viss mån kan även en del av rivningsmaterialen vara kontaminerade av asbest eller PCB, då byggnaden uppförts på 50-talet. Mindre mängder av teglet skulle kunna tas till vara för att skapa detaljer och återknyta till platsens historia, men för större mängder krävs det att man hittar ett lokalt rivningsprojekt där teglet murats med kalkbruk.

“Skräp”

Att återanvända material och objekt som redan tjänat sitt ursprungliga syfte kan ur miljösynpunkt vara ett mycket smart drag. Man kan nämligen hävda att materialen redan “amorterat” sin miljömässiga kostnad, och därför inte bidrar med nya miljöbelastningar i sin nya användning (Day, 2002, s. 81). Vilka material som kan återanvändas i byggnation är till stor del upp till byggarens kreativitet. I boken *Rematerial: From Waste to Architecture* (Bahamón, 2008) visas exempel på återanvändning av allt från träpallar, aluminiumplåtar och dörrar till tidningspapper, däck och bilfönster.

Vid rivningen av Högsboskolan fanns möjlighet att ta till vara på bland annat fönster, dörrar, dörrstängare m.m. Enligt Kenneth Malmqvist var fönstren från den här rivningen relativt fria från föroreningar som PCB, men av dålig standard ur energisynpunkt. De hade därför inte lämpat sig för nyproducerade bostadshus, men skulle eventuellt kunna användas för till exempel växthus eller liknande.

Några övriga exempel på skräp skulle kunna samlas, på lite mindre konventionellt vis, av exempelvis de som ska bo i huset är tomflaskor, tidningspapper, och gamla textilier. Det senare kan även finnas vid second hand-butiker som slänger stora mängder trasiga kläder de får insamlat.

Metall

I rivningsarbetet av Högsboskolan förekom inga större mängder av metall. Bland annat var taket gjort enbart i papp och de metallplåtar som förekom var i första hand kopparplåtar eller grönmålade plåtar som skyddade exempelvis kanter och hörn på taken. Metallplåtar i gott skick betingar som regel ett bättre pris än många andra rivningsmaterial. Därför kan det enklaste sättet att få tag på lokal rivningsmetall vara att leta bland annonser eller återvinningsstationer som Återbruket och hoppas på fynd. Återbruket kan även vara en bra plats att leta efter många andra återanvändningsbara delar såsom fönster, dörrar, toalettstolar, etc.

Gödsel

Gödsel från både ko och häst finns på de flesta håll inom området, främst när man kommer strax utanför de mest centrala delarna. På relativt nära håll finns stall i Frölundaområdet och närheten till Älvsborgsbron ger även god kontakt med de mer lantliga delarna i norra Hisingen. Gödsel kan användas som bland annat fibrer i en lerputs.

Sand

Det finns flera lokala grus- och sandtag i Göteborgsområdet, några nedlagda men andra fortfarande i bruk. Det är därför inga problem att få tag på lokalt bruten sand och grus.



Skräp kan ibland finna en plats i en byggnad, exempelvis några tomma glasflaskor som vackert ljusinsläpp.



Från en ko i Välen, Göteborg. Om än sällan använt i dagens moderna samhällen så är kospillning en i många kulturer traditionell ingrediens i byggnader, tack vare fiberinnehållet.



Mossor kommer i många varianter, så det gäller att bekanta sig med de vanligaste. I detta fall syns en björnmossa som sällan används till hustätning, men väl till diverse slöjdarbeten m.m.

Mossa

Mossa är ett material som inte används i särskilt stor skala och som främst är relevant för vissa byggnadstekniker. De typer som oftast används är så kallad husmossa (*Hylacomium splendens*) och väggmossa (*Pleurozium schreberi*). Lång hållbarhet har även gräshakmossa (*Rhytidiadelphus squarrosus*) som kan behålla sina funktionella egenskaper upp emot 300 år i en timmervägg (Berge, 2001, s. 297).

De små skogspartierna inom planområdet innehåller mindre mängder mossa, men bör sparas då de är så pass små ytor. Skulle det bli aktuellt att använda mossa så är det ändå enkelt att tillgå så länge man hittar skogsmark där man kan få tillstånd att plocka mossan.

Musselskal

Det finns odlingar av blåmussla strax ovanför Göteborg, vilka skulle kunna betraktas som inom den lokala zonen. Dock är skalan förhållandevis liten och Anders Granhed, representant för företaget Scanfjord, meddelar i mailkonversation (15 feb 2014) att de enbart säljer musslor i skal. Scanfjord är den största producenten av musslor i Sverige och även de mindre företag som finns verkar enbart hantera hela musslor.

Odd Lindahl, marinbiolog vid Kungliga vetenskapsakademien berättar däremot (mail 18 feb 2014) om ett projekt där musslor odlas för musselmjöl. Vid den produktionen bildas torkade musselskal som restprodukt. Vid tillfället finns bara en pilotproduktion som har ett fåtal ton musselskal stående, men vid en eventuell ökning av produktionen skulle det i framtiden bildas mycket musselskal. Dessa skulle Odd gärna se kom till användning, som exempelvis isolering. I egenskap av restprodukt lär priset inte heller bli särskilt högt.

Vid svårighet att hitta tillräckliga mängder skal i Göteborgsregionen tipsar Anders om producenter i Danmark och Tyskland som även säljer skal.



Odlingen av musslor skapar inte bara användbara musselskal utan är även bra för miljön. Musslorna hjälper bland annat till att minska effekterna av övergödning (Lindahl, 2013).



3. DET LOKALA ALTERNATIVET

3.1 Jämförelse i tre kategorier

Att jämföra en konventionell byggnad mot ett lokalt alternativ är ett viktigt steg i utvärderingen av hur lokala material påverkar byggnaden. Men en fullständig jämförelse blir snabbt väldigt invecklad om man vill försöka ta hänsyn till samtliga aspekter och sett över hela byggnadens livtid finns det många olika faktorer som kan inverka på resultatet. För en helt rättvis analys krävs en djupdykning i detaljer och en livscykelanalys (LCA) som räknar in effekter av tidens gång: underhåll, reparationer, driftkostnader, etc. Vill man ha jämförelsen ännu mer rättvis bör också mjukare parametrar tas med, som till exempel materialens estetik och effekt på de boendes välbefinnande, något som inte alltid är lätt att sätta i siffror.

För att ändå utforska några av effekterna med att använda lokala alternativ kommer detta kapitel ägnas åt några förenklade jämförelser. De kommer att gå under kategorierna *Miljöpåverkan vid produktion*, *Hälsoeffekter* och *Jordens resurser*. Att exempelvis miljöpåverkan vid drift inte tas med här beror på att det i hög grad hänger på materialens sammansättning och mängd, snarare än exakt vilket material som används. Möjligheterna att skapa en byggnad med låg miljöpåverkan i driftskedet tas dock upp i kapitel 5,3, *Energi & fukt*.

Miljöpåverkan vid produktion

När ett material utvinns krävs det energi. Den energin kan tillföras på olika sätt, genom till exempel direkt förbränning av fossila bränslen eller elenergi från vindkraftverk, etc. När man sedan vill jämföra olika materials miljöpåverkan vid produktionen kan man bland annat mäta den inbäddade energin eller räkna ut hur stort bidrag till växthuseffekten produktionen motsvarar. Det senare mäts ofta i så kallade koldioxidekvivalenter, CO₂e, vilket kommer användas i denna jämförelse.

Värdena för CO₂e är hämtade från ett excelprogram hämtat från *TräGuiden* (traguiden.se) under rubriken *Carbon Calculator*. TräGuiden drivs av organisationen Svenskt Trä och programmet har utvecklats av ECCM, *The Edinburgh Centre for Carbon Management*. Programmet har i första hand valts för att det innehåller värden på de flesta av de aktuella materialen, vilket gör att värdena enkelt kan vägas mot varandra. Programmets eventuella svagheter och brister diskuteras kort senare i kapitlet.

Hälsoeffekter

De material man bygger in i en bostad kan påverka människors hälsa starkt, både under konstruktionen och under boendetiden. En del material avger farliga gaser och partiklar, även på lång sikt, medan andra innebär en hälsorisk vid kontakt, bearbetning eller inandning. Samtidigt kan andra material tvärtom ha positiva effekter på hälsan. Det här avsnittet pekar ut material som kan medföra risker eller fördelar av den här typen.

Jordens resurser

Många material som utvinns idag är ändliga resurser, där utvinningstakten vida överstiger reproduktionen av materialet. Om vi vill kunna ge framtida generationer samma möjligheter som oss är det viktigt att använda ändliga resurser mycket

T.v.: Den konventionella byggnaden byggs ofta av betongelement. Här ses prefabelementen lyftas på plats utanför Brf Cyklisten i Kvillebäcken.

sparsamt och genomtänkt. I andra fall är resursen förnyelsebar, men utvinns på ett sådant vis att det ändå drabbar naturen, människor och framtida generationer på ett negativt sätt. Material som på ett icke hållbart sätt påverkar jordens resurser eller utnyttjar resurser på bekostnad av andra människor tas upp i det här avsnittet.

3.2 Miljöpåverkan vid produktion

Den konventionella byggnaden

Det finns idag ett antal olika möjligheter för hur man bygger ett flerbostadshus. Även om den stora mängden uppförs på liknande vis och med samma typ av material kan det vara svårt att generalisera och peka ut vad den "typiska" byggnaden har för material i de olika beståndsdelarna. Exempelvis kan vi se hur det vinnande förslaget i markanvisningstävlingen för de första tomterna i Högsbotorp, *Wooden it be nice?*, har stomme och fasad till stor del i trä (se kapitel 4.2). Därför kommer det här avsnittet istället presentera ett representativt exempel, om än något förenklat och rationaliserat.

I Göteborgs lokalområde är Kvillebäcken ett av de mer omtalade områdena som är på väg upp. Attraktivt beläget och med goda lokala förutsättningar har Kvillebäcken nu börjat formas och många av de större arkitektkontoren är med och ritar. Området uppförs även på ett modernt och effektivt sätt, för att skapa fina lägenheter och ekonomisk lönsamhet. Därför har nybyggda Brf Cyklisten, ritat av Semrén & Månsson och uppfört av Veidekke, valts ut som referens för att representera det konventionella byggandet i dagens samhälle.

För att göra jämförelserna mer överskådliga undersöks endast en del av byggnaden, närmare bestämt en lägenhet med 1 RoK på 38,5 m². Samma lägenhet är belägen på de flesta av byggnadens våningar och för enkelhetens skull låts den i det här exemplet ligga på samtliga plan, ovanpå varandra. Brf Cyklisten har i sina olika delar mellan 5 och 8 våningar, varför antalet i detta exempel sätts till 5. Ettan är kvadratisk och omges i stort sett helt av andra lägenheter på tre av fyra sidor. Entrén ligger till gemensamt trapphus i norr, medan fasaden mot söder har ett fönster och en balkongdörr (se nästa sida). Måttangivelserna är i vissa fall något avrundade eller uppskattade.

De olika byggnadselementens beståndsdelar och material har bestämts efter samtal med Kent Haglund, projektledare på Veidekke (22 nov 2013). En förteckning över dessa återfinns i bilaga 8.2, *Byggnadsbeskrivningar*. Översiktligt kan dock redan här nämnas att byggnaden har en stomme i betong och en utfackningsvägg i stålreglar och mineralull. På följande uppslag presenteras en sammanställning över de olika mängderna av byggnadsmaterial och deras respektive koldioxidekvivalent, samt en slutlig siffra för den totala ekvivalenten för denna lägenhetsstapel.



Nybyggda Brf Cyklisten i Kvillebäcken tjänar som exempel för "den konventionella byggnaden" i följande avsnitt.

Innerväggar (x5)

Längd: 8,3 m

Höjd: 2,5 m

Tjocklek: 0,15 m

Total volym: 15,6 m³

Plan

Lägenhetsväggar (x5)

Längd: 18 m

Höjd: 2,5 m

Tjocklek: 0,25 m

Total volym: 56,3 m³

Fasadvägg

Längd: 6,9 m

Höjd: 13,7 m

Tjocklek: 0,35 m

Fönster: -25,6 m³

Total volym: 24,1 m³

Sektion

Tak

Bredd: 6,9 m

Djup: 6,65 m

Tjocklek: 0,6 m

Total volym: 27,5 m³

Bjälklag (x4)

Bredd: 6,9 m

Djup: 6,3 m

Tjocklek: 0,3 m

Total volym: 52,2 m³

Grund

Bredd: 6,9 m

Djup: 6,65 m

Tjocklek: 0,5 m

Total volym: 22,9 m³

Sammanställning: (Volymerna/areorna är avrundade till närmaste heltal.)

Material	m ³	C0 ₂ e (ton/m ³)*	C0 ₂ e (ton, totalt)
Armerad betong	145	0,569	82,5
Stålbalkar	2	12,819	25,6
Mineralull	43	0,044	1,9
Mineritskiva	1	värde saknas	-
	m ²	C0 ₂ e (ton/100m ²)*	
Gips	265	0,040	0,1
Takpapp	46	0,698**	0,3
Puts	95	0,428**	0,4

Totalt: - - **110,8**

* Siffrorna är hämtade från Carbon Calculator (Svenskt Trä) och inkluderar 12 % "waste factor".

** Värdet i Carbon Calculator anges i kg. Omräkningen till m² är baserad på en vikt av 5,5 kg/m² för takpapp (ICOPAL, 2011), resp. 18 kg/m² för fasadputs (XL Bygg, 2011).

Lokala alternativ

Liksom för konventionella byggnadsmetoder finns det oftast många olika alternativ för vilka lokala material och tekniker man kan bygga en byggnads olika delar med. Det här avsnittet avser inte försöka presentera dem alla, utan lägger istället fram ett lämpligt alternativ till de material som presenterats i avsnittet ovan. En förutsättning vid valet av material är att även bearbetningen kan ske lokalt.

I kapitel 5.1, *Material- och teknikval Högsbo*, presenteras sedan vilka material och metoder som föreslås för det byggnadsförslag som läggs fram senare i samma kapitel. Valen där kan då falla på såväl de tekniker som presenteras här som på de i föregående avsnitt, eller på ett tredje alternativ som bedöms bättre än både det konventionella och det lokala.

Grund

När man söker efter lokala material för grunden är beständighet mot fukt den kanske viktigaste aspekten. Sten framstår då snabbt som det kanske enda rimliga alternativet till betongen, tack vare kombinationen av goda fuktegenskaper och hög bärlastkapacitet. Lokalt hämtad natursten kan ofta vara sprängsten från grundarbete på platsen eller till exempel rester från en gammal struktur i sten.

Viktigt att tänka på med sten är att det är nödvändigt att den är just lokalt hämtad, eftersom transporter av det tunga materialet snabbt väger ner de miljömässiga fördelarna gentemot betong o.dyl. (Berge, 2001, s. 200).

Kallmurad natursten

Det finns olika tekniker för hur man bygger med sten, men generellt kan de indelas efter om de använder bruk eller ej (kallmurad). Det som i första hand påverkar vilken teknik som väljs är typ av sten och möjligheter att bearbeta den.

För kallmurade konstruktioner är det viktigt att stenarna har stor kontaktyta (Berge, 2001, s. 202) vilket förenklas avsevärt om man har välhuggna stenar. För större konstruktioner är det helt avgörande om man inte vill använda bruk.



Ruiner från ett hus med grund i natursten (Case, 2008).

Betong bär ca
20 - 70 MPa i
tryck (Burström,
2007, s. 261)

Konventionell cell-
plast har ett
lambda nedåt 0,035
(Bokalders, 2013)

För konstruktioner med bruk är generellt kalk- och cementbruk lämpligast. Det är viktigt att bruket kan motstå fukt, eftersom stenen i sig är väldigt resistent mot fukt (Berge, 2001, s. 202). Vill man bygga enbart med lokala material är lerbruk ett alternativ, men det är inte lämpat för grundarbeten eftersom det inte är tillräckligt beständigt mot fukt.

Granit kan bära 294 MPa i tryck (medelvärde, Burström, 2007, s. 519) men har en mycket hög värmeledningsförmåga på 3,5 W/mK (Berge, 2001, s. 305). Den höga vikten gör även att sten kan vara besvärligt att arbeta med för till exempel innerväggar, där den termiska lagringsförmågan annars skulle vara till fördel. Därför är sten generellt sett endast lämpat för grund eller ouppvärmade strukturer, utom där man absolut vill ha sten som ytskikt av estetiska skäl. Stengrunden kan byggas antingen som torpargrund, där isoleringen ligger i ett bottenbjälklag, eller som ram runt en platta som fylls med exempelvis musselskal och ett ytskikt av lera.

Det finns viss tillgång till musselskal i Göteborgsområdet, men för att det ska få en isolerande effekt krävs ett rejält lager. Lambdavärdet för musselskal ligger på 0,112 - 0,135 W/mK (Bokalders, 2013), men en fördel är att de är kapillärbrytande. Använder man istället torpargrund måste man vara noga med att förebygga fuktproblem under bjälklaget. Då tekniska värden för musslor är svåra att hitta används i det här exemplet en torpargrund med ett extra bjälklag.

Fasadväggar

I ett kallt klimat som Sverige blir den isolerande effekten hos materialen i yterväggarna av stor betydelse. I många ekobyggs-kretsar, såväl i Amerika som i delar av Europa, har tekniker baserade på lermaterial blivit populära, mycket tack vare låg kostnad och hög tillgång. Till dessa tekniker kan nämnas bland annat stampad jord, adobe och cob. I varmare klimat är dessa väldigt lämpliga tack vare den värmelagrande förmågan, men i Sverige har de svårt att uppfylla kraven för isolering och energieffektivitet.

Oavsett om jordteknikerna kan skapa energisnåla hus eller ej i nordiskt klimat så tvingas man idag kombinera dem med extra isolering för att uppnå energikraven. BBR skriver i kapitel 9 om energihushållning och ställer där krav på byggnadens genomsnittliga U-värde, som ska vara max 0,4 W/m²K (Boverket, 2011, s. 266). För en medelmåttig jordvägg innebär det dimensioner på över en meter tjocklek. Att istället lägga till isolering medför att teknikerna plötsligt blir ännu mer arbets- och resurskrävande. Därför är det bättre att se till material med bättre isolering och utnyttja lermaterialens värmelagringsförmåga för innerväggar eller strukturer som inte värms upp. Detta gäller även hybridmetoder mellan lera och trä, exempelvis kubbtekniken (se sidan 39).

Även tekniker som utnyttjar massivt trä har liknande problem, då de ofta kräver extra isolering. Jämfört med lera är dock isolervärdet betydligt bättre, 0,14 W/mK för furu (Burström, 2007, s. 386) mot 0,420 W/mK för adobe med hög andel fibrer (Berge, 2001, s. 305). Andra fördelar med moderna tekniker som korslaminerat trä är exempelvis att de möjliggör modulbyggen och en snabb byggprocess. Det finns även tekniker som inte använder lim och därmed kan ses som helt lokala resurser. En nackdel med dessa är att de kräver väldigt precist hantverk och tillgång till stora mängder välsgat trä.

Det finns ett antal material med mycket goda isoleringsegenskaper som kan hittas i det lokala området kring Göteborg. Bland dessa kan nämnas halm, ull, lin, torv, träfiber och spån. Går man lite utanför det närmaste området finns även tillgång på hampa. Det som skiljer de olika alternativen åt är främst processen som krävs för att förädla råvaran till behändig byggnadsisolering. Här sticker halm och spån ut som de klart enklaste. Hampa, träfiber och ull kan alla skapa mycket högpresterande och smidiga isolerskivor, lika mineralull. Men de kräver också speciella maskiner för att sönderdela och pressa fibrerna till användbara mattor. Ser man till priserna för de produkter som är på marknaden så har de svårt att konkurrera med halm.

Halmbalarna är mindre flexibla i storlek än träfiber etc, som kan tillverkas i många tjocklekar. Men eftersom isoleringsvärdena är mycket liknande, nedåt 0,045 W/mK för halmbalar (Bokalders, 2013) jämfört med 0,04 W/mK för träfiber och ull (Berge, 2001, s. 298), så krävs det i slutändan ändå nästan lika tjocka väggar för att uppnå samma isolervärde. Halm kan på grund av sina stora dimensioner vara problematiskt när tunna väggar vill uppnås, men vill man uppnå hög energistandard är det sällan ett enskilt mål.

Halmbalsväggar

Det finns några olika varianter för hur man bygger med halmbalar men i första hand kan de delas in i bärande och icke bärande balar. Vanligast är att man väljer en bärande trästomme, ofta byggd som ett ramverk, där halmen endast fungerar som isolering. Självbärande halmväggar förekommer främst i mindre projekt, men det finns undantag. Bland annat har den schweiziske arkitekten Werner Schmidt byggt självbärande halmväggar åtminstone tre våningar högt med själv av storbalar (Schmidt, 2013). För större byggen är det dock praktiskt att använda sig av bärande trästommar, inte minst för att det även möjliggör modulbyggande. Olika metoder för att bygga med halmbalsmoduler studeras närmare i kapitel 5.2 och 8.4.

I de flesta teknikerna staplas balarna omlott, som när man bygger med lego. Balarna kopplas sedan ihop med lagret under med hjälp av långa trädymlingar. De färdiga halmytorna putsas för det mesta, men kan även kläs in med skivmaterial. Tack vare de tättslutande ytskikten blir halmväggarna inte så brandfarliga som man först kan tro. Tvärtom har halmväggar vid tester visat sig stå sig bra mot konventionella väggar i trä (Magwood, 2000, s. 19).

Bjälklag

Till skillnad från de vertikala väggarna bär de horisontella bjälklagen oundvikligen både i drag och tryck. Bland de lokala alternativen blir då trä generellt sett det enda rimliga alternativet, eftersom lerkonstruktioner endast verkar bra i tryck. Till skillnad från ytterväggarna behöver bjälklagen egentligen inte värmeisoleras särskilt väl, utom för att hindra allt för stora temperaturskillnader mellan nedre och övre plan. Däremot behöver de fortfarande ljud- och brandisoleras.

Utrymmet mellan de bärande träbalkarna kan liksom väggarna fyllas med olika isoleringsmaterial. Halm är även här ett bra alternativ tack vare den låga kostnaden, men vill man använda spån är bjälklagen bättre än väggarna. Det beror på att spån har en tendens att sjunka ihop, vilket skapar köldbryggor i en yttervägg. I ett bjälklag kan det inte sjunka ihop lika mycket och med en bra koppling till klimatskalet bildas inte några köldbryggor.



Halmbalsbygge med bärande halm (Diamond Mountain, 2009).

Tak

Själva stommen till taket och den isolerande delen fungerar generellt som bjälklagen, med skillnaden att värmeisoleringen nu är väldigt viktig. Den största skillnaden är annars att taket måste kunna hantera regn och snö. I moderna byggnader är det nästan alltid en takpapp som utgör det fuktskyddande lagret, ofta i kombination med ett mer grovt första skydd som till exempel tegelpannor. Ska man hitta lokala alternativ får man istället leta bland de traditionella metoderna för takläggning.



En björk med sin karaktäristiska vita bark, kallad näver.

Björknäver är det material som i sin användning mest liknar dagens takpapp. Utan varken isolerande eller strukturella egenskaper låg den gömd under ett lager torv eller trästavar och hade som enda uppgift att hindra vatten från att läcka in. Som alternativ till torv- och vedtaken fanns även ett antal olika varianter av stråtak. De fungerar istället så att ett tjockt lager av vanligtvis halm, vass, ljung eller alger lades på taket. Dessa material har inte, likt nävern, möjlighet att transportera bort allt vatten, utan istället var det den rena tjockleken på taket som gjorde att vattnet inte kunde tränga igenom. Spåntak var den teknik som tog över i Sverige efter nävertaken (Hålla Hus, 2013). Metoden fungerar lite likt nävertaken, med överlappande träspån i minst tre lager. Spånen behöver underhållas med trätjära och ventileras väl underifrån (Blomberg & Linscot Arkitekter, 2001).

Samtliga tak har sina för- och nackdelar, men för ett flerbostadshus är stråtak generellt ett tveksamt alternativ. Dels kräver stråtak ganska omfattande underhåll. Generell översyn och reparation rekommenderas ungefär vart 5e till 7e år (Billet, 1979, s. 68), främst pånocken som är extra utsatt. Dessutom, som pekas ut i *Byggekologi* (Bokalders, 2004, s. 64) är stråtak ofta mycket brandfarliga och brandskyddsmedlen inte så miljöanpassade. Även spåntak kan anses brandfarliga, emedan torvtak tack vare sin fukthalt är brandsäkra.

Fördelarna med ett torvtak gentemot ett spåntak är främst att det är isolerande samt att det minskar vattenavrinningen från taket. Har man tillgång till lämpligt torv och ett björkbestånd att ta näver av kan det dessutom bli billigt. Den största svårigheten är att få tag på tillräckligt med lokal näver, och mycket av den kommersiella nävern är importerad från Ryssland och Baltikum. Behöver man köpa näver kan det istället bli ett ganska dyrt tak.

För ett flerbostadshus med låg taklutning är egentligen ingen av ovanstående metoder lämplig utan en skyddande takpapp eller platonmatta under, men för detta räkneexempel bortser vi från det och kollar närmare på torvtak.



Torvtak på timmerstuga (Holmstad, 2012).

Torvtak

Torvtak och vedtak är två liknande konstruktioner vars huvudsakliga uppgift är att hålla björknäver på plats på taket (Hålla Hus, 2013). Nävern är det fuktskyddande materialet och läggs i minst tre lager (Hålla Hus, 2013, m.fl.) med den vita sidan (björkens "utsida") nedåt. För att hålla nävern på plats läggs sedan antingen torv eller långa trästörar som binds ihop i nocken. Torven kan läggas på lite olika sätt men avslutas alltid med ett lager gräsbevuxen torv med växtligheten lagd utåt. På så vis får man ett grönt tak vars rötter även håller ihop torven från att sjunka ner mot takfoten.

Den faktiska isolerande effekten är svår att bestämma, eftersom den varierar beroende på fukthalten i torven. Däremot fungerar taket värmeutjämnande, eftersom det både tar tid att värma upp och kyla ner. Viktigt att tänka på är att ett

torvtak blir relativt tungt vid fuktigt tillstånd och att det är viktigt att utforma den bärande strukturen därefter. Vikten beror på jorddjup och fukthalt men kan uppgå till ca 100-300 kg/m² (Optigreen, 2013).

Lägenhetsskiljande väggar

Funktionen hos de lägenhetsskiljande väggarna i en byggnad kan variera men det huvudsakliga syftet som de alla har gemensamt är att fungera som avgränsning, för både syn, brand, ljud och lukt. De flesta materialen skyddar bra mot syn och lukt, så länge de byggs tätt, medan ljud- och brandegenskaperna kan variera. För att få en energieffektiv och högpresterande byggnad är dock de lägenhetsskiljande väggarna en bra möjlighet att integrera fler funktioner än avgränsning.

Eftersom innerväggarna inte behöver ha någon större värmeisolerande effekt är lermaterial här ett mycket bra alternativ. Den höga densiteten hos leran ger stor värmelagringsförmåga åt väggarna. Det innebär att när byggnaden väl är uppvärmd till en lagom temperatur så krävs det stor värmeförlust eller kylning för att ändra temperaturen. På så vis skapas ett behagligt inomhusklimat även då det finns risk för överhettning eller nedkylning. Dessutom reglerar leran fukthalten på ett liknande sätt, vilket gör att man minskar risken för alltför torr eller fuktig luft. Trä har inte fullt samma värmelagringsförmåga, men har också goda fuktegenskaper. Att använda sig av massivt trä i större mängder blir dock onödigt kostsamt om man inte använder sig av spillvirke. Mer specifikt isolerande material som hampa eller ull blir här degraderade till främst ljudisolering och utnyttjas bättre i ytterväggarna.

Det finns ett antal olika metoder att arbeta med jord för att skapa väggar. Bland de vanligaste bör nämnas stampad jord (även kallad pisé), adobe (lersten), superadobe (jordsäckar) och cob. Utöver dessa finns bland annat även hybridmetoder som kubb (se bild nästa sida) och knopp, vilka blandar lera med spillvirke. Kubbtekniken innebär att man "murar" huggna vedträn med bruk, där vedens fibrer går tvärs genom väggen. I knopp-tekniken använder man istället spillvirke från sågverk och murar då istället plankbitarna med fibrerna längs väggens riktning horisontellt. Kubbtekniken är relativt enkel och kan rätt använd skapa ett mycket unikt och vackert estetiskt uttryck. Ett problem är dock att veden riskerar att spricka mot bruket när materialen torkar. För en yttervägg är detta ett större problem, eftersom det riskerar att avsevärt öka värmeförlusterna. I en skiljevägg mellan två lägenheter innebär det inte samma problem, men kan medföra försämringar i väggens ljuddämpning.

För det här exemplet väljs adobetekniken, eftersom den med en relativt snabb och enkel metod kan tillverkas i hanterbara bitar på en annan plats, för att sedan flyttas till byggsplatsen. Det gör själva konstruktionsprocessen betydligt snabbare och minskar dessutom torktiden för den färdiga väggen. Metoden med jordsäckar liknar adobe, på så vis att man snabbt staplar färdiga byggnadsdelar. Dock kan denna metod generellt inte ses som helt lokal, eftersom säckarna är en väsentlig del i konstruktionen och svåra att få tag på med lokalt ursprung. Säckarna binds dessutom samman med ett par varv taggtråd, vilket inte heller alltid kan anses lokalt.

Adobe

Adobe kallas även på svenska för lersten och är en slags obränd mursten gjord av lera. Några av världens äldsta byggnader är byggda av adobe och man har i mellanöstern hittat exempel från 8000 år f.kr. (McHenry, 1984, s. 43). Lerstenen görs



Kupol byggd med "superadobe" (Alperovich, 2012).



Hus av adobe under konstruktion i Kirgizistan (Vmenkov, 2007).



"Öknens Manhattan" av adobe, Shibam, Yemen (Gao, 1999).

av oorganisk jord som i ideala förhållanden innehåller grov sand eller mindre sten, finare sand, silt och lera (McHenry, 1984, s. 48). Lerjorden blandas med vatten och i vissa fall med stabiliserande ämnen eller fibrer, t.ex. cement eller halm. Blandningen hålls i former och torkar sedan tills de är hårda nog att mura till väggar.

Tryckhållfastheten hos adobe ligger mellan 1,4 MPa och 4,8 MPa (McHenry, 1984, s. 79), att jämföra med betong som har en tryckhållfasthet på mellan 20 - 70 MPa för lite olika standardvarianter (Burström, 2007, s. 261). Adobe duger ändå väl även för bärande väggar, vilket till exempel demonstreras väl i staden Shibam, Yemen. Det mesta i staden är byggt i adobe och många av husen är mellan fem och nio våningar höga.

Innerväggar

De väggar som enbart skiljer de olika rummen inom samma lägenhet ställer inte samma krav som övriga väggar. De kan ofta byggas tunnare eftersom alla inte är bärande och dessutom inte har samma krav på ljuddämpning. Viktiga aspekter här blir istället hur de hanterar klimatet, deras estetik, samt hur praktiska de är för till exempel upphängning av hyllor, lampor, tavlor osv.

De termiska egenskaperna och estetiska möjligheterna hos kubb gör att det här blir en intressant lösning. Kontrasten mellan de olika materialen, träkubbarnas olika former, och möjligheten till udda inslag gör kubbtekniken till ett spännande verktyg i en kreativ hand. Om trä för exempelvis byggnadens stomme har tagits lokalt finns det även goda möjligheter att ta vara på det spill som blir för att skapa kubben, utan att behöva slösa gott virke.

Kubb

Kubbtekniken, på engelska kallat *cordwood*, innebär att man murar väggar med vedträn istället för tegel. Vedkubbarna sågas i den längd man vill att tjockleken på väggen ska vara, normalt mellan 30 - 60 cm för ytterväggar. De muras sedan med en eller två strängar bruk. Vid två strängar lägger man ett isolerande material mellan, ofta sågspån.



Vägg med kubb, glasflaskor och bruk under konstruktion (quite.fyre, 2012)

Bruket kan antingen vara en cob-liknande blandning (dvs. lera, sand och fibrer) eller ha en andel cement (Snell, 2009, s. 303). För en innervägg används kortare kubb och endast en sträng bruk, utan isolering. Den tunnare vägg tjockleken gör även att bruket torkar ut fortare, vilket är tacksamt under byggprocessen.

Förutsatt att infästningen är välgjord kan en kubbvägg även bära ganska mycket vikt. Bärningsförmågan beror i första hand på vilken typ av bruk som används och hur mycket. I Rob Roys bok *Cordwood Building* presenteras några tester som har genomförts på den typ av cementbruk som han rekommenderar för bärande kubbväggar. Värdena för de härdade testcylindrarna varierade mellan ungefär 5,5 och 8,3 MPa, beroende på sammansättningen i cylindern (Roy, 2013).

Isolervärdet på en kubbvägg är svårt att beräkna, eftersom väggen består av huvudsakligen tre komponenter med väldigt olika isoleringsegenskaper. De exakta proportionerna av dessa tre (trä, bruk och isolermaterial) kan skilja mycket mellan olika väggar och dessutom har olika typer av trä, bruk och isolermaterial olika värden. Att på förhand gissa sig till ett värde kräver därför noggranna uppskattningar om vilka material man använder och i vilken mängd.

Vid mätningar i University of Manitoba uppmättes 2005 ett R-värde (US) på 1,47/ inch (Hagman, 2013, m.fl.). Det motsvarar ett lambdavärde på ungefär 0,098 W/ mK, vilket för en vägg på 60 cm skulle ge ett U-värde på nedåt 0,16 W/m²K. Det finns dock anledning att tvivla på dessa värden. Gör man beräkningar för en kubb- vägg med Burströms värde på trä (Burström, 2007, s. 386) och Berges värde för spån (Berge, 2001, s. 282) kommer man i bästa fall ner i U-värden runt 0,4 W/m²K för 60 cm vägg (se bilaga 8.1, *Beräkningar*).

Svårigheten att beräkna isoleringsförmågan hos kubb tas upp i *Building Green* (Snell, 2009). På sidan 304 förs ett vettigt teoretiskt resonemang om var ett R-värde borde kunna hamna. Deras slutsatser landar i två värden, ett "högsta" och ett "lägsta", vilka motsvarar ungefär U-värden på 0,24 W/m²K och 0,35 W/m²K för 60 cm vägg*. För en knoppvägg är värdena bättre, eftersom träets fibrer ligger i rätt riktning. Oavsett teknik gör ändå isolervärdena att kubb och knopp lämpar sig allra bäst för innerväggar i ett kallt klimat.

Miljöpåverkan

För jämförelsen med Brf Cyklisten används samma byggnad som grund för det lokala alternativet, samtidigt som måtten i vissa fall justeras något för att passa den aktuella byggnadstekniken. Liksom för det konventionella alternativet presenteras en mer ingående förteckning över byggnadens olika beståndsdelar i kapitel 8.2. Beståndsdelarna är dock baserade på de ovan beskrivna teknikerna och sammanfattas nedan i sammanställningen för det lokala alternativets koldioxidekvivalent.

Sammanställning: (Volymerna/areorna är avrundade till närmaste heltal.)			
Material	m³	CO ₂ e (ton/m³)*	CO ₂ e (ton, totalt)
Trä	25	-0,422	-10,6
Halm	109	-1,613	-175,8
Sten	7	0,844**	5,9
Torv	5	värde saknas	-
Lersten	56	0,052***	29,4
	m²	CO ₂ e (ton/100m²)*	
Näver	200	värde saknas	-
Lerputs	834	0,076****	0,6
Totalt:	-	-	-150,5
* Siffrorna är hämtade från Carbon Calculator (Svenskt Trä) och inkluderar 12 % "waste factor".			
** Två olika värden finns angivna för "sten". Det högre används här.			
*** Värdet är taget från "rammed earth" och anges i ton. Omräkningen till m³ är baserad på en densitet på ca 2 ton/m³ (Minke, 2009, s. 21).			
**** Värdet avser "earth and straw plaster" och anges i kg. Omräkningen till m² är baserad på vikten av fasadputs i det andra exemplet, dubblerat till 36 kg/m², eftersom lerputsen i det här fallet antas behöva vara betydligt tjockare än fasadputsen i det konventionella fallet.			

Innerväggar (x5)

Längd: 8,3 m

Höjd: 2,5 m

Tjocklek: 0,15 m

Total volym: 15,6 m³

Lägenhetsväggar (x5)

Längd: 18 m

Höjd: 2,5 m

Tjocklek: 0,25 m

Total volym: 56,3 m³

Fasadvägg

Längd: 6,9 m

Höjd: 13,7 m

Tjocklek: 0,5 m

Fönster: -25,6 m³

Total volym: 34,5 m³

Tak

Bredd: 6,9 m

Djup: 6,65 m

Tjocklek: 0,6 m

Total volym: 27,5 m³

Bjälklag (x5)

Bredd: 6,9 m

Djup: 6,3 m

Tjocklek: 0,3 m

Total volym: 65,2 m³

Grund

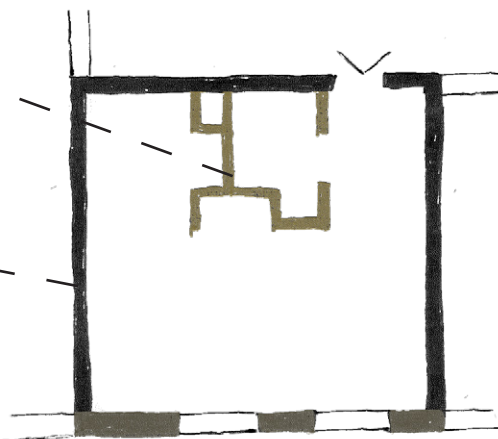
Längd: 27 m

Bredd: 0,5 m

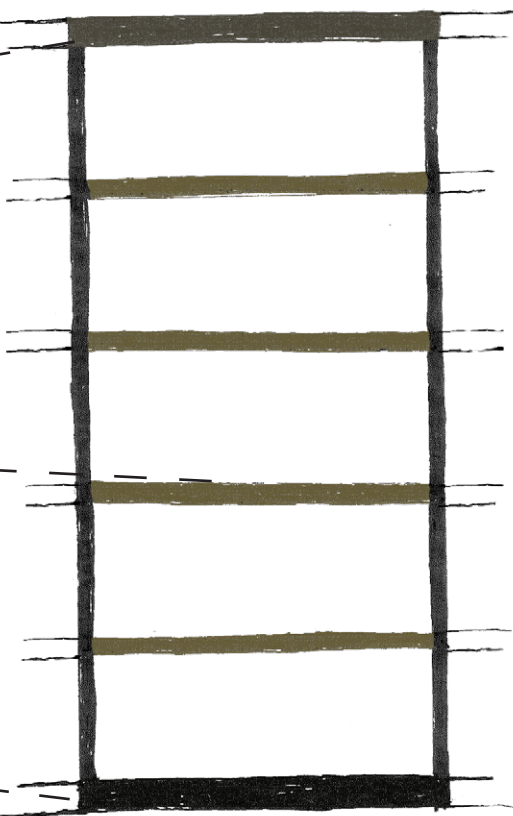
Tjocklek: 0,5 m

Total volym: 6,8 m³

Plan



Sektion



Slutsats

Att dra några fullständiga slutsatser från de totala koldioxidexvivalenterna i exemplen ovan är svårt, eftersom många faktorer saknas. Dels behöver man veta vilka parametrar som är inbakade i de värden som ECCM har angett i programmet Carbon Calculator, men dessutom behöver man för en rättvis bedömning även ta hänsyn till effekterna av konstruktionsmetoderna i form av maskinbehov, tid, m.m.

Skillnaden på värdena mellan det konventionella bygget och det med lokala material är dock ändå intressant. Byggnaden med lokala material uppnår ett *negativt* resultat (-150,5 ton CO₂e) större än det positiva för den konventionella (110,8 ton CO₂e). Detta beror på att Carbon Calculator räknar med att bland annat trä och halm lagrar koldioxid, vilket medför att de bidrar till ett kraftigt negativt värde, dvs. att de motverkar växthuseffekten. Vissa andra program väljer att inte räkna med lagringen som ett negativt bidrag utan nollställer istället de värdena. Med ett sådant resonemang uppnår det lokala alternativet ett värde på 35,9 ton CO₂e, vilket fortfarande bara utgör ungefär en tredjedel av det konventionella.

En anledning till att Carbon Calculator skapar en så skarp fördel åt trä ligger sannolikt i att programmet utvecklats åt Svenskt Trä, som givetvis har intresse av att visa trä i en god dager. Det märks även på att man inte räknar in betongens förmåga att återabsorbera en stor del av den utsläppta koldioxiden under sin livstid.

Det konventionella huset landar, främst genom den stora användningen av betong, på en koldioxidekvivalent på nästan 111 ton CO₂. För att få en uppfattning av hur mycket koldioxid det är så kan det enligt U.S. Environmental Protection Agency (EPA) motsvaras av exempelvis CO₂-utsläppen från 23 personbilar under ett år eller drygt 47000 liter bensin (U.S. EPA, 2013). Detta bör sannolikt minskas en del om man räknar in betongens upptagning av koldioxid, men den näst största andelen skapad av stålet står ändå fast.

3.3 Hälsoeffekter

Konventionellt byggande

Många av de allvarigaste hälsoriskerna kommer från mindre komponenter som inte tagits upp bland materialen i föregående avsnitt. Det kan handla om exempelvis limmer och fogmaterial som avger skadliga gaser och partiklar, såväl strax efter applikation som under den långsamma nedbrytningen av materialen under byggnadens brukstid (Berge, 2001, s. 277). Vanliga risker är att ämnena är allergi- eller cancerframkallande, eller att de irriterar luftvägar. Förekomsten och valen av dessa produkter kan givetvis variera och flera används även i byggnation med lokala material.

Ett material som är standard för konventionellt byggande är plastfolie, som används som lufttätning och/eller ångspärr. Dessa plaster innehåller ofta polyeten, vilket tros vara cancerframkallande (Berge, 2001, s. 148). Dock är de största riskerna sammankopplade med själva tillverkningen av materialet (s. 152).

Betong är som det till volymen största materialet i detta exempel relativt befriat från svåra hälsorisker. Det främsta ekologiska bekymret som lyfts fram gällande

konventionella:

+110,8

ton CO₂e

Lokala:

-150,5

ton CO₂e

betong är oftast den höga inbäddade energin. Under byggnationen kan betong skapa problem med damm och kan i vått tillstånd även skapa allergiska reaktioner vid hudkontakt (Berge, 2001, s. 99). Under själva bruksfasen är det främst vissa eventuella tillsatser som kan vara skadliga för inomhusklimatet (Berge, 2001, s. 195). Tidigare har även fibrer av asbest använts i betong, vilket är ett hälsoproblem i vissa äldre betongbyggnader.

Under byggnationen kan de små men vassa partiklarna i mineralull skapa en hälsoskadlig miljö. Symptomen handlar främst om hudirritation, ögonskador och irritation i luftvägarna (Berge, 2001, s. 269). Det kan undvikas till hög grad genom användning av tillbörlig skyddsutrustning, men även under byggnadens brukstid kan fibrer från mineralull komma ut i luften från exempelvis ljudisolering (Bakke, 1992). Skulle mineralullen bli utsatt för fukt finns även risk för utsläpp av oönskliga lukter och skadliga gaser (Gustafsson, 1990), samt för mögelbildning (Berge, 2001, s. 36).

Stålbalkarna som används i fasaden innebär ingen hälsofara under bruksperioden. Bearbetning under byggnationsfasen kan däremot medföra höga ljudnivåer som skapar en skadlig arbetsmiljö för arbetarna om de inte använder korrekt skyddsutrustning. Arbetet medför även risk för skadligt damm (Berge, 2001, s. 36).

Normala gipsskivor innebär inga större hälsorisker varken under byggnation eller bruksfas. Däremot finns exempel med tillsatser som skapat problem, bland annat glasfibrer som skapar skadligt damm.

Lokala material

Tack vare många naturliga, organiska, materials förmåga att buffra fukt använder man för många tekniker inte några plastmaterial eller liknande som ångspärr/lufttätande skikt. Det finns dock inget som säger att ett material automatiskt är bra för hälsan just för att det är naturligt och i vissa fall kan just de naturliga egenskaperna medföra nackdelar. Nedan följer några av riskerna som kan medfölja de material som använts i "det lokala alternativet".

För obehandlat trä är damm vid bearbetning den främsta risken. En byggnad som just är färdigställd kan även framkalla allergiska problem för personer som är överkänsliga mot starka dofter, även om många upplever doften av trä som något positivt. Har träet impregnerats eller limmats uppstår andra risker. Impregnerat trä innehöll tidigare bland annat arsenik och krom, vilket nu är förbjudet sedan 2007 (Ödling, 2013). Dock sitter givetvis en hel del sådant trä kvar i befintliga konstruktioner. Det finns idag metoder att värmebehandla träet istället, men en nackdel med metoden är att träet efter behandlingen avger ännu besvärligare dammpartiklar när det sågas.

Laminerat trä är ofta det vanligaste valet när det handlar om kraftigare dimensioner för bärande trästrukturer. Inte minst bygger de nya metoderna med korslaminerat trä på lim lika väl som på trä. Vanliga limmer för limträbalkar innehåller bland annat fenol och formaldehyd (Setra, 2007), som är cancerframkallande och giftiga för vattenorganismer (Berge, 2001, s. 148). Det är främst under tillverkningsprocessen som hälsoriskerna är som störst, men vissa utsläpp av formaldehyd sker även under brukstiden (Setra, 2007).

Bearbetning av natursten skapar mycket damm och riskerar på lång sikt att ge en utsatt arbetare stendammslunga om inte tillbörlig skyddsutrustning används. I den färdiga byggnaden kan radon bli ett problem, men kan undvikas genom att mäta radonhalten i stenen innan man bygger in den.

Halm, lera och torv innebär alla tre väldigt små hälsorisker både under byggnation och brukstid. Risk för damm är det enda som anges i Berges tabeller över föroreningar från material (Berge, 2001, ss. 36-40). Skulle halmen utsättas för allt för mycket fukt finns det även en risk för mögel och förruttnelse, vilket både sprider mögelsporer och obehaglig lukt i luften.

Lera är till skillnad från cement ofarligt att arbeta med även utan skyddskläder och bidrar främst med positiva hälsoeffekter under brukstiden tack vare regleringen av inomhusklimatet (Minke, 2009, ss. 15-17, m.fl.). Torv kan skapa mycket damm om man använder det som lös isolering (Bokalders, 2004, s. 59) men inte i samma skala som taktäckare.

Slutsats

Såväl konventionella som lokala material är i sin grundform relativt befriade från hälsoskadliga ämnen och i båda fallen är ofta mindre komponenter som limmer och färger det som kan vara värst. Tillsatser kan dock göra betong och gips hälsoskadliga, men samma gäller exempelvis limmer för limträ och impregneringsmedel för rötskydd.

De lokala materialen skiljer sig från betong och mineralull genom att kräva mindre skyddsutrustning när man arbetar med dem. Vid jämförelse kan mineralull i en innervägg skapa risk för skadliga partiklar i luften medan en vägg i jordmaterial skapar ett mer hälsosamt inomhusklimat. En stor fördel med de naturliga material som används i lokala tekniker är även att de buffrar fukt på ett sätt som gör att man ofta kan undvika fossila material i en ångspärr.

3.4 Jordens resurser

De resurser vi har på jorden kan generellt delas in i förnyelsebara och icke-förnyelsebara. De icke-förnyelsebara resurserna är sådana som antingen inte förnyas alls, eller som förnyas mycket långsamt. Förnyelsebara resurser är till exempel trä eller halm, som med hjälp av fotosyntesen skapar nytt material så länge rätt förutsättningar råder.

Att ett material inte är förnyelsebart innebär inte automatiskt att det är omöjligt att använda utan att påverka framtida generationers möjligheter. En del icke-förnyelsebara material finns i så stora mängder att den mänskliga påverkan är i princip försumbar (exempelvis för många typer av sten). Andra material, som till exempel lera, är ofta enkelt att återföra till sin ursprungliga form när en byggnad rivs. En fördel med att använda sig av lokala material är att det ofta naturligt blir så att man använder sig av de material som det finns gott om, och som inte riskerar att ta slut inom en snar framtid. Framför allt är det också enklare att bedöma om eventuella icke-förnyelsebara resurser är i riskzonen eller ej när de tas lokalt. Viktigt att komma ihåg är att även förnyelsebara resurser kan ha kraftigt negativ påverkan på miljön, om de hanteras felaktigt.

Konventionellt byggande

Även om de direkta hälsoriskerna med plasten i bland annat ångspärrar inte behöver vara så stor, så är effekten på miljön mer påtaglig. Tillverkningen av polyeten är främst baserad på fossil olja, som både är en mycket sparsam råvara och förknippad med stora miljöutsläpp. I takt med att de bästa oljefyndigheterna tar slut börjar man leta efter olja i allt mer känsliga och svårtillgängliga miljöer. Bland annat har flera stora oljebolag börjat leta olja i Arktis, och Greenpeace, WWF, m.fl. riktar mycket hård kritik mot hanteringen. Till exempel pekas ut att ekosystemen är mycket känsliga för utsläpp och att utsläpp är i princip oundvikliga i den hårda och kalla miljön som Arktis erbjuder (Greenpeace, 2013, m.fl.). Dessutom medför processen från råvara till färdig produkt en hög energiåtgång jämfört med många andra material (Berge, 2001, s. 277).

I standardbetong används inte förnyelsebara material, men samtliga komponenter har stora reserver kvar (Berge, 2001, s. 20). Dock kan utvinningen av bland annat sand och kalk orsaka skador på naturområden, vilket exempelvis skapat stora debatter kring kalkbrytning i Bunge på Gotland (SVD, 2013, m.fl.). Ett annat problem med betong är att det är svårt att återanvända, vilket resulterar i att det mesta rivningsmaterialet används som utfyllnadsmaterial eller läggs på deponi. Dessutom gör användandet av betong att det ibland kan vara svårt att återvinna andra delar av en byggnad, exempelvis tegel i cementbruk.

De svenska tillgångarna på sand är ännu relativt goda, men på en global nivå har den höga konsumtionen av betong lett till att sand på många ställen blivit en bristvara. Detta har i sin tur medfört en stor illegal marknad och att sandstränder och havsbottnar förstörs världen över (Delestrac, 2013). Sand är en förnyelsebar resurs men regenererar mycket långsamt. När den används för betong blir den dessutom svår att återföra till sitt ursprungliga tillstånd.

Både för glasull och stenull används huvudsakligen resurser som det finns god tillgång på. Tillverkningen av glasull skapar inga större utsläpp och använder ofta återvunnet glas. För stenull skapas däremot stora mängder avfall som bland annat innehåller fenol, ammoniak och formaldehyd (Berge, 2001, s. 269).

Stål är ett tydligt exempel på där både råvarornas långsiktiga status och brytningens effekter kan diskuteras. Stål består till största delen av järn, en metall som det finns relativt gott om. Vissa av legeringarna använder däremot andra metaller med sämre prognoser, till exempel zink som används för galvanisering. Många metaller är också som mest förekommande i politiskt instabila regioner, vilket både leder till instabilitet kring metallens pris (Berge, 2001, s. 5), såväl som ökad osäkerhet i regionen (Gad, 2013, m.fl.). Den svenska brytningen av järn uppmärksammas bland annat genom den märkvärdiga flytten av Kiruna centrum, som en följd av gruvbrytningen i området.

Ett generellt problem med icke-lokala material har påpekats även i kapitel 1 och 2, nämligen hur man förflyttar konsekvenserna av en utvinning till människor på en annan plats. Exemplet från kalkbrytningen på Gotland ovan är ett utmärkt exempel på hur människor kan skapa ett enormt engagemang för en fråga när den drabbar dem själva och deras egen kultur och närmiljö. Avsaknaden av engagemang i liknande situationer i andra delar av världen tyder på en bristande kunskap i hur brytningen av olika material påverkar den lokala kontexten för de människor som bor där.

Lokala material

Den kanske allra största fördelen med lokala material är just att närheten till resursernas ursprung gör det betydligt enklare att kontrollera och avgöra hur brytningen av resursen påverkar miljön och samhället runtomkring. Möjligheten att kontrollera betyder dock givetvis inte att man alltid finner resultatet tillfredsställande, ens för material man tror är väl skötta.

I takt med att trä blir en allt mer intressant råvara för byggnadsindustrin, i jakten på förnyelsebara resurser, så blir frågan om skogsindustrin allt mer aktuell. Att regnskogar skövlas i allt för hård takt kommer nog inte som en nyhet för många, men även på lokal nivå i Sverige är det värt att fundera på hur träet är framställt.

På Världsnaturfondens hemsida om "Den svenska skogen" beskrivs rentav en ganska dystert situation, där en mycket liten andel av opåverkad urskog finns kvar. Detta har enligt WWF lett till att drygt 2000 av skogens arter finns med i Artdatabankens hotlistor idag (WWF, 2013). När man använder trä i sin byggnad är det därför viktigt att ta reda på hur träden avverkas om man vill säkerställa god hänsyn till miljön.

Användandet av halm är lite speciellt på grund av det faktum att halmen endast är en biprodukt av spannmålsodling. Därför skulle man kunna hävda att eventuella negativa effekter av odlingen belastar de spannmålsprodukter som skördas, snarare än den halm som sedan används för att bygga med. Det är inte heller en helt orättvis fördelning, eftersom man enkelt kan konstatera att den negativa inverkan på miljön skulle ske oavsett om byggnadsmaterialet tas tillvara eller ej. Däremot kan man hävda att man tar bort näringsämnen från jordbruksmarken, eftersom överskott av halm ofta vänds ner i marken för att förmultna. Men genom att bygga in det i en byggnad lagrar man den koldioxid som halmen tagit upp, och dessutom kan man i slutet av byggnadens liv återföra halmen till marken då.

Även lera kan ofta komma från en liknande situation som halm. Vid olika typer av markarbeten, exempelvis grundarbete för den aktuella byggnaden eller något större konstruktionsprojekt i lokalområdet, kan stora mängder lera behöva transporteras bort. Till skillnad från halm räknas inte lera som en förnyelsebar resurs, men finns i väldigt stora mängder (Berge, 2001, s. 4). Dessutom kan den efter byggnadens livstid återföras till marken, eftersom den till skillnad från betong inte genomgår en kemisk process när den torkar.

Stenbrott kan ibland göra stora ingrepp på naturen där det bryts i stor skala. När man använder sten lokalt är det ofta inget man behöver ta hänsyn till, eftersom den lokala stenen måste komma från ett väldigt kort avstånd (se resonemang i avsnittet *Grund* i kapitel 3.2). Genom att använda sig av sprängsten kan man rentav spara in borttransportering av sten från en byggnadsplats.

Sand är liksom i betongen en viktig komponent i samtliga lertekniker. Skillnaden ligger i att man oftast använder sig av den sand som naturligt finns tillsammans med lera i den jord man bygger med. För att undvika onödig tillförsel av ren sand kan det därför vara bra att försöka hitta jordblandningar med en lagom andel sand. En ytterligare fördel med lerteknikerna är att de oftast kan återanvändas vid rivning eller skada. Därmed kan jordkonstruktioner med en bra sammansättning av lera och sand vara en resurs istället för en förbrukad vara.

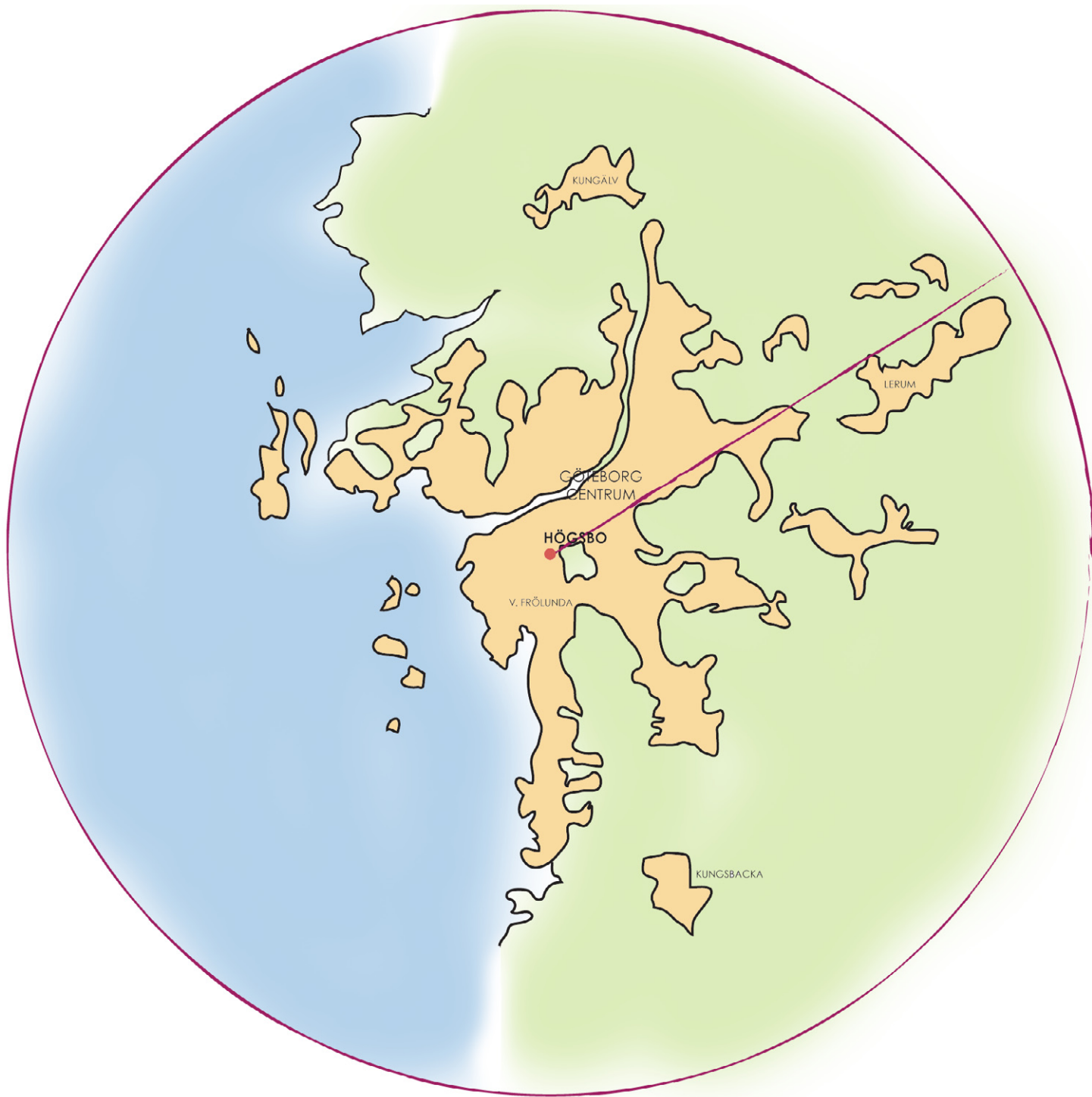
Torv räknas som förnyelsebar resurs och finns på ca 25 % av Sveriges landyta (Svensk Torv, 2013). Brytningen av torv gör relativt stora ingrepp på platsen där det bryts, men en förekommande åtgärd efter tåkten avslutas är att omvandla området till en grund sjö. Det har visat sig skapa många positiva effekter, bland annat för fågelliv och biologisk mångfald (se exempelvis Brandel, 2000). För torvtak handlar det om så små mängder torv att ingreppen på naturen är relativt försumbara, även om antalet tak ökar. Den största delen av torven som bryts idag används för energiproduktion.

Slutsats

De konventionella materialen är till största delen icke-förnyelsebara men finns generellt sett i stor mängd. Dock skapar utvinningen av kalk, olja och järnmalm ibland stora problem för den lokala miljön. De lokala materialen är till stor del förnyelsebara och kan ofta vara restprodukter från annan verksamhet. En nackdel med betong är att det är svårt att återanvinna vid rivning, till skillnad från lera och sten som antingen kan återgå till naturen eller återanvändas.

De lokala materialen är inte helt befriade från svagheter. Produktionen av trä innebär på många platser en minskande biologisk mångfald och förstörda naturvärden. Om användningen av exempelvis halm och torv skulle öka markant finns även en risk för större åverkan på mark. Den största vinsten med lokala material är dock att kontrollen återgår till byggherren och att de som slutligen bor i huset får se konsekvenserna av eventuell felaktig råvaruhantering.

En viktig fråga att fundera över när man diskuterar relationen till jordens resurser är hur man planerar för byggnadens slut. Det som ofta ställer till det för återvinningen av material är sammansättningar där det är svårt att separera de olika komponenterna. Här blir en av lerans största svagheter en styrka, i och med att känsligheten för vatten innebär att lermaterialen kan lösas upp och återgå till naturen. På samma sätt kan halmbalarna tas isär och komposteras, och träreglarna material- eller energiåtervinnas. Liksom för konventionellt tegel med cementbruk kan det sannolikt bli svårt att separera adobe från lerbruket utan att skada själva stenarna. Skillnaden mot tegel är att materialet från gamla adobe-stenar kan återanvändas för tillverkning av nya stenar eller som ingående komponent till någon annan typ av lerkonstruktion. En generellt viktig sak att tänka på är att försöka använda naturliga och nedbrytningsbara material även för eventuella färger, då dessa kan vara svåra att få bort från ytorna.



4. SCENARIO & KONCEPT

Vi har nu i de första kapitlen fört ett teoretiskt resonemang kring vad lokala byggnadsmaterial är, varför man bör använda dem, och vad man kan hitta för material i Göteborgsregionen. Vidare har vi undersökt de sociala och ekologiska effekterna av att använda lokala material i jämförelse med konventionella. I de följande två kapitlen ska vi nu undersöka hur en praktisk implementering av lokala material kan se ut för ett specifikt scenario i en urban miljö.

Detta kapitel beskriver de lokala förutsättningarna för den valda tomten i Högsbotorp och mynnar ut i ett konceptuellt förslag till hur ett flerbostadshus skulle kunna se ut i området. I kapitel 5 följer sedan en genomgång av hur byggnadens olika delar skulle kunna byggas med lokala material, varpå några utvalda byggnadselement undersöks i detalj.

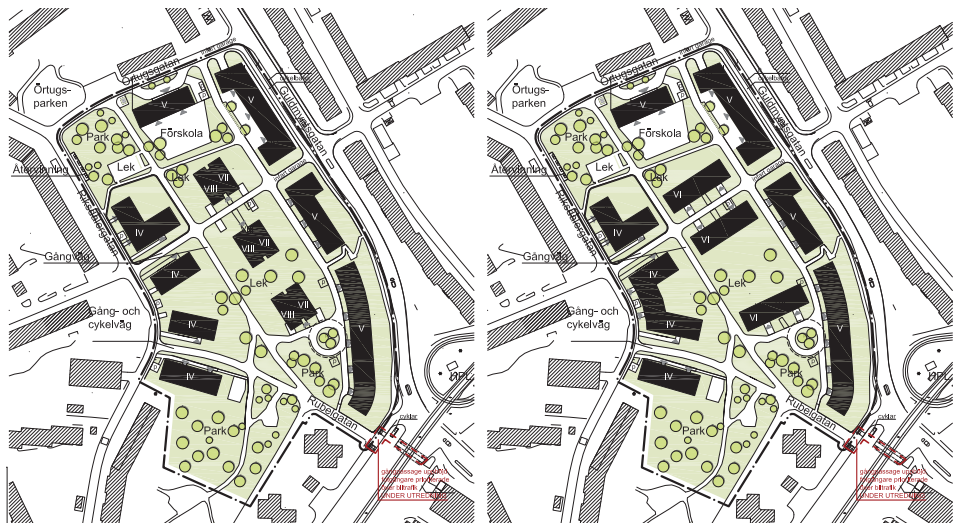
4.1 Planområdet Högsbotorp

Planområdet i Högsbotorp är beläget vid Guldmyntsgatan, nära till Axel Dahlströms torg och spårvagnshållplatsen med samma namn. Planerna för området började skapas efter att det bestämdes att Högsboskolan var överflödig och skulle rivas. Skolan bedömdes i för dåligt skick för att renoveras och användas till något annat, så istället har området utvecklats till ett bra exempel på den hur man vill att den förtätning av staden som önskas ska skapas.

Sedan skolan revs under 2013 har platsen varit i stor förändring då den förbereds för ny bebyggelse. Samtidigt har stadsbyggnadskontoret i Göteborg arbetat med att föra fram en ny detaljplan som ska tillåta den typ av blandstad som man önskar. Det nya området ska i första hand innehålla bostäder, men ger även plats för handel, kontor och en förskola (Göteborgs Stad, *Planbeskrivning*, 2013). Under 2013 ritades även följande illustrationer över hur området skulle kunna se ut:

T.v.: Översiktskarta över Göteborg och Högsbo, med tremilscirkel runt Högsbo.

T.h.: En illustrationskarta visar på två alternativa utformningar, antingen som lamellhus och punkthus, eller som enbart lamellhus (Säffblad, *Illustrationskarta*, 2013).



En av anledningarna till att just detta område i Högsbo har valts ut är att detaljplanen för området beskriver att de nya fastigheterna ska kunna byggas av såväl små som stora byggherrar (Göteborgs Stad, *Planbeskrivning*, 2013, s. 5). Därför finns det i dagsläget intresse från ett antal föreningar som har för avsikt att skapa en så kallad byggemenskap där. Byggnadskonceptet i det här projektet är tänkt att kunna lämpa sig för den typen av gruppering, eftersom användandet av lokala material på många sätt bygger på ett stärkt engagemang i sitt eget hem. I bilaga 8.3 finns mer information om vad en byggemenskap är och hur det påverkar arkitekturen.

För att slippa ta hänsyn till de förändringar som sker även under detta arbets skrivande och till fullo kunna visa på en väl genomförd process med lokala material tog analysen av platsen hänsyn även till de förhållanden som rådde innan rivningsarbetet påbörjades på platsen. Det innebär i första hand att vissa lokala material som nyligen har förts bort eller snart kommer föras bort kan komma att tas med i projektet, trots att det för ett verkligt projekt redan är för sent. Detta visar även på vikten av god planering för att kunna genomföra ett projekt med lokala material på bästa sätt.

Anledningen till att en så pass central plats som Högsbo valts ligger även i att försöka bemöta de utmaningar som uppstår när man bygger med lokala resurser i ett tätbebyggt område. Dessutom är tanken att utformningen av ett flerbostadshus ska visa på de möjligheter som uppstår när man utmanar den materialstandard i stål och betong som i hög grad gäller för flerbostadshus idag.

4.2 Detaljplan, förutsättningar & regler

Förutsättningar

Området

Byggnadskonceptet är en del av en grupp nya byggnader i ett knappt 35 000 m² stort planområde där Högsboskolan stått fram till år 2013. Området ligger nära Axel Dahlströms torg i Högsbo, omgivet av Guldmyntsgatan i öst, Örtugsgatan i norr, Riksdalergatan i väst och (delvis) Rubelgatan i söder. Området är relativt kuperat och terrängen består främst av öppet berg, jord, skogsdungar och utspritt rivningsmaterial.

Detaljplan

Det nya förslaget till detaljplan låg ute för samråd under hösten 2013 och antogs under första kvartalet 2014. Anledningen till att en ny detaljplan upprättats är att den tidigare planen ej tillät bostäder i området. Den nya planen blir en del av stadens ambitioner att förtäta och utnyttja bra lägen nära kollektivtrafik (Göteborgs Stad, *Planbeskrivning*, 2013, s. 16). Tanken är att planen ska vara flexibel och passa både små och stora byggherrar, samt ge möjlighet till nya boendeformer. Ambitionen är att bygga billiga lägenheter och även att markanvisa en del till så kallade gemenskapsboenden.

Detaljplanens kvalitetsprogram beskriver viktiga utgångspunkter för utformningen av gemensamma vägar, park och naturmark, samt gestaltningen av den nya bebyggelsen. Områdets karaktär har sammanställts i en lista av punkter som ny bebyggelse ska "medvetet förhålla sig till" (Göteborgs Stad, *Kvalitetsprogram*,



Punkthusen tydliga landmärken. Gult och rött tegel samt sadeltak, några av karaktärsdragen i området.



Byggnaderna följer terrängen. Även här tegel i en naturnära gulbrun ton samt sadeltak.

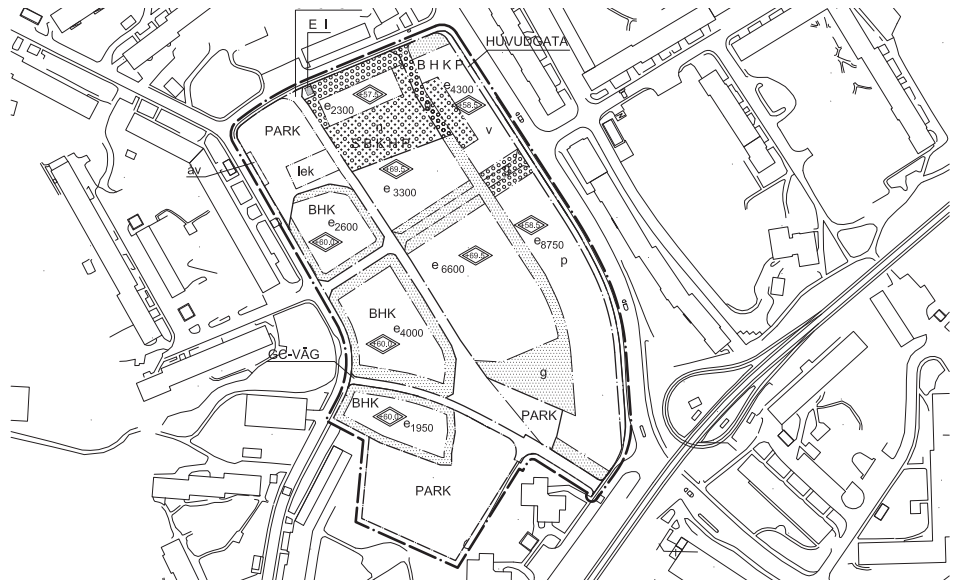


Parkstråk och nära till naturen. Många av träden i området är oplanterade tallar och skogsträd, vilket skapar en naturlig och oskyddad känsla.

2013, ss. 3-4). Denna lista är enligt nedan:

- * Högsbotorp har en naturanpassad plan som följer terrängen.
- * Naturmark med hällar och träd är viktiga inslag i området.
- * Bebyggelsen relaterar till gatan med husets långsida eller gavel.
- * Entréerna är mot gatan.
- * Parkstråk och byggnadernas närhet till naturmarken.
- * Fondmotiv, förskjutningar av husvolymerna skapar variation och småskalighet.
- * Bilarna och parkeringsplatserna är inget tydligt inslag i stadsbilden. Högsbotorp byggdes ut innan bilismens tillväxt.
- * Bebyggelsen är varierad med bostadshus från tre våningar och vanligt förekommande är fyra vånings lamellhus och punkthus som delats upp i olika volymer.
- * Fasadmaterialen är tegel eller puts, både rött och gult tegel finns inom området.
- * Putsen är ofta i ljusa jordfärger, beige, mild terrakotta.
- * Husens är omsorgsfullt gestaltade i detaljerna.
- * Punkthusen har balkongpartier som betonar husens vertikalitet.
- * Husen har sadeltak.

Dagens bebyggelse har generellt större fönsterpartier, balkonger och uteplatser jämfört med befintlig äldre bebyggelse. Detta, tillsammans med dagens krav på tillgänglighet, kan medföra en del kontraster mot omgivande byggnader. Därför är det enligt kvalitetsprogrammet önskvärt att ny bebyggelse knyter an till området genom bland annat skala, form, kulörer och terränganpassning (Göteborgs Stad, Kvalitetsprogram, 2013, s. 8). Kvalitetsprogrammet är inte bindande, men pekar ut ambitionerna för området. Den handling som istället står för de bindande restriktionerna är själva plankartan:

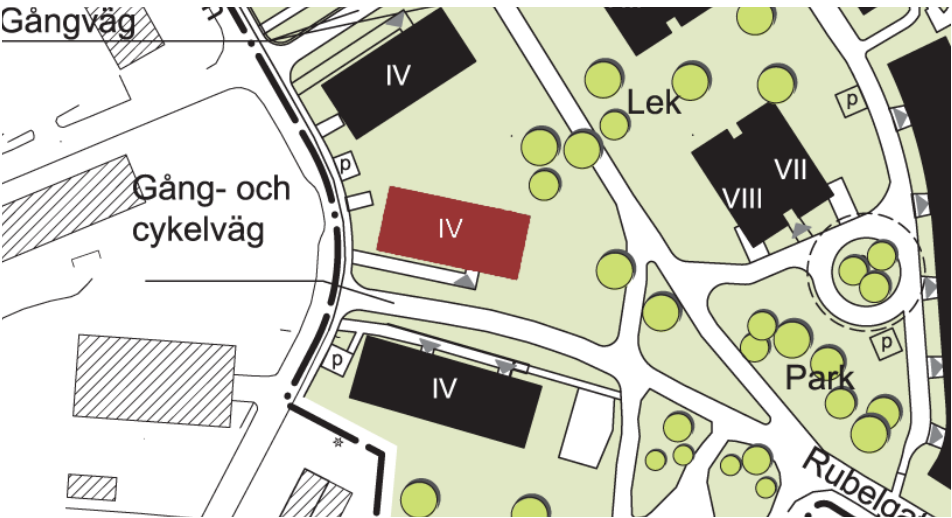


T.h.: (Säffblad, Plankarta, 2013).

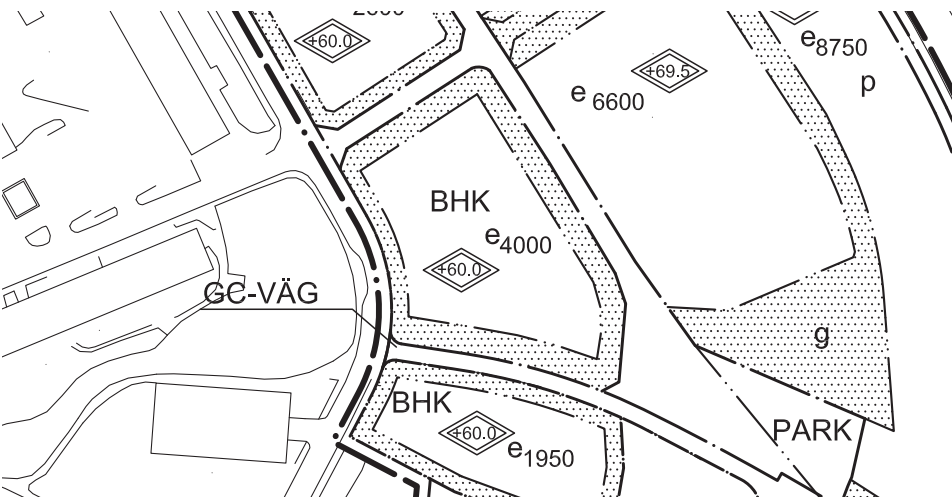
Hur plankartan påverkar byggnaden beskrivs mer nedan.

Tomten

I detaljplanen är inte några specifika fastigheter utpekade som tilltänkta för just byggemenskaper. I samtal med Hanna Kaplan (14 okt 2013), Stadsbyggnads-kontorets handläggare för området, framgår att det främst är de västra fastigheterna som är tänkta för det ändamålet, men att det inte är låst. Den tomt som valts ut för det här projektet ligger i den sydvästra delen av området (se bild nedan). Detta bland annat för att den är av lagom storlek och för att den i jämförelse med många andra tomter i planområdet är förhållandevis platt.



Utsnittet från plankartan (nedan) visar att byggnader inom tomtytan får ha bostäder, kontor och handel i bottenplan (BHK), att det totala exploateringsstalet max får vara 4000 m², samt att totalhöjden inte får överstiga 60 m över stadens nollplan. I det förslag som Stadsbyggnadskontoret illustrerat delas exploateringsstalet av två byggnader enligt "alternativ punkthus". Därför kommer byggnadsförslaget i kapitel 5 använda ungefär hälften av den tillåtna exploateringen.



T.v.: Den aktuella byggnaden rödmärkerad i illustrationskartan. Observera att den situationsplan som föreslås i kapitel 5.6 frångår Stadsbyggnadskontorets illustration något (Säfblad, Illustrations-karta, 2013).

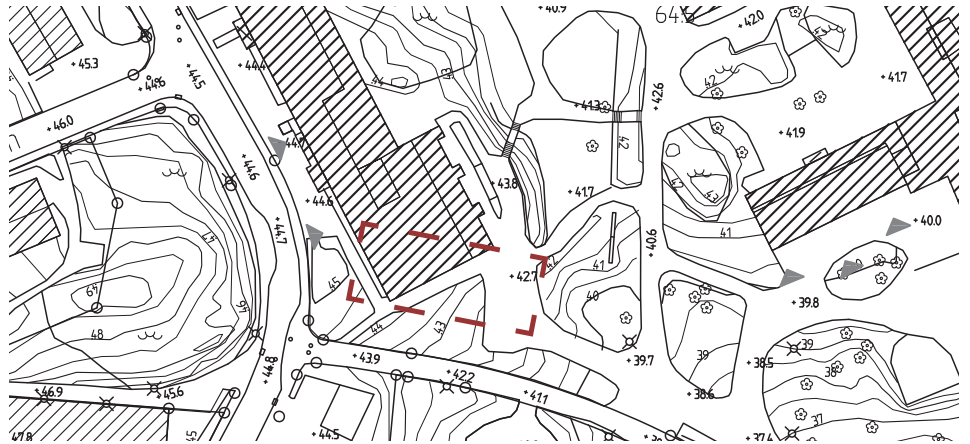
Nedan t.v.: Utsnitt från Plankartan på föregående sida. Den aktuella tomten ligger inom det prickade området i mitten, där bland annat tomtens exploateringsstal är angivet - e₄₀₀₀ (Säfblad, Plankarta, 2013).

Nedan: Nyckel till plankartan (Säfblad, Plankarta, 2013).

BETECKNINGAR PÅ PLANKARTAN	
Linje som ligger 3 m utanför planområdets gräns	
Användningsgräns	
Egenskapsgräns	
PLANBESTÄMMELSER	
Följande gäller inom områden med nedanstående beteckningar. Där beteckning saknas gäller bestämmelsen inom hela området. Endast angiven användning och utformning är tillåten.	
1. ANVÄNDNING AV ALLMÄN PLATS	4. UTNYTTJANDEGRAD
Gång- och cykelttrafik	Högsta exploatering i bruttoarea ovan mark
Parkanläggningar	5. BEGRÄNSNINGAR AV MARKENS BEBYGGANDE
Trafik mellan områden	Byggnad får inte uppföras
2. ANVÄNDNING AV KVARTERSMARK	Mark ska byggas under med planterbart bjälklag, kompletteringsbyggnader får uppföras.
Bostäder	Planterbart bjälklag som ska klara lasten från räddningstjänstens fordon.
Förskola/skola	6. MARKENS ANORDNANDE
Kontorsverksamhet	Gård ska anordnas som grön gårdsmiljö och ska planteras med träd.
Handel i bottenvåning, inte större verksamhet.	Gemensamhetsanläggning för väg.
Parkering under mark och hus	7. PLACERING, UTFORMNING OCH UTFÖRANDE
Teknisk anläggning	Kompletteringsbyggnad minst 1,5 m från intilliggande bostadsfastighet.
3. UTFORMNING AV ALLMÄN PLATS	Högsta totalhöjd 1 meter över nollplanet.
Lekplats	Byggnad ska vara uppdelad i minst två volymer.
Gångväg	Minsta våningshöjd i entréplan ska vara 3,5 m.
Återvinningsplats	Högsta byggnadshöjd för kompletteringsbyggnad är 3,0 m. Minsta och största taklutning för huvudbyggnad är 10 resp. 27 grader.
	Lägst golvnivå 0,3 m över marknivå i förbindelsepunkten.

Områdets grundkarta (nedan) är inte uppdaterad efter rivningen av Högsboskolan och efter att stora delar av området fyllts ut med rivningsmaterial så stämmer inte höjdangivelserna fullständigt. Enligt kartan varierar dock höjden inom området för byggnaden mellan ungefär 43-44,5 m, vilket sannolikt stämmer ungefärligt även med dagens terräng.

T.v.: På planområdets Grundkarta ser vi höjd över stadens nollplan. I området för byggnadens placering ligger den västra delen på dryga 44 m, medan det i den östra delen är nere runt 42-43 m (Stadsbyggnadskontoret, Grundkarta, 2013).



Övrigt

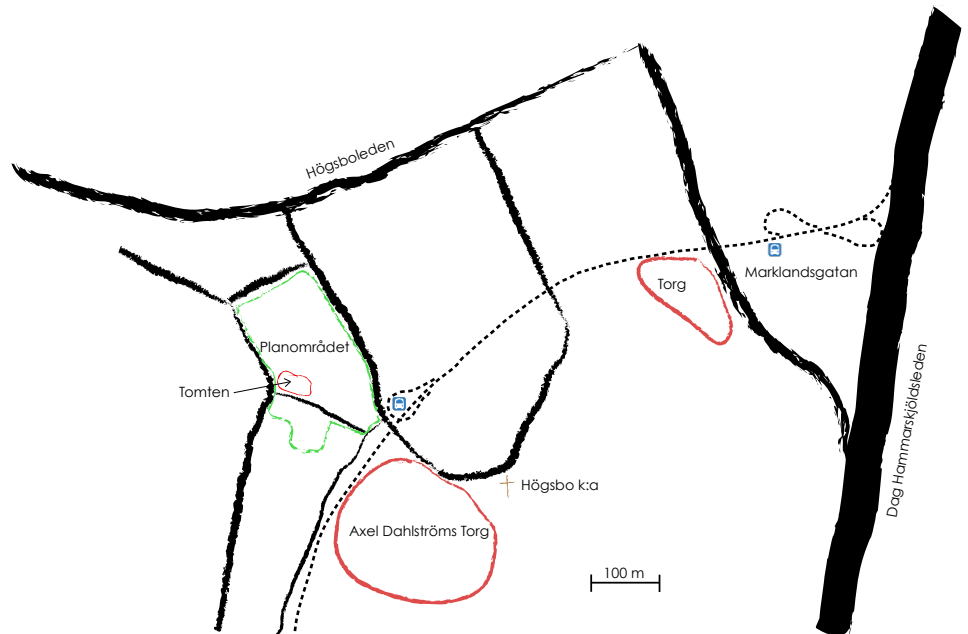
Ca 150 meter till spårvagnshållplats med fyra linjer i trafik.

Ca 200 meter till Axel Dahlströms torg, med bland annat dagligvaruhandel, bibliotek, apotek och bank.

Ca 1 km till Marklandsgatan, vilket bland annat är en större knutpunkt för kollektivtrafiken.



Axel Dahlströms Torg med dess karaktäristiska höghus.



Exempel: *Wooden it be nice?*

För att i praktiken se hur det kan gå till när de ovan beskrivna förutsättningarna från detaljplanen och kvalitetsprogrammet appliceras på en verklig utformning så kan man se till förslag för de övriga delarna av planområdet. De flesta delarna av planområdet är ännu generellt sett oplanerade men under våren 2013 utlystes en markanvisningstävling för de mest centrala delarna av området. Fokus för tävlingen var låga boendekostnader, samtidigt som boendekvalitén ska vara god (Göteborgs Stad, *Pressmeddelanden*, 2013). Samtidigt användes den nya detaljplan som låg ute för samråd som utgångspunkt för förslagen.

Vinnarna i tävlingen utlystes den 22:e november 2013 och var Svanström fastigheter och Almgren fastighets AB tillsammans med Okidoki arkitekter. Förslaget beröms bland annat för blandningen av lägenhetstyper, sociala mötesplatser, intressanta materialval och låga hyresnivåer (Göteborgs Stad Fastighetskontoret, *Protokoll*, 2013). Storlekarna varierar mellan 1:or och 4:or, och kompletteras med hyresradhus. Inflytt planeras till sommaren 2016 (Göteborgs Stad, *Pressmeddelanden*, 2013).

Det är i många delar lätt att se var Okidoki har använt sig av framför allt kvalitetsprogrammet i utformningen av sina bostäder. Fasaderna är klädda i puts och trä som följer de gula och röda toner som finns i området. Man kan även se i illustrationerna hur oplanerade träd och klipphäddar är kvarlämnade som en del av landskapet, samt hur bostadskropparna följer terrängen.

Även de detaljer som i kvalitetsprogrammet beskrivs som vanliga skillnader mellan dagens bebyggelse och den befintliga äldre syns i förslaget. Fönstren är stora och balkongerna generösa. Man har även gått ifrån sadeltaken, till förmån för dagens platta tak och takterasser. Glädjande nog har man även valt att föreslå stommar helt i trä istället för betong (Okidoki Arkitekter, 2013).

I förslaget överskrider Okidoki det angivna exploateringstalet med ca 5 % (Okidoki Arkitekter, 2013) eftersom man anser att området tål en högre exploatering och att det kollektivtrafiknära läget bör utnyttjas väl. Man har även valt att rita små och yteffektiva lägenheter, för att få in många lägenheter och samtidigt göra dem billigare.

Parkering har man, i enlighet med kvalitetsprogrammet, valt att göra så osynlig som möjligt i området. I motsats till exploateringstalet så argumenterar arkitekterna här för ett minskat parkeringstal och flyttar så många platser som möjligt till existerande parkering. Istället får cykelrummen prioritet och utrustas väl (Okidoki Arkitekter, 2013).

Miljötänkandet har på många plan varit genomgående i Okidokis förslag och verkar vara en av de kvaliteter som juryn uppskattat. Därför är detta ett bra område för fortsatt arbete med miljösmarta bostäder, vilket detta arbetes koncept kan ta fasta på.



Illustration från Okidoki Arkitekter. Byggnaderna går i naturfärger och är i likhet med befintlig byggnation omgivna av stenhällar och glest stående tallar och björkar (Okidoki Arkitekter, 2013).

Regler och riktmärken

Utöver förutsättningarna givna i områdets detaljplan finns såväl krav som önskemål på hur byggnaden och byggnadselementen ska prestera i förhållande till miljön, säkerhet och trivsel. Dessa krav kommer bland annat från Boverkets byggregler, BBR, eller styrdokument som *Göteborgs program för miljöanpassat byggande*. De krav som inte är hänvisade till något specifikt dokument är satta utifrån detta arbets syfte och mål.

Material

Lokalt utvunna material prioriteras i största möjliga mån. Icke-förnyelsebara material undviks där realistiska alternativ finns. Kemiskt innehåll och eventuella risk för emissioner ska tas i beaktning vid materialval. Låg inbäddad energi prioriteras. Återvunna material och material som lätt återvinns ska prioriteras. Lång beständighet och lågt underhåll ska prioriteras.

Energi

Enligt BBR ska byggnaden ha en genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m , på max 0,40 W/m²K (Boverket, 2011, s. 266).

För nybyggnation av flerbostadshus finns inga värden angivna för specifika byggnadsdelar, men för mindre byggnader (max 100 m²) och vid ombyggnation av flerbostadshus finns även ett alternativt krav som man kan välja, där varje byggnadsdel har ett angivet maximalt U-värde:

Vindsbjälklag	0,13 W/m ² K	
Yttervägg	0,18 W/m ² K	
Golv	0,15 W/m ² K	
Fönster	1,2 W/m ² K	(1,3 för mindre byggnad)
Ytterdörr	1,2 W/m ² K	(1,3 för mindre byggnad)
(Boverket, 2011, ss. 272-273, 278)		

Bostaden på den aktuella tomten i Högsbo är givetvis betydligt större än 100 m² och dessutom nybyggnad, men i brist på specifika värden för de olika byggnadselementen hos nya flerbostadshus kan dessa användas som referens.

Dessa värden kan även kompletteras med värden från Energimyndighetens sida om klimatskal, där de anger så kallade "godhetstal" som skapats av Energimyndighetens nätverk BeBo, Byggherrarnas Beställarorganisation. Talen är rekommenderade värden vid ombyggnation och för nybyggnation kan "ännu bättre egenskaper övervägas" (Energimyndigheten, 2013):

Vindsbjälklag	0,08 W/m ² K
Yttervägg	0,13 W/m ² K
Golv	0,13 W/m ² K
Fönster	0,8 W/m ² K
Ytterdörr	0,8 W/m ² K

I kapitel 5.3, Energi & fukt, kommer vi bland annat undersöka U-värdet för de föreslagna ytterväggarna. Där kommer ovanstående "godhetstal" användas som måttstock för hur väl konstruktionen kan uppfylla de krav som ställs i dagens byggnad.

Konstruktion

Konstruktionen ska utföras så att det inte finns risk för mögel eller fuktproblem (se bl.a. Fastighetsnämnden, 2009, s. 28).

Byggnaden ska utformas utan onödigt stora utrymmen, för att minska materialåtgång, ekonomi, och fotavtrycket på tomten. Vid val av material ska det tas hänsyn till att årsmedelvärdet av den joniserande strålningen från radongas inte får överstiga 200 Bq/m³ (Boverket, 2011, s. 199).

Placering

Byggnaden ska placeras så att så lite ingrepp på befintlig natur som möjligt måste göras. Den ska även vara orienterad så att den tar till vara på solenergin på bästa sätt.

Ljus

Något rum där människor vistas mer än tillfälligt ska ha tillgång till direkt solljus. Som riktvärde bör alla rum med mer än tillfällig vistelse ha fönster som är minst 10% av golvarean (Boverket, 2011, s. 204).

Utförning

Minst 2,40 m i takhöjd enligt BBR (Boverket, 2011, s. 106).

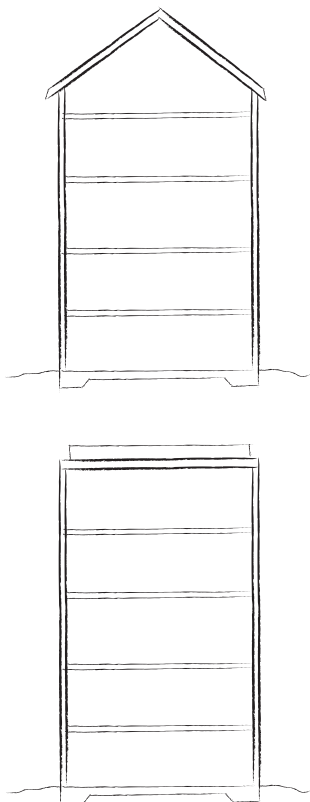
Brand

I BBR finns många regler relaterade till brand, varav ett flertal handlar om hur byggnader delas in i olika brandskyddsklasser efter deras användning. Det aktuella byggnadskonceptet som beskrivs nedan faller in i byggnadsklass Br1, vilket innebär att de klassas som i stort skyddsbehov. Byggnadsklassen påverkar utformningen på många sätt och samtliga kommer inte tas upp i detta arbete. Några viktiga och materialrelaterade aspekter är dock enligt följande:

- Golvbeläggningen i utrymningsvägar ska vara utförd med material med begränsad benägenhet att sprida brand och utveckla brandgaser (Boverket, 2011, s. 170).
- I utrymningsvägar ska väggar och tak utformas så att en brands utveckling i lokalen inte får nämnvärt bidrag från takens och väggarnas ytskikt (s. 168).
- Ytterväggar ska utformas så att (s. 180):
 1. den avskiljande funktionen upprätthålls mellan brandceller
 2. brandspridning inuti väggen begränsas
 3. risken för brandspridning längs fasadytan begränsas
 4. risken för personskador till följd av nedfallande delar av ytterväggen begränsas.

Ljud

Enligt BBR ska lägenhetsskiljande väggar ska uppnå minst ljudklass C (Boverket, 2011, s. 238) och i den förklarande boken *Bullerskydd* (Åkerlöf, 2007) beskrivs att lägsta totala ljudisolering mellan utrymme utanför bostaden och inne i bostaden bör vara minst 53 dB.



4.3 Koncept & Arkitektur

Med utgångspunkt från detaljplanen, OkiDokis exempel och BBR skapas här en skiss över hur en byggnad på den aktuella tomten skulle kunna ta form, i grova drag. Syftet är att skapa en god utgångspunkt för valet av lämpliga byggnadsmaterial och -tekniker. Vissa delar av detaljplanens och BBRs önskemål och krav påverkas främst av val av teknik och tas därför upp i kapitel 5.

Utifrån tanken att byggnaden skulle kunna vara passande för en byggemenskap eller annan mindre aktör anses det lämpligt att den består av varierande lägenhetsstorlekar. Det innebär att det angivna exploateringsstalet medger ungefär 10-20 lägenheter för en byggnad, beroende på fördelningen av storlek. I likhet med vad OkiDoki anser så bör den givna exploateringsgraden utnyttjas maximalt för detta centrala och kollektivtrafiknära läge.

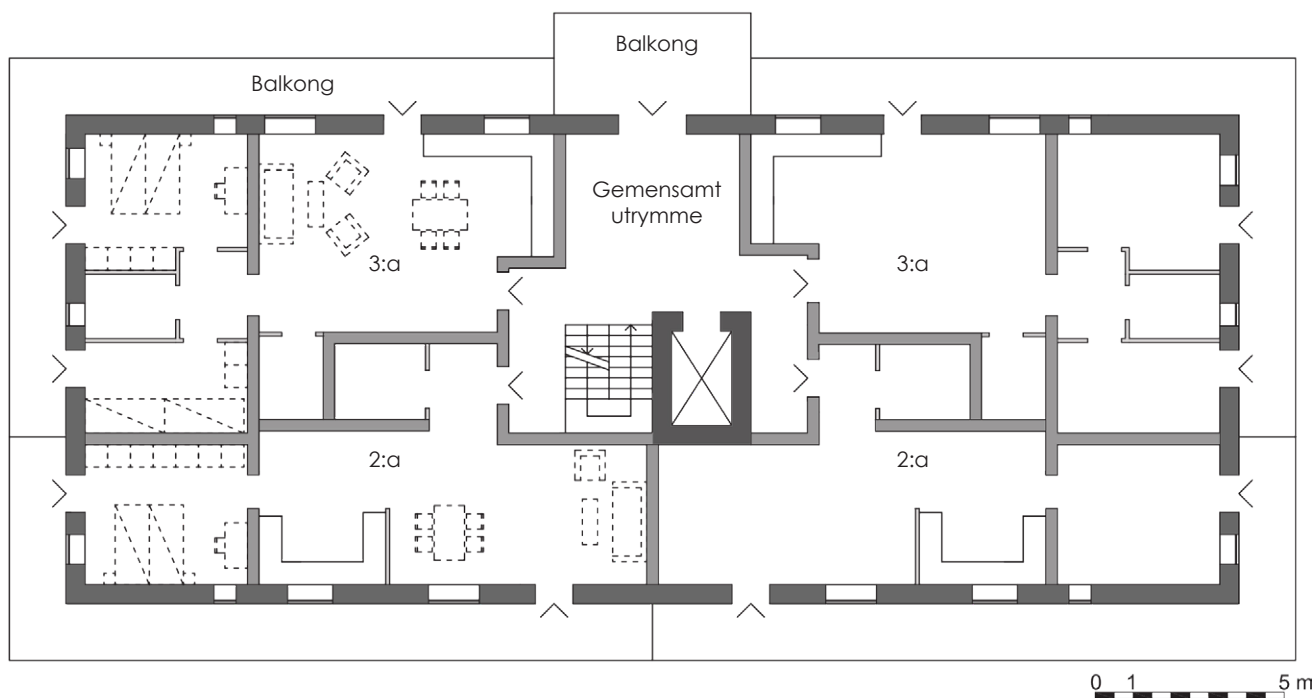
Enligt kvalitetsprogrammet är "naturmark med hållar och träd viktiga inslag i området" (Göteborgs Stad, *Kvalitetsprogram*, 2013, s. 3). För att undvika onödiga ingrepp på befintlig natur är det lämpligt utnyttja de redan tomma ytorna genom att bygga på höjden. En total våningshöjd på ungefär tre meter innebär att tomtens högsta punkt medger totalt fyra till fem våningar. Detta skulle kunna innebära exempelvis fyra våningar med en vind och sadeltak, eller fem fulla våningar med takterrass (se illustration t.v.).

Exploateringstalet fördelat på fem våningar innebär knappt 400 m² per plan. Exakt hur denna yta organiseras har generellt sett ingen större inverkan på detta arbetes syfte, dvs. hur man kan använda lokala material för att konstruera de olika byggnadselementen. Dock finns vissa större grepp som har betydelse, framför allt vad gäller vilka element som är bärande i strukturen. För att behålla så många designmöjligheter som möjligt visar detta koncept på både bärande ytterväggar och innerväggar (se kapitel 5).

För att hålla ekonomin nere bör planen organiseras så att endast en hiss behövs. Genom att utforma en gemensam kommunikationsyta för alla lägenheter i bostaden kan man samtidigt skapa naturliga mötesplatser för de boende i anslutning till denna. Våningarnas 400 m² räcker, efter att yta avsatts för de gemensamma ytorna, till ungefär 4-5 lägenheter av varierad storlek. Genom att placera hiss och trapphus centralt kan man ge tillgång till alla lägenheter utan att behöva loftgångar. Samtidigt kan man utnyttja den stadiga hisskonstruktionen för att skapa värmelagring utan att sänka klimatskalets isolerande egenskaper.

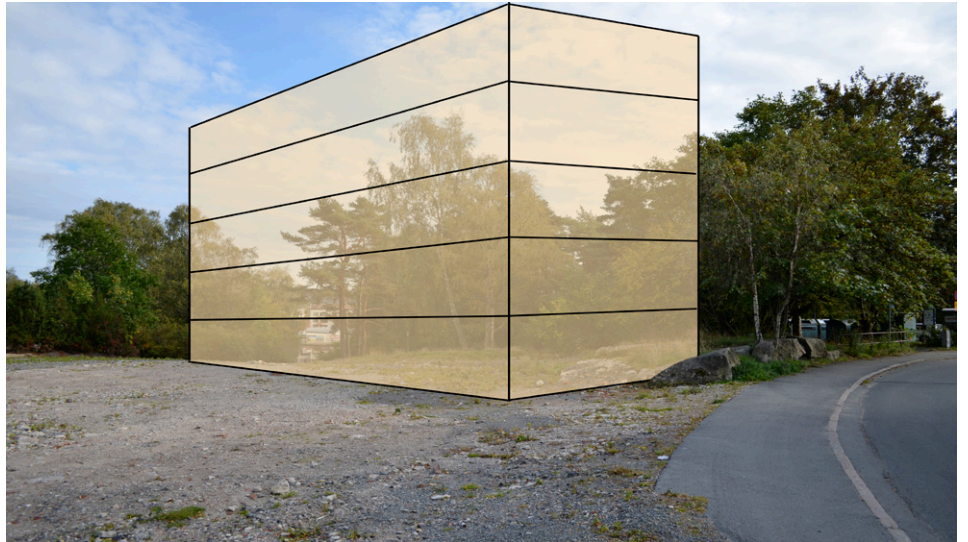
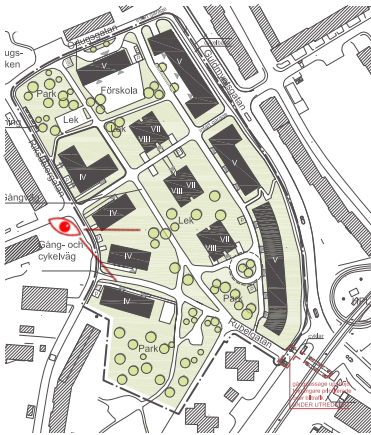
Ett koncept för hur ett lägenhetsplan kan se ut innehåller en symmetrisk plan med ett centralt trapphus, gemensamt utrymme, två 2or och två 3or (se bild nedan). Vill man även skapa större lägenheter kan ena sidan omvandlas till en 4a plus en 1a. Totalt skulle det ge minst 12 lägenheter, där bottenplan i första hand används till gemensamma utrymmen som tvättstuga, förråd, soprum, cykelrum, etc.

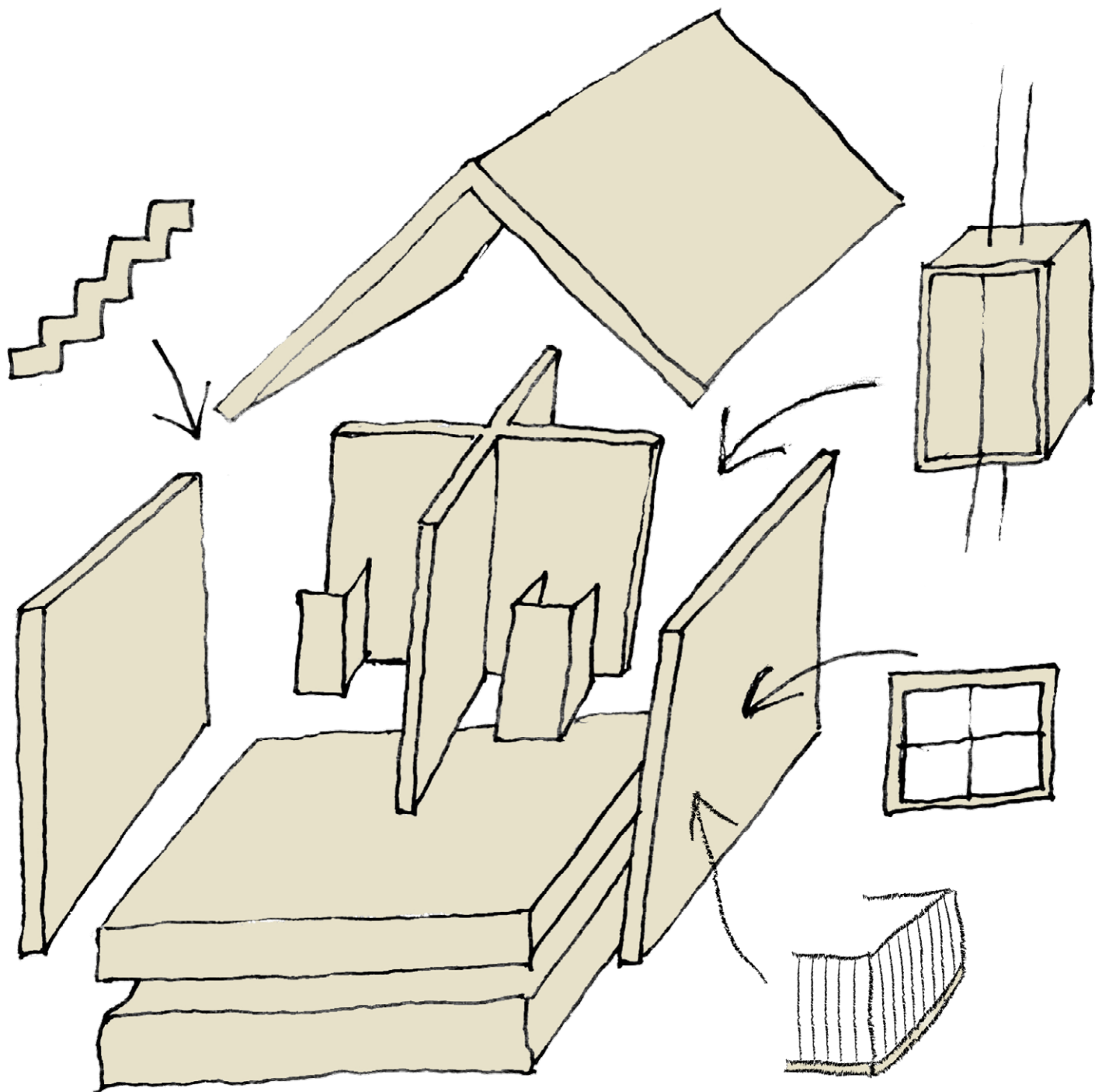
Konceptuell planlösning, skala 1:200



En skiss över hur byggnaden skulle kunna relatera till sin omgivning illustreras i följande vy, sedd från den övre delen av cykelbanan i riktning ned mot Axel Dahlströms torg. Skissen visar även hur en byggnadskropp skulle relatera till gatan med husets gavel.

Med denna byggnadsskiss i åtanke fortsätter vi nu in i kapitel 5 med att se hur den skulle kunna byggas av lokala material.





5. EN LOKAL BYGGNAD

Som sista kapitel innan en avslutande reflektion (kapitel 6) presenteras här hur byggnadskonceptet skapat i kapitel 4.3 skulle kunna byggas med lokala material. I OkiDokis förslag har vi redan sett att det är möjligt att frånga den konventionella standarden i betong. Målet är nu att visa på en realistisk, om än utmanande, plan för hur byggnadens olika element även skulle kunna skapas med hjälp av i första hand lokalt hämtade material.

I det första avsnittet görs en kortfattad genomgång av hela byggnaden, där varje del presenteras, motiveras och förklaras utifrån förhållningssätt till byggnadsprogrammet och bakgrunden i kapitel 2-3. I kapitel 5.2-5.5 dyker vi sedan djupare in i fyra utvalda delar av byggnaden genom kategorierna *Struktur*, *Energi & fukt*, *Byggprocess & ekonomi*, samt *Miljöpåverkan*. Dessa fyra element är markerade med fet stil i listan nedan. I kapitlets sista del, 5.6, visas hur delarna skulle kunna monteras ihop till en konceptuell byggnad.

5.1 Material- & teknikförslag Högsbo

En byggnad består av många delar där var och en har särskilda funktioner att uppfylla. Vissa delar kan ha liknande uppgifter men ändå skiljas åt genom hur de utsätts för väder och vind. Det kan vara till exempel väggar och tak, som på samma vis har som främsta uppgift att hålla ute kyla (eller hetta), vind och regn, men där taket är betydligt mer utsatt av regnet. I det här arbetet har byggnaden indelats i följande tio delar (installationsschakt, ledningsstråk m.m. har utelämnats, se kapitel 1.5, *Avgränsningar*):

- * Grund
- * **Ytterväggar**
- * Bjälklag
- * **Lägenhetsskiljande och bärande innerväggar**
- * **Ikke bärande innerväggar**
- * Tak
- * Fönster & Dörrar
- * Trappa
- * **Hisschakt**
- * Balkong

När man börjar välja mellan olika material och byggnadstekniker inser man snart att valen ofta är lika svåra som de är många. Vill man uppnå effektivitet i byggnaden får man ofta kompromissa med de ideal man först satt upp och ibland kan inblandning av icke-lokala material kännas nödvändig för att uppnå tillräckligt hög hållfasthet på ett rationellt vis. Därför är det viktigt att identifiera de lokala förutsättningarna även vad gäller arbetskraft, maskintillgångar, väderförhållanden, m.m. Därefter kan man avgöra vilka parametrar som känns viktigast och anpassa sina kompromisser efter dem.

För det aktuella byggnadskonceptet är tidsaspekten en viktig faktor. På grund av byggnadens storlek kommer det oundvikligen ta tid att vädersäkra den fullständigt, vilket medför behov av skydd för regn. Många av de lokala materialen

är känsliga för fukt, vilket innebär att hela konstruktionen behöver täckas under kristiska delar av konstruktionen. Då sådan täckning kan bli både besvärlig, tidskrävande och dyr är det önskvärt att byggnaden sätts ihop på ett sådant sätt att den kan väderskyddas så snabbt som möjligt.

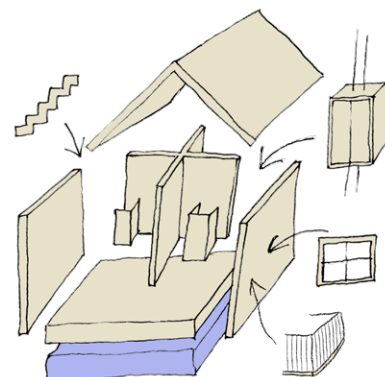
Många av de tekniker som presenteras nedan introduceras i kapitel 3.2, *Miljöpåverkan vid produktion*, under avsnittet *Lokala alternativ*. Där diskuteras även varför vissa material är att föredra över andra för vissa delar av konstruktionen.

Grund

Tack vare det korta djupet ner till stabilt berg är varianter i murad sten ett fullt möjligt val. Med den typ av sten som finns tillgänglig är dock en kallmurad grund inte möjlig, särskilt med tanke på den totala längden mur som krävs. Därför muras grunden med cementbruk, för ökad hållfasthet och säkerhet, samt snabbare konstruktion. Att enbart gjuta med betong är givetvis en snabbare metod men kräver betydligt mer cement och dessutom armeringsjärn. Den färdiga stenmuren blir också vacker att se på där den syns.

Som alternativ till en konventionell betongplatta kan man gjuta ett lergolv. Eftersom den understa våningen av byggnaden kommer användas till bland annat förråd, tvättstuga, lokaler osv, så är det viktigt att ytan behandlas för att öka tåligheten.

Det finns även möjlighet att välja mer lokala eller ekologiska alternativ för isoleringen under plattan. Att använda sig av krossade musselskal är en relativt oprövad metod i Sverige. Isolervärdet och många andra egenskaper är dock lika kommersiella produkter som hasopor eller lecakulor. Om en betydande andel kan hämtas lokalt bör materialet även stå sig mycket väl ekonomiskt.

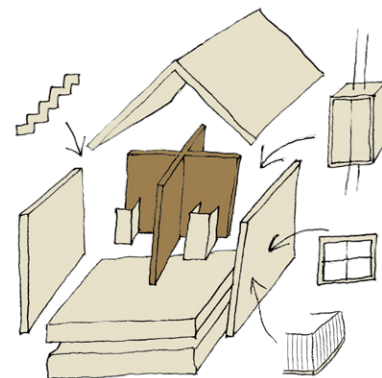


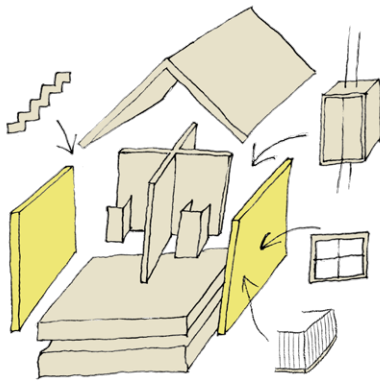
Lägenhetsskiljande och bärande innerväggar

I konventionella byggnader är väggarna som separerar olika lägenheter ofta bärande väggar i prefabricerad betong. I det här förslaget är ytterväggarna bärande, men för att minska spannet som bjälklagen måste överbrygga kommer dessa väggar även i många fall behöva användas som bärning.

Som beskrivs i kapitel 3.2 i avsnittet om lägenhetsskiljande väggar är lermaterial väldigt lämpade för innerväggar tack vare de värme- och fuktbuffrande egenskaperna. Det främsta problemet med många byggnadstekniker med lera är att de jämfört med prefabricerade halmmoduler riskerar att ta väldigt lång tid att föra upp. För att vädersäkra byggnaden på kort tid krävs då antingen att bjälklagen vilar enbart på ytterväggarna, eller att man rationaliserar även de bärande innerväggarna.

En av de effektivaste metoderna att arbeta med lera är att bygga med vad som på engelska kallas *Compressed Earth Blocks* (CEB). Tekniken kan ses som en blandning mellan stampade jordväggar och adobe, och går ut på att man låter en hydraulisk press packa lös jord till hårda lerstenar. Dessa lerstenar går betydligt fortare att tillverka än adobe och kräver dessutom inte lika lång tid att torka, samtidigt som de uppnår en mycket hög hållfasthet (Open Source Ecology, 2014). När väl den bärande strukturen börjar resas krävs det ändå speciella metoder för att hålla



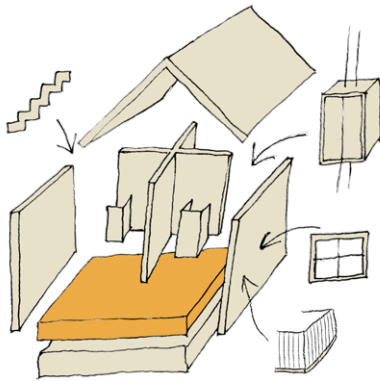


samma tempo som de redan färdiga halmmodulerna. Förslag till hur detta kan lösas beskrivs i kapitel 5.2, *Struktur*. Elementen undersöks även vidare i kapitel 5.3-5.5. För enkelhetens skull benämns dessa väggar i fortsättningen ibland bara som lägenhetsskiljande, men inkluderar också övriga bärande innerväggar.

Ytterväggar

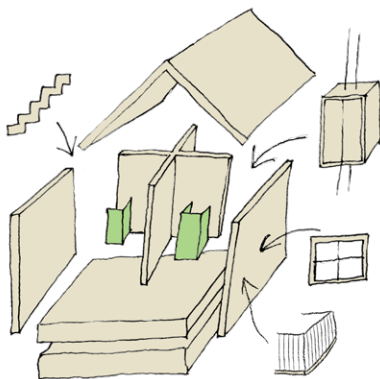
För att bemöta ambitionen om ett energieffektivt klimatskal krävs ett system med mycket goda isoleringsvärden som dessutom är möjligt att bygga lufttätt. När man samtidigt vill hålla ekonomin så låg som möjligt blir ett system av trä och halm en fördelaktig lösning, tack vare de fina tekniska värdena i kombination med god tillgång på materialen.

Inspirationen till ytterväggarna i det här byggnadskonceptet är hämtad från det brittiska *ModCell*-systemet, främst tack vare egenskapen att det är möjligt att bygga modulärt (se kapitel 5.2). Modulerna föreslås därmed bestå av träregelramar med en ifyllnad av halmbalar. Ytskikten utgörs därefter av lerputs, vilket även går i linje med kvalitetsprogrammets önskemål om "puts i ljusa jordfärger". Ytterväggarna är ett av de byggnadselement som valts ut att presenteras närmare och diskuteras därför i detalj i kapitel 5.2-5.5.



Bjälklag

Liksom för de bärande väggarna är det viktigt att bjälklagen går fort att lägga. Därför görs de lämpligen också i moduler. Bärande system består av solida träbalkar där spännvidden tillåter, vilket innebär upp till ca 3,5 m enligt TräGuidens dimensioneringstabeller (www.traguiden.se). För större dimensioner blir konstruktionsvirke onödigt tungt och innebär dessutom ett slöseri av trä. Istället föreslås då lättbalkar i trä, där reglarna kan anses lokala medan den limmade skivan som regel inte kan. Önskas ett helt lokalt alternativ kan man tillverka något krångligare fackverksbalkar i trä, men då tillkommer istället mer spik. Mellan balkarna läggs rader av träläkt, vilka håller uppe halmbalar. En fördel med att göra bjälklagen som moduler är också att man enklare kan välja lerputs i taket istället för exempelvis gipsskivor, eftersom man kan fästa putsen ovanifrån eller från sidan, och sedan vända modulen. Om man ändå av något skäl vill und-vika lerputs i taket bör gipsskivor användas för att skydda halmen mot brand.



Icke bärande innerväggar

I den här kategorin inkluderas endast icke bärande väggar inom en lägenhet. För bärande innerväggar inom en lägenhet, se förslag för lägenhetsskiljande väggar samt hisschakt. För innerväggarna finns många alternativ att välja mellan och det finns egentligen ingen anledning till att alla väggarna borde vara av samma sort, varken lägenheterna sinsemellan eller inom en och samma. Viktigt kriterium är dock att väggarna fungerar för upphängning av tavlor, hyllor, osv. Som en generellt intressant metod väljs för det här exemplet kubbtekniken.

Som beskrivs i kapitel 3.2 i avsnittet om innerväggar är kubb en lämplig teknik främst för innerväggar, på grund av medelmåttiga isolervärden. Det som talar emot användandet av kubb även för innerväggar är främst att det är en förhållandevis tids-

krävande process att bygga upp dem, som dessutom involverar kladdigt bruk och därefter torktider. Men att arbetet är tidskrävande behöver inte bli till en nackdel. Tvärtom kan denna enkla byggnadsteknik bli ett av de bästa tillfällena att involvera de som ska bo i huset i själva byggnationen. Här kan såväl stora som små vara med och blanda bruk, bära vedkubbar, eller bygga upp och dekorera sina väggar. De färdiga väggarna kan ges olika uttryck med hjälp av olika former på kubarna, tomglas och fantasi. De blir dessutom en kontrast till de mer strukturerade prefabricerade halm- och lerstenmodulerna, och kan om man önskar byggas upp i organiska former. Exempel på hur en innervägg skulle kunna skapas presenteras i kapitel 5.2, *Struktur*, och elementen undersöks även vidare i kapitel 5.3-5.5.

Trappa

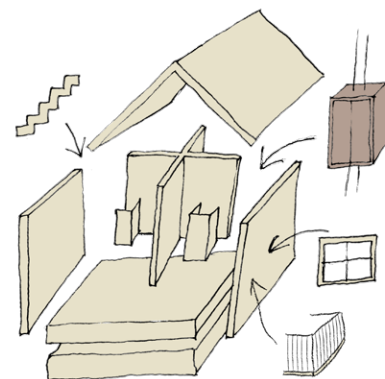
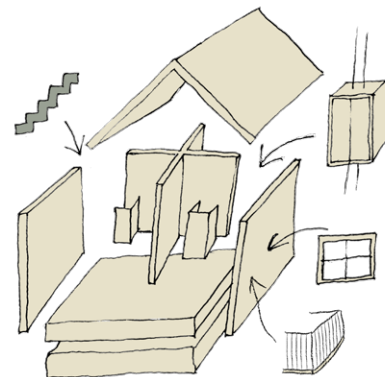
Ur en strukturell synvinkel är trä ofta det mest åtkomliga lokala materialet för att ersätta de konventionella trapporna i stål eller betong. Av brandskäl är det dock generellt inte lämpligt med trä i utrymningsvägen för en fem våningar hög byggnad, vilket även framgår av BBRs krav på "begränsad benägenhet att sprida brand" för golvmaterial i utrymningsvägar (se s. 57). Dessutom är trä känsligare för fukt och slitage från exempelvis smutsiga vinterskor. Därför bör trappstegen i det gemensamma trapphuset byggas i en konstruktion av betong. Däremot kan strukturen som bär upp själva trappstegen byggas av exempelvis pisé, något som dessutom skulle kunna skapa ett väldigt vackert trapphus.

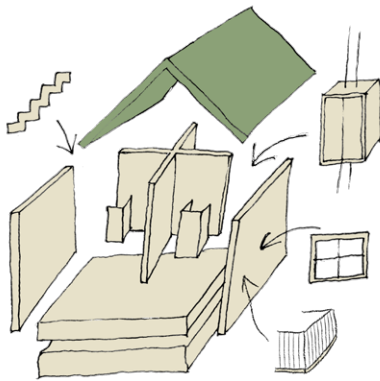
En möjlig kompromiss är att låta den lägsta nivån av trappan vara i sten. Problemet med detta är att den i brist på perfekt huggna stenar skulle behöva byggas helt massiv, vilket medför att man inte kan utnyttja utrymmet under. Dessutom skulle man i avsaknad av välhuggen sten troligen behöva använda mer cement i bruket än om man byggde trappan i betong från början.

Om man väljer att bortse från träets lägre tålighet mot slitage finns det möjlighet att kringgå brandkraven genom att byta betongens brandtålighet mot ett sprinklersystem. Själva sprinklersystemet blir då inte en lokal resurs, men mängden metall blir sannolikt ändå betydligt lägre än för armeringen i en betongtrappa. För att uppnå en trappa med så mycket lokala material som möjligt kan därför trä vara ett bra alternativ, om man samtidigt skapar ett bra system för att skydda ytskiktet mot slitage.

Hisschakt

Hisschaktet utgör i byggnadskonceptet en central del av huset och är en del av den gemensamma yta som knyter ihop lägenheterna. Det behöver också vara stabilt och klara lasterna från en hiss. Här blir pisétekniken användbar, i en kontext där den kan tillåtas ta lite utrymme och samtidigt bidra med ett spännande utseende och goda tekniska kvaliteter. Det mest problematiska med pisétekniken är oftast tidsaspekten och arbetsbelastningen det innebär att flytta formverk och stampa jorden. För att lösa detta kan delarna tillverkas i moduler, vilket beskrivs mer i kapitel 5.2, *Struktur*. Dessa element är de sista som även beskrivs i kapitel 5.3-5.5.

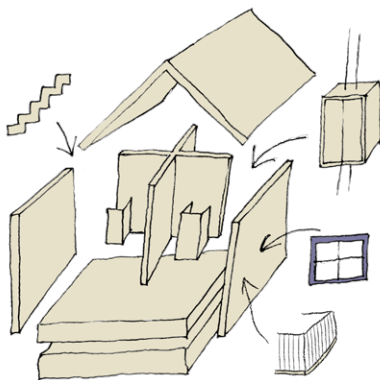




Tak

Att välja ett lämpligt byggnadsmaterial som ytterskikt på taket är inte helt självklart för en byggnad med stor takyta på hög höjd. Som redan nämnts i kapitel 3.2 under avsnittet om tak så kräver såväl stråtak som spåntak regelbundet underhåll, vilket kan bli besvärligt att sköta på ett säkert sätt och utan höga kostnader.

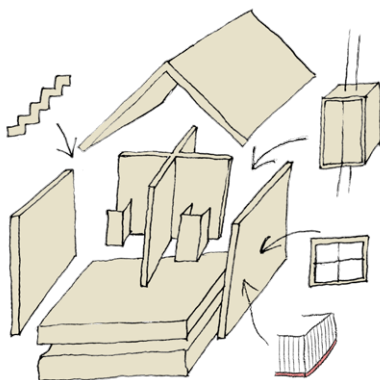
Ett välgjort torvtak kan vara en både estetisk och praktisk lösning, men att få tag på den stora mängd björknäver som krävs för ett tak av den här storleken kan visa sig svårt. På grund av de estetiska egenskaperna, vattenupptagningsförmågan, brandsäkerheten, m.m. kan dock ett torvtak vara ett bra alternativ till ett konventionellt tegeltak, även vid användning av platonmatta istället för näver. Med tanke på att lokal tillgång till näver trots allt finns presenteras ett förslag med näver i kommande avsnitt. En nackdel med ett torvtak är att det kan bli väldigt tungt, särskilt i vått tillstånd. Specifika beräkningar för att visa hur konstruktionen beskriven nedan (kapitel 5.2) klarar att bära ett torvtak görs inte i detta arbete, med tanke på att lättare alternativ finns att tillgå vid behov (främst spåntak).



Fönster & Dörrar

För att uppnå god energiprestanda i byggnaden är det viktigt att ha fönster och ytterdörrar av hög kvalitet. Ett alternativ till att köpa nya fönster och dörrar är att renovera/återanvända gamla, vilka till exempel skulle kunnat tas från den nu rivna skolan. Fungerande fönsterbågar kan återanvändas genom att byta ut glaspartiet mot effektivare varianter, vilket görs hos glasmästare specialiserade på effektivisering av gamla fönster. Den slutliga kostnaden blir oftast billigare än att köpa nya fönster samtidigt som man får minst lika bra U-värden (Skarins Glas, 2013).

Den främsta nackdelen med att återanvända fönster är att man tvingas anpassa fönsterstorlekarna efter det man har att tillgå, vilket kan vara svårt i kombination med fasta storlekar på halmbalar. Detta är inte ett lika stort problem för dörrar. En fördel kan vara att många gamla fönster kan ha ramar av hög kvalitet och i vackra material. I utformningen av ett byggnads-koncept i kapitel 5.6 läggs ingen vikt på fönsterstorlekarna med avseende på användning av gamla fönster, då det är svårt att avgöra vilka storlekar som skulle finnas tillgängliga i ett verkligt projekt.



Balkonger

För att undvika köldbryggor byggs balkongerna som en fristående struktur i trä. Genom att utforma balkongerna likt helt runtgående loftgångar kan de dessutom användas som väderskydd för ytterväggarnas lerasfasad (se exempel i planskissen i kapitel 4.3). I konstruktionen kan även alternativa utrymningsvägar byggas in. Strukturen skulle även kunna bli en bra ställning för klättrande växter, vilket kan skapa en levande fasad som samtidigt skyddar från stark sol och regn, utan att förstöra fasadmaterialet.

En nackdel med att använda loftgångar som skydd för en regnkänslig fasad är att man riskerar att få mörka lägenheter på grund av att ljuset skärmas av. En mer ingående diskussion om detta förs på sidan 97. En fördel med avskärmningen kan däremot vara att det minskar direkt solinstrålning på sommaren, vilket minskar risken för överhettning i välisolerade hus.

5.2 Struktur

Ytterväggar: förstudie

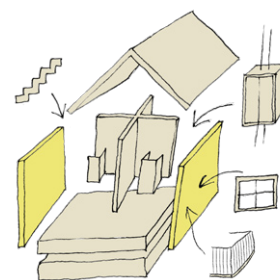
Byggnader av trä och halm i flera våningar är relativt nytt och under stor utveckling. Att använda trä som bärande struktur för höghus har tack vare klimatdebatten börjat bli väldigt intressant men i många fall handlar det främst om massivträkonstruktioner i exempelvis korslaminerat trä.

För att komma fram till en bra lösning för klimateklets uppbyggnad i byggnadskonceptet har i första hand strukturer som specifikt använder halm i kombination med trä eftersökts, men även rena träkonstruktioner. Fokus har även legat i att teknikerna ska kunna inspirera metoder som nyttjar lokala material och tillverkningsmetoder. Därför har bärande system i trä som kräver avancerade/ovanliga tillverkningsmetoder (exempelvis IsoTimber) inte undersökts närmare. Den metod som huvudsakligen använts som inspiration presenteras nedan, medan ytterligare några intressanta tekniker som studerats återfinns i bilaga 8.4, *Träkonstruktioner*.

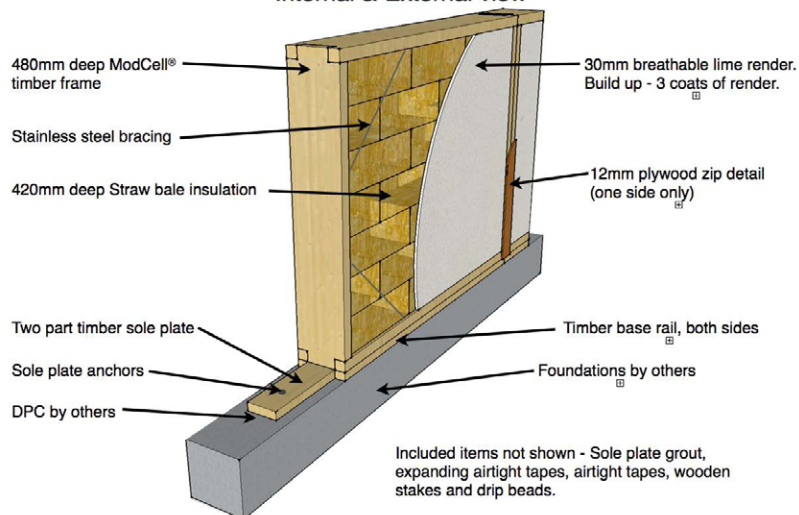
ModCell

ModCell är ett koncept framtaget av ett brittiskt företag och består av moduler av i första hand trä och halm. Modulerna är väldigt enkelt uppbyggda med en bred ram av limträ och stabilisering av stål i hörnen. Ramen fylls med halmbalar och putsas sedan på in- och utsida med kalkputs (se bild nedan). För mer högpresterande moduler tillsätts även isolerande skivmaterial mellan halm och puts.

För ett flervåningshus i halm är det otroligt värdefullt att kunna bygga i moduler. Den stora fördelen med den här typen av konstruktion är att den är enkel att prefabricera inomhus och sedan frakta till byggplatsen vid lämpligt väder. Genom att avsevärt förkorta byggnadstiden utomhus minskar man riskerna för byggfukt och dessutom slipper man problemen med att lyfta enstaka halmbalar flera våningar upp. Modulerna kan dessutom levereras med färdigt ytskikt, vilket gör byggnaden väderskyddad från start.



ModCell® Traditional
Internal & External view



Vy av en ModCell Traditional (ModCell, 2013).

ModCell har utvecklat tre olika typer av moduler, där den enklaste, *Traditional*, anges ha ett U-värde på $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ModCell, *Technical Guide*, 2013, s. 4). Detta U-värde är sannolikt beräknat på ett förhållandevis högt lambdavärde på halm-balar, vilket vi ska se i kapitel 5.3. Modulerna fungerar som bärande struktur i upp till tre modulers höjd (9 meter) (ModCell, *Structural*, 2013). Vid mailkonversation med Finlay White på ModCell framgår dock att begränsningen till tre moduler beror på brittisk lagstiftning som inte medger den typen av konstruktion utan bärande ramverk högre än tre våningar. Enligt White skulle konstruktionen kunna bära även högre än tre våningar om man bortsåg från de regelverken.

Ett fint exempel på hur ModCells moduler använts för vackra lägenhetsbyggnader hittar man bland annat i projektet LILAC i Leeds, ritat av brittiska White Design (ej att förväxla med White Arkitekter). Här har ModCell-modulerna använts för två och tre våningar höga flerbostadshus (se bild nedan) och agerar både som isolering och till stora delar bärande. I bilden är det även värt att notera att man valt att bygga fristående balkonger i trä, likt det som är föreslaget på s. 65.



Vackra flerbostadshus i Leeds, byggda med ModCells moduler (ModCell, *LILAC*, 2013).

När man arbetar med lokala material är det problematiskt att använda en metod där trästrukturen till största delen består av kraftigt limträ, dels för att limmet säl-lan är lokalt och dels för att processen kan kräva speciella maskiner vid tillverknin-gen. Det kan istället vara intressant att undersöka om det är möjligt att skapa en liknande struktur i massivträ utan lim, på ett sådant vis att de enkelt kan tillverkas lokalt. En annan brist med de kraftiga limträbalkar som används i ModCell är att de fungerar som kölbryggor, eftersom de går genom hela väggens tvärsnitt.

Ytterväggar: konstruktionsförslag

Modulerna som används i *ModCell Traditional* är tilltalande i sin enkelhet och an-vänder redan i hög grad ekologiska material, samt i viss mån lokala. Som framgår av förstudien har modulerna även kapacitet att agera som bärande system för över tre våningar. För att skapa en liknande typ av moduler med hjälp av lokalt pro-ducerade material behöver man i första hand ersätta stålvaror med träreglar och

kalkputsens med en lerputs. Limträbalkarna bör även ersättas av vanliga träbalkar. För att matcha limträets något högre bärande förmåga bör balkarna vara av förhållandevis kraftiga dimensioner. För såväl ModCell som detta koncept gäller även att en stor del av hållfastheten beror på kopplingarna mellan de olika delarna.

Det konceptuella förslaget (se bild nedan) är dimensionerat för att minst motsvara tryck- och draghållfastheten hos limträbalkarna och stålvaivrarna i ModCells moduler, förutsatt träbalkar av relativt god kvalitet. Måtten på små halm-balar kan variera, men vanliga mått är 35x45x90 cm, där längden är relativt lätt att justera. Vikten beror på hur hårt balarna pressas men kan i genomsnitt anses ligga runt 16 kg per bal (ca 110-120 kg/m³). När man lägger dem i väggen kan man välja antingen 35- eller 45-sidan som tjocklek för väggen och vanligen används 45 för den ökade isoleringen. Ofta ligger halmstråna då i riktning med väggens tvärsnitt, vilket drar ner den isolerande förmågan något. Dessutom blir väggarna dyrare och släpper in mindre ljus, så för det här förslaget läggs balarna med 35 cm vägg-tjocklek.

Med fem balar i höjd, samt en träbalks tjocklek (100x100 mm sågade reglar) över och under ges en total modulkhöjd på 245 cm. Eftersom de undre reglarna behöver sänkas ner i bjälkaget tappar man dock tillsammans med innertaket tjocklek ca 15 cm, så för att uppnå BBRs lägsta takhöjd behöver man lägga till minst 10 cm isoleringsskivor längst upp, förslagsvis av träfiber (se illustration nästa sida). Med fyra balar bredd blir modulerna, inklusive träreglar, 380 cm breda. Den totala tjockleken på modulerna blir efter slutlig puts ca 45 cm, och en uppskattad vikt ligger innan montering på runt 1100 kg per modul (utan fönster eller dörr). En stor del av modulens vikt består av lerputsens och totalvikten kan därmed variera beroende på hur många och hur tjocka lager som putsas innan transport och montering.



Skissmodell av en halm-balsmodul i genomsnitt.

Sågade regler kommer som standard i längder som är multiplar av 3M. Att anpassa samtliga regler efter detta är svårt om man samtidigt vill ta hänsyn till balarnas mått. Däremot kommer det ändå behöva sågas upp kortare bitar för de distanser som sitter i väggens tvärriktning, och eventuella spillbitar kommer väl till användning som knopptechnik i innerväggarna (se förslag för innervägg nedan).

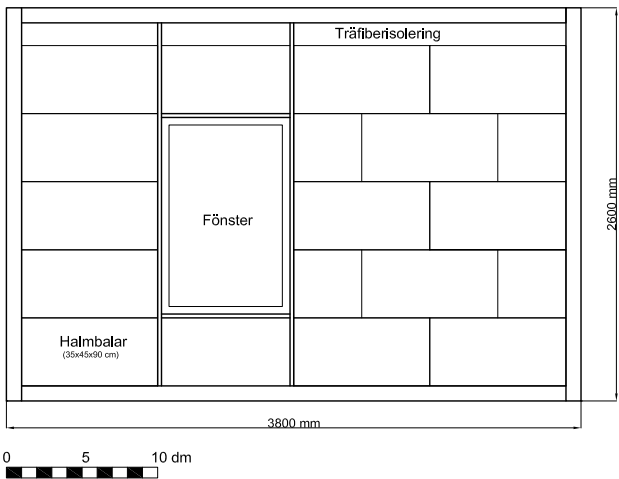
I många modulhus tas vindlasterna upp av hisschaktet. Hur det skulle kunna lösas studeras nedan, i förslaget för hisschakt. Vill man istället ta hand om alla tvärkrafter i själva modulerna kan diagonalerna i hörnen kompletteras med att utvalda moduler på insidan kläs med en skiva istället för puts. För att använda lokala material skulle skivan exempelvis kunna tillverkas med metoden holz100 (se bilaga 8.4). Ett annat alternativ kan också vara att låta de bärande innerväggarna i CEB och/eller pisé ta upp de horisontella krafterna. Ett konceptuellt förslag över hur det skulle kunna fungera visas i samband med planlösningen över modulindelningen på sidan 91.

Som noterats redan i kapitel 3.2 har halmbalsväggar visat sig prestera mycket bra i brandtester jämfört med konventionella träväggar, mycket tack vare den låga tillgången på luft i de täta halmbalarna och skyddet från putsen. För att klara kraven från BBR att hindra spridning längs fasaden kan det mellan lägenheterna vara intressant att överväga brandtåliga isoleringsmaterial i de hålrum som bildas i mötet mellan två moduler, förslagsvis cellglas. I övrigt kan skivor av träfiber användas, se detalj s. 93.

Detaljer

Eftersom byggnadstekniker med halmbalar först relativt nyligen börjat användas i mer industriell tillverkning finns inga standardsystem för hur man löser detaljer som till exempel möten mellan moduler eller praktiska detaljer som vägghängningssystem. Nedan ser vi en sektion genom en modul längs fasaden, där man framför allt ser hur balarnas dimensioner lämpligen tas i beaktning tidigt i processen för att bland annat underlätta fönsterdimensionering och -placering.

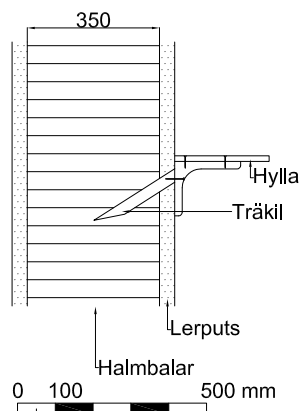
Halmbalsmodul i sektion längs fasad, skala 1:50



Om man vill skapa möjligheter för en friare placering av fönster etc. kan man på bredden variera längderna på sina balar, men man bör då tänka på att flera ballängder sannolikt kommer öka kostnaden för balarna. Vid sidan av ett fönster kan även en bal med 900 mm längd halveras i bredd genom att ställas på kant. I höjled är det svårare att variera sina dimensioner, vilket bland annat innebär att brösthöjder för fönstren blir något avvikande från vad som normalt används. För att till exempel åstadkomma en bröstning på 700 mm behöver man lägga ca 200 mm alternativ isolering mellan första raden halmbalar och fönsterkarmen.

Viktigt att notera här är att BBR ställer krav på säkerhetsglas för fönsterglas under 0,6 m från golvet och att det därför kan bli dyrt att enbart använda en halmbal under många fönster. Ett enkelt sätt att lösa detta är att "flytta" de 10 cm träfiberisolering som i övrigt ligger i toppen på modulen till under fönstret. I kapitel 5.6 undersöks väggmodulerna mer i detalj för bland annat infästningar, tätning och brösthöjd.

Detaljlösningar för hur man fäster en tavla, vägghängd hylla, eller liknande kan variera beroende på situationen och möjlighet att fästa i exempelvis stomkonstruktionen. Där man behöver fästa i själva balarna kan en enkel men beprövad metod med träkilar ofta användas, se illustration nedan.



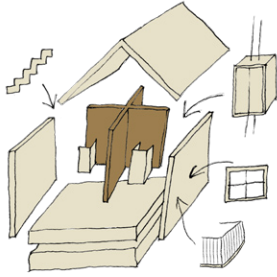
Hylla i halmbalsvägg, skala 1:20

Exempel på hur infästningen av en hylla skulle kunna gå till med hjälp av en träkil som slås in i halmen, via ett borrarat hål i putsen.

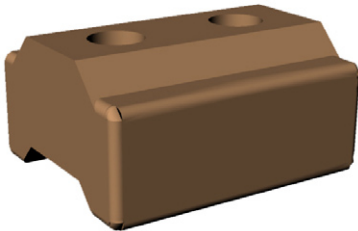
Ytbehandling

Den slutliga ytbehandlingen av de olika modulerna är i hög grad en avgörande faktor för konstruktionens livslängd och underhållsbehov. Lerputs lämnas i många fall obehandlad, men för ökat skydd och/eller estetiska förändringar tillsätts ibland olika tillsatser eller ytbehandlingar (Angbratt, 2011, s. 29). De estetiska förändringarna handlar främst om att ändra textur eller kulör, där det senare enkelt åstadkoms genom tillsatser av olika jordpigment i putsblandningen.

När det gäller att öka hållbarheten är det främst skydd mot vind och vatten som är det stora problemet. Lera är mycket känsligt för bestående fukt och det allra viktigaste är att skydda ytterväggarna genom ordentliga takutsprång, dropplister och noggrannt utförda vattenavrinningsystem. Vill man även öka ytans förmåga att motstå fukt kan den behandlas med till exempel kalkfärg, silikatfärg, eller inblandning av kalk i yttersta putslagret (Angbratt, 2011, s. 30). För hårda och vattenavstötande ytor kan man behandla med linolja eller bivax, men måste då se upp med att man riskerar att stänga in fukt i konstruktionen (s. 31).



"The Liberator" (Wikisysop, 2010).



Lerstenen kan pressas till olika former med hjälp av rätt mall i pressen. Denna illustration visar en självlåsande sten som kan muras utan bruk, men med armerad betong genom hålen.

Lägenhetsskiljande väggar: förstudie

För att kunna pressa jorden till hög hållfasthet på kort tid behöver man en CEB-press, vilket kan byggas med relativt enkla medel till en låg kostnad. Fördelen med en sådan press är att den är portabel, vilket gör att man kan tillverka lerstenarna på samma plats som man har tillgång till lämpligt jordmaterial, för att sedan flytta de färdiga stenarna till bygget när man önskar.

Bilden till vänster visar en press, kallad "The Liberator", som utformats av Open Source Ecology. Fullständiga konstruktionsritningar finns tillgängliga gratis på nätet. Den önskade utformningen på själva stenarna kan variera beroende på konstruktionsmetod. Den enklaste formen är givetvis en helt rektangulär sten, som muras med bruk. Illustrationen nedan till vänster visar på en självlåsande sten som muras utan bruk och förstärks med armering och betong genom hålen (Habitat Verde, 2011).

Vilken storlek man bör välja på stenarna beror delvis på vilken nivå på ljudisoleringen man vill uppnå. Att hitta referensvärden för de akustiska egenskaperna hos CEB har visat sig svårt. Många källor anger helt enkelt att de ljudisolande egenskaperna är "mycket goda" (se t.ex. Open Source Ecology, 2014). Dock anger holländska CEB-tillverkarna Oskam att en 40 cm vägg ger en ljudisolering på 56 dB (Oskam, 2014), vilket är klart över ljudklass C och nästan uppe i B.

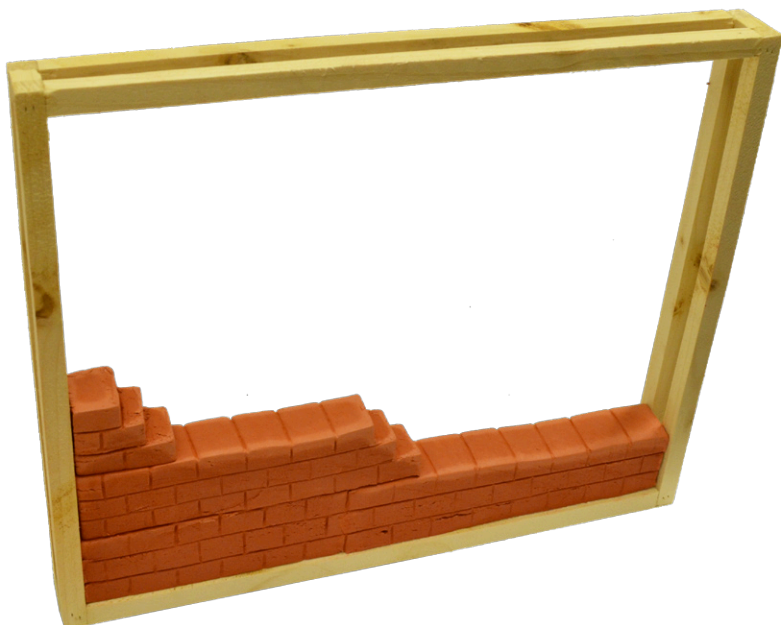
Lägenhetsskiljande väggar: konstruktionsförslag

Oavsett vilken teknik som används är det svårt att mura upp väggar tillräckligt fort på plats. Därför är ett modulärt system önskvärt även för bärande innerväggar. Att tillverka ett sådant där lerstenen är det bärande elementet är svårt och skapar dyra transporter när de tunga modulerna ska flyttas. Därför kan ett bättre alternativ vara att låta bäringen skötas av ett liknande trämodulsystem som i ytterväggarna och använda lerstenen som ifyllnad för dess goda termiska egenskaper.

De diagonala reglar som behövs för att stabilisera trästommen blir överflödiga när lerstenen murats in och gör att ramen i princip övergår till att fungera som en skiva. Därför bör de diagonala träreglarna placeras på utsidan av stommen, så att de kan avlägsnas när stommen fylls. Diagonalerna kan sedan göra fortsatt nytta i innenväggarna, som knopptechnik (se s. 38).

Storleken på stenarna, och därmed väggens tjocklek, bestäms av vilken press man använder och kan i stor grad regleras till vad man önskar. Standardstorlek för en vanlig tegelsten är 6,5x12x25 cm, men behöver alltså inte nödvändigtvis följas. Det finns dock problem med att frånga den storleken allt för mycket. Framför allt är det viktigt att stenarna inte blir för svåra att greppa eller för tunga för att hantera med en hand.

Stenarna föreslås pressas enligt standard men 30 cm långa och muras tvärs genom väggen för att slippa mura i två lager, med viss reservation för vilken ljudklass de då uppnår. De estetiska möjligheterna med lersten är lika de för tegel, med möjlighet att skapa olika nyanser och textur. Jordväggar är mycket tåliga mot brand och i en tät konstruktion med rätt ytskikt skyddas trästommen bra mot brand. Ett alternativ till bärande stommar i trä kan vara att låta bjälklaget bäras av liknande prefabricerade moduler av stampad jord som föreslås för hisschakt (se nedan).

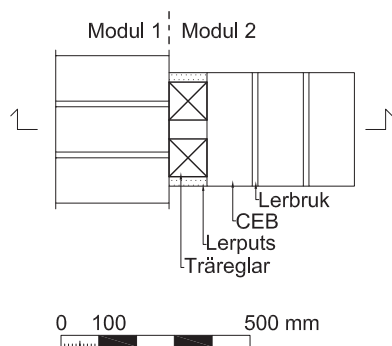


Skissmodell av en CEB-vägg i genomskärning.

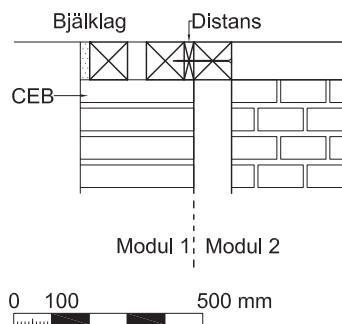
Detaljer

Nedan är ett par illustrationer över hur mötet mellan två moduler skulle kunna se ut i plan och sektion. Lerstenarna pressas något längre än bredden på trästommen så att den kan täckas av ett lager puts (se nedan t.v.), vilket bland annat skyddar mot brand. Vid ortogonala möten mellan två moduler överbryggs detta avstånd med hjälp av en distans i trä (se nedan t.h.). Infästningar av tavlor och hyllor kan ske på samma sätt som i betong.

Möte i plan, skala 1:20

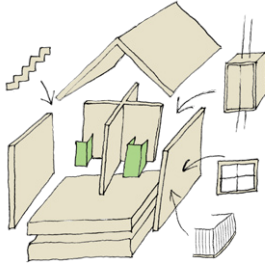


Möte i sektion, skala 1:20



Ytbehandling

En färdigmurad vägg av CEB behöver inte nödvändigtvis ytbehandlas men det kan vara lämpligt att åtminstone lägga på ett tunnt lager lerputs för att runda till stenarnas kanter och hörn. Stenarnas mönster i väggen kan behållas om man så önskar och vid behov förstärkas innan putsen torkat. Liksom för halmbalsmodulerna kan man här välja att tillsätta färgpigment, antingen genom inblandning i putsen eller genom att måla med kalkfärg. Vill man låta stenarnas eventuella färgskiftningar synas så bör man låta bli att putsa.



Innerväggar: förstudie

Det finns många tekniker som utnyttjar lera som bruk för att mura upp ett annat material. Kubbtekniken är en gammal metod som förr främst användes av de som inte hade råd med annat och råkade ha tillgång till ved eller spillvirke. Nedan ser vi en bild från restaureringen av "Borgen" i Täby, en gårdsbyggnad från sent 1800-tal (Fagerström, 2010). Här har kubben använts som ifyllnadsmaterial i en stolpverksstomme.



Byggnaden var i stort behov av renovering, men även efter över 100 år kunde många delar återanvändas (Fagerström, 2009).



Vackert ljusinsläpp i ett s.k. Earthship, USA (Earthship, 2007).

Många av de mer nutida kubbhusen som byggs i Amerika byggs med självbärande kubb och använder sig då av rundade väggar och cementbruk för ökad stabilitet. Inspiration hämtas även från andra ekologiska byggnadsprojekt som exempelvis Michael Reynolds "Earthship" (se även kapitel 2.2). Inte minst de kreativa ljusinsläpp som kan skapas av att mura in tomglas är något som flitigt används i kombination med kubbtekniken.

Innerväggar: konstruktionsförslag

Då inneväggarna byggs upp förhållandevis tunna och generellt sett raka bör kubben fungera som ifyllnad i ett glest ramverk av, förslagsvis, grovhugget trä. Detta ramverk skulle då också kunna fyllas i med andra material och tekniker, som variation eller estetiskt uttryck.

Att använda kubb är framför allt ett bra sätt att ta till vara på spillvirke när det övriga träet till byggnaden sågas upp. Spill från grovsågningen av de fällda träden blir till kubb, medan spill från justeringar av plankor kan användas till knopptechniken. Andra material som kan användas är exempelvis återvunnet tegel från den rivna skolan, glasburkar/-flaskor eller aluminiumburkar. Viktigt att tänka på är givetvis vilka väggar man önskar ha ljusgenomsläppliga, då man inte vill behöva täcka över sektioner av en vägg för att till exempel kunna sova.

Regelverket byggs förslagsvis med cc 120 cm och med 10-12 cm tjocklek, beroende på dimensioner på ev. knoppvirke och om man murar in tegelsten eller ej. Kubben sågas helt enkelt efter den tjocklek man väljer.



Tomma glasflaskor kan bli fantastiskt vackra när man låter solen lysa genom dem.



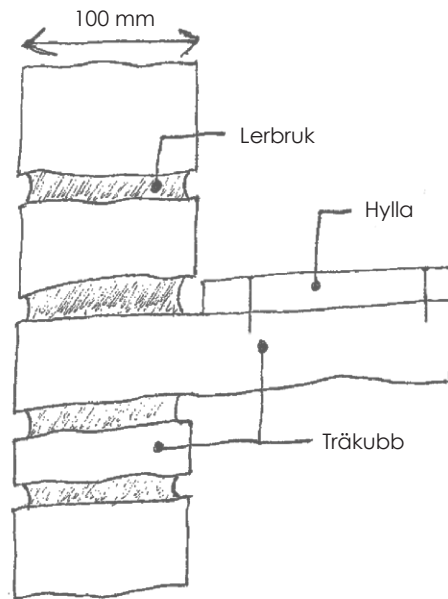
Skissmodell av en vägg med fönster och blandade tekniker som kubb, knopp och återvunnet tegel.

Detaljer

Till skillnad från de tre övriga byggnadsdelarna som presenteras i kapitel 5.2 så är detta element inte ett prefabricerat modulförslag. Därför krävs inga detaljsskisser för möten mellan olika moduler, då ramverket skapas i väggens fulla storlek direkt. Däremot finns intressanta möjligheter för infästningar av tavlor osv. I många fall kan man givetvis skruva direkt in i kubben, knoppen eller ramverket, men med god planering kan man skapa vackra detaljer som lyfter kubbtekniken till sin fulla potential. Illustrationen på nästa sida är inspirerad av en hylla i en kubbvägg uppförd av Lena Falkheden, arkitekt och universitetslektor på Chalmers Arkitektur.

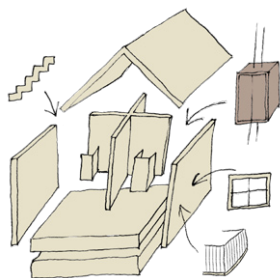
Kubbväggshylla - konceptskiss

Sektion genom en kubbvägg med inmurad kubb för stöd åt hylla. Stödet är förslagsvis en gren eller stam med lagom diameter som klyvs i två delar, där de sedan muras in med den plana sidan uppåt.



Ytbehandling

Kubbväggar lämnas ofta obehandlade och utan puts för att man ska se det vackra ändträet. Viktigt att tänka på när man murar väggarna är att låta kubbarna sticka ut något från bruket, så att inte ändarna suger upp vatten under torkningsprocessen. Om kubbarna suger upp vatten riskerar de att svälla och kan då orsaka sprickor i bruket när den sedan torkar igen. En kubbvägg kan dock likt de övriga metoderna här täckas med lerputs, men kan även täckas på en eller båda sidor med träpanel.



Hisschakt: förstudie

Valet att studera hisschaktet som en av fyra byggnadsdelar beror inte så mycket på att hisschakt i sig är utmärkande delar av en byggnad, som i att den använda tekniken är intressant. Pisétekniken är på många sätt den lokala motsvarigheten till betong, med hög bärande kapacitet och stabilitet. Den har dessutom fina estetiska egenskaper och skulle även fungera som lägenhetsskiljande vägg.

Det har på senare tid undersökts olika metoder för hur man skulle kunna skapa flyttbara moduler av stampad jord, med någon typ av ramverk eller likande. Det österrikiska företaget *Lehm Ton Erde* har i ett antal exempel visat att pisé kan skapas i moduler som sedan flyttas till bygget, utan att behöva använda varken armering eller cement i jorden (se bild nedan).

Någon som utyttjar den möjligheten är arkitekten David Martínez Escobar, som i sitt examensarbete *Earth Architecture: Building with rammed earth in a cold climate* (2013) skissar ett förslag till en byggnad i fyra våningar med bärande piséväggar. I den kontorsbyggnad han föreslår i Göteborg är våningshöjden en meter högre än i detta projekt men modulerna han föreslår är anpassade för att vara behändiga

att stampa för hand. Måtten för de modulerna är därför endast 77 cm i höjd, 180 cm långa och 65 cm breda (s. 126). Detta är klart mindre än den modul vi ser lyftas i bilden nedan, men har fördelen att vikten per modul blir förhållandevis låg, ca 4 ton (s. 129). Enligt Davids koncept stampas dessa moduler med plaströr som sedan när de staplats på varandra fylls med bambustavar.



En modul av enbart stampad jord lyfts med kran för att sättas på plats i Ricola Herb Centre, Schweiz (Bühler-Rasom, 2012).

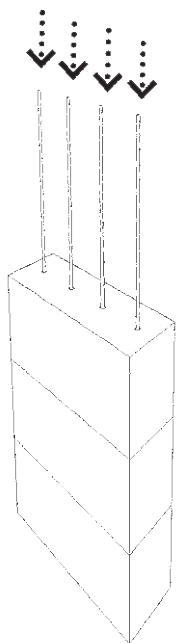
Hisschakt: konstruktionsförslag

En fördel med att använda enbart jord för modulerna är att det innebär man kan använda samma jord som för att pressa lerstenar. Detta kan även ske samtidigt och på samma plats, genom att stampa dem i ett justerbart formverk, för att sedan flyttas till bygget i lämplig tid. Att göra modulerna så stora som möjligt är fördelaktigt i avseende på tid för produktion och montering. Dock medför det då en hög vikt (ca 2000 kg/m³) och ställer högre krav på såväl frakt som lyftkran.

Även om hisschaktet inte nödvändigtvis är en viktig del av den vertikala bäringen så används konventionella schakt i betong ofta för vindavstyvning för den totala konstruktionen. Om man vill kunna åstadkomma något liknande med ett schakt i pisé krävs att man integrerar någon form av armering, likt den konstruktion med bambu som Martínez Escobar föreslår. Ett lokalt alternativ är svårt att hitta, men ett stabilare och mer beprövat sätt är att istället för bambu använda armeringsjärn. Likt den metod som beskrivs i förstudien till de lägenhetsskiljande väggarna, med ihåliga CEB-stenar, kan modulerna stampas med vertikala hål som slutligen fylls med armering och betong. Betongens roll blir främst att stabilisera armeringen och den totala mängden är procentuellt sett mycket liten.



Skissmodell av en sektion från en vägg i pisé.



David Martínez Escobars konceptuella förslag med bambuarmering som träs ned i plaströr (Martínez Escobar, 2013).

För att uppnå en god hållfasthet och stabilitet görs modulerna 50 cm tjocka och i samma höjd som den totala våningshöjden. På så vis kan skarvarna läggas dolda bakom bjälklagen. Stampad jord har en tryckhållfasthet på 2-4 MPa (Martínez Escobar, 2013, s. 71), vilket är klart lägre än betong. Trots det visar hans beräkningar att pisémodulerna kan utgöra den huvudsakliga bärringen för hela hans fyra våningar höga byggnad och ändå bara använda 50 % av sin bärande kapacitet (s. 131). Eftersom den totala byggnadshöjden i detta projekt är lägre än i Martínez Escobars arbete och pisémodulerna inte heller utgör den huvudsakliga bärringen för tak och bjälklag så antas den något reducerade tjockleken räcka väl.

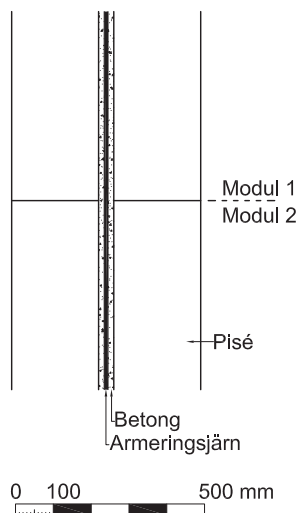
Detaljer

Eftersom hisschaktet är obrutet genom samtliga våningsplan och dessutom ofta bör kunna fungera som vindavstyvning är de intressantaste kopplingarna nu de vertikala, dvs. mellan modulerna i höjdlid. Det konceptuella förslag med bambustavar som David Martínez Escobar presenterar har ekologiska fördelar i och med användandet av bambu, men förlorar på samma vis genom bruket av plaströr. Det största strukturella problemet med förslaget är även att få bambun att ligga tätt mot plaströrens väggar, för att förhindra rörelse mellan modulerna vid stora påfrestningar.

Nedan visas en illustration över ett liknande förslag där bambun bytts ut mot armeringsjärn och infästningen löses med hjälp av betong. På så vis kan man även slippa undan plaströren. Varken armeringsjärnen eller betongen är lokala, givetvis, men ska hisschaktet kunna användas som vindavstyvning så är enbart pisé inte tillräckligt. Vid jämförelse med konventionella schakt i betong används endast en bråkdel av betongen för att fylla hålen i pisémodulerna. Möjligen skulle en kombination av

idéerna kunna fungera, där bambustavarna stabiliseras med betong, men bambuns samverkan med betong är inte undersökt här.

Precis som för CEB-väggen så kan man i en pisévägg fästa tavlor, hyllor och liknande på samma sätt som i betong.



Möte mellan pisémoduler, skala 1:20

Det vertikala mötet mellan två pisémoduler, där armeringsjärn förts ner i smala hål och stabiliserats med betong. Skarvarna placeras förslagsvis mellan våningsplanen, men kan vid behov "suddas ut" med hjälp av samma jord som modulerna stampats av.

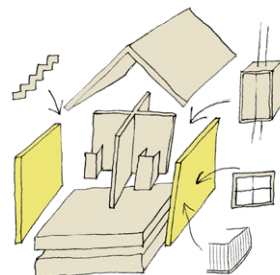
Ytbehandling

Liksom för övriga lermetoder är vatten den största riskfaktorn för slitage, så för innerväggar lämnas pisé nästan alltid obehandlat. Mindre skador kan enkelt "lappas" med samma jordblandning som fuktas lätt. En enhetlig färg på väggen är sällan ett önskemål när man använder pisé, men för att öka effekten i skiftningarna i väggens lager kan man variera jordtyp eller blanda i olika jordpigment. Liksom för lerputs kan man måla väggen, men även här är det viktigt att tänka på att använda en färg som "andas", så att man inte riskerar att stänga in fukt i väggen.

5.3 Energi & fukt

Ytterväggar

Hos de fyra byggnadselement som studeras närmare så är det bara i ytterväggarna som U-värdet är av stor betydelse. De utgör dock en mycket stor andel av den totala ytan hos klimatskalet och är därför angeläget att undersöka.



Hur U-värdet för enskilda byggnadselement beräknas skiljer sig något från hur man bestämmer det totala U-värdet för en hel konstruktion. Den största skillnaden ligger i att man för elementen inte tar hänsyn till köldbryggornas längd, vilket också är anledningen till den stora skillnaden i krav mellan U_m (0,4 W/m²K) och $U_{vägg}$ (0,18 W/m²K) (se ss. 55-56).

Beräkningen av U-värdet för enskilda element beskrivs bland annat i den till BBR kompletterande boken *Energihushållning och värmeisolering* (Elmroth, 2012). För konstruktioner bestående av flera parallella skikt beräknas U-värdet genom:

$$U = 1/R_T \text{ där } R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

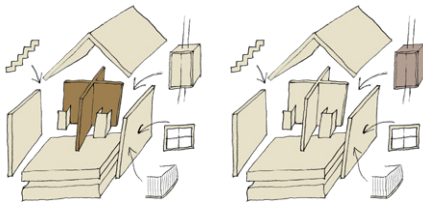
och $R_{si} \approx 0,13$, $R_{se} \approx 0,04$ för ytterväggar

(ss. 118-119).

För den ytterväggskonstruktion som beskrivs i kapitel 5.2 får man då för en modul på 2,5 x 3 m ett U-värde på 0,11 W/m²K vid användning av Bokalders lambdavärde på halm och 0,13 W/m²K med Berges (se bilaga 8.1, *Beräkningar*). Båda värdena är alltså klart under det uppsatta kravet från BBR och även precis under Energimyndighetens "godhetstal" på 0,13 W/m²K. Värt att notera är att det i båda fallen är klart under det värde som anges för ModCells modulsystem *Traditional*, som använts som förebild för den beräknade strukturen. Möjliga anledningar till detta är att de i sina beräkningar använt ett betydligt högre lambdavärde för halm-balar än de Bokalders och Berge anger, eller att värdet är baserat på mätningar i laboratorietest. Ytterligare en bidragande faktor kan vara den köldbrygga som de genomgående limträbalkarna innebär, även om det inte kan förklara hela skillnaden.

Fukt är en av de lokala teknikernas största fiende men på samma gång en styrka. Fördelen med halm är att det är bra på att transportera fukt, vilket gör att väggarna "andas" naturligt. Tack vare det kan man bygga modulerna utan ångspärr i plast. Samtidigt är halm mycket känsligt för bestående fukt och måste skyddas med rejäl "hatt och stövlar", dvs. hög grund och utskjutande tak. Detsamma gäller lerputsens som inte hårdar som kalk- och cementputs gör. Därför är det generellt sett svårt att använda lerputs som fasadmateriäl. Genom att använda längsgående balkonger som skydd vid varje våningsplan bör man ändå kunna åstadkomma ett tillräckligt skydd även i regniga klimat.

Eftersom trä och lera reagerar olika på fukt är det troligt att man behöver använda någon form av skyddande duk mellan trästommen och lerputsens. Materialens olika rörelsemönster skapar annars en risk för sprickbildningar i putsen. Dessutom får träsens uppsugningsförmåga lerputsens att torka ut fortare där materialen är i kontakt, vilket också skapar sprickor.



Lägenhetsskiljande väggar & Hisschakt

Eftersom väggar av CEB och pisé är gjorda av samma material med väldigt lika egenskaper inom energi och fukt behandlas de här tillsammans. Då varken lägenhetsväggarna eller hisschaktet är i kontakt med yttre klimatet finns inte samma behov av isolering och skydd från fukt. En vägg av stampad jord uppnår bättre U-värden än motsvarande vägg i betong men når knappt upp till tegel. Däremot har jordväggar i egenskap av tung konstruktion mycket god värmelagringsförmåga. Hur detta påverkar det totala energibehovet är något som kan vara svårt att

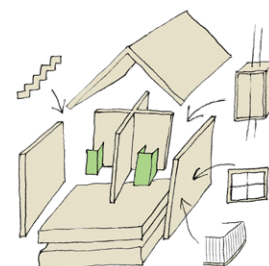
beräkna, vilket bland annat märks på att kraven från BBR inte beaktar funktionen. I praktiken innebär det dock att man kan undvika kraftiga temperatursvängningar genom att väggarna "absorberar" de värsta topparna och dalarna. Detta är en funktion som är mycket värdefull i klimat med stora temperaturvariationer på kort tid, men i ett svenskt klimat är jord som yttervägg ännu oftast sett med tvivel.

I mindre byggnader är behovet av kylning och avfuktning sällan stort, men i mer "extrema" miljöer kan jord ha en mycket positiv roll att spela. Kontor, affärer och skolor är några exempel på där skillnaden i inomhusklimatet kan vara mycket stor mellan natt och dag, vilket skapar en speciell problematik kring både fukt och värme. Genom att använda en tung jordkonstruktion kan man minska behovet av energi för mekanisk reglering av förhållandena.

Innerväggar

Innerväggarnas effekt på inomhusklimatet beror delvis på vilka val av material som görs och hur stor andel bruk som används. Oavsett andel bruk blir väggarna, i likhet med de lägenhetsskiljande väggarna, en tung konstruktion som är bra på att hantera fukt och värme. Genom att kuben ligger med fiberriktningen genom väggen fungerar de bra för att transportera ut fukt och behöver därför likt halmväggarna mest skyddas mot långvariga fuktförhållanden. Dock är det just fiberriktningen som är med och skapar det dåliga U-värdet, vilket beskrivs mer i bilaga 8.1.

Eftersom trä och lera hanterar fukt lite olika är det viktigt att låta träkubbarna sticka ut en bit från lerbruket. Fibrernas goda uppsugningsförmåga gör annars att bruket torkar för fort och riskerar att spricka. Lerbruk är dock mer elastiskt än cement- eller kalkbruk, vilka riskerar att spricka även efter härdning om väggen utsätts för kraftiga svängningar i fuktmiljön. När man bygger med knopptechniken, dvs. murade plankbitar, hamnar fibrerna i väggens längsriktning och isolerar därför bättre. Där är man istället begränsad av plankornas bredd, vilket gör att man i slutändan ändå har svårt att använda tekniken för klimatskalet. I de försök som gjorts i bland annat Kanadada har ytterväggar i kubb oftast gjorts som dubbla skal, med ett fukttåligt isoleringsmaterial mellan. Den tekniken är väldigt arbetskrävande och i slutändan krävs det oftast att man använder ett isoleringsmaterial som inte går att utvinna lokalt.



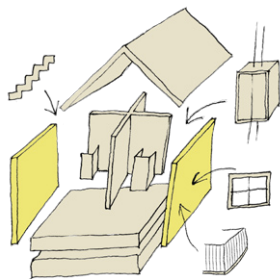
5.4 Byggprocess & ekonomi

Ett av de viktigaste kraven som sattes för den markanvisningstävling som ägt rum för delar av planområdet (se kapitel 4.2) var att den slutliga hyran i genomsnitt inte skulle överstiga 1400 kr/m²/år. Detta syntes bland annat genom att tre av de inlämnade tävlingsförslagen blev diskvalificerade på grund av att de angivit en högre summa (Göteborgs Stad Fastighetskontoret, *Protokoll*, 2013), samt att det vinnande förslaget uppmärksammats mycket för sina låga hyreskalkyler.

För en hållbar utveckling i städerna är det viktigt att nya bostäder inte bara byggs för de rikaste och därför har de ekonomiska aspekterna i byggande inte bara blivit en fråga om maximerad vinst, utan även om social hållbarhet. En fullständig ekonomisk prognos likt den som gjorts för tävlingsbidragen är inte möjligt inom ramarna för detta arbete, men vi ska ändå kika på några av de ekonomiska aspekterna för de olika byggnadselementen. Samtidigt berörs även processen för

hur de olika delarna skulle kunna skapas, då det är en av de viktigaste faktorerna för ekonomin.

Ytterväggar



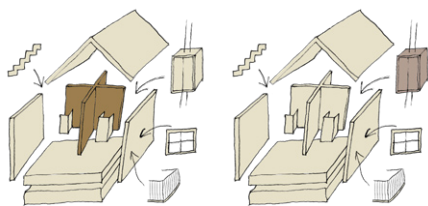
Kostnaden för halmbalsmodulerna är i första hand beroende på tre saker: materialkostnader, arbetskostnader och frakt. De största besparingarna man kan göra ligger här i materialen, där inte minst halmbalar kan medföra stora vinster jämfört med många andra material. Uppgifter om pris för halm saknas i konventionella byggkalkylatorer som exempelvis Byggnyckeln och Wikells sektionsfakta, så därför har egna beräkningar gjorts (se bilaga 8.1) med hjälp av materialkostnader som är vanliga på marknaden. Priset för halmbalarna avgörs givetvis med den bonde som har tillgång till rätt sorts halm, men vanligt pris är ca 1 - 1,50 kr/kg (gäller 2014), vilket innebär uppåt ca 180 kr/m³.

Motsvarande pris för glasfiberull kan istället ligga runt 400 kr/m³ (Bauhaus, 2014). Dock är det viktigt att komma ihåg att glasullen har bättre isoleringsförmåga och därmed inte behövs i samma mängd. Ett viktat pris hamnar då snarare runt 320 kr/m³, beräknat på att glasullens lambdavärde utgör ca 80 % av halmens (baserat på Bokalders värde, 0,045 W/m²K). För en modul på 2,45 x 3,8 m sparar man då med halmbalar in runt 400 kr (nästan halva priset) i isoleringskostnader.

När det gäller såväl träreglar som lerputs beror priset väldigt mycket på var och hur materialet hämtas. Har man egen tillgång till skog och lera blir råvaran billig, samtidigt som det är viktigt att komma ihåg att arbetskostnaderna ökar jämfört med att köpa färdigt virke och lerputs. Det största problemet med halmmodulernas ekonomiska lönsamhet ligger just i det ökade arbetet som tekniken innebär. Därför är det viktigt att en effektiv arbetsmetod utvecklas, något som också skulle kunna diskuteras mer i samband med modulernas struktur. Detta, tillsammans med den tekniska infrastrukturen i halmmoduler, är något som fortfarande är i behov av stor utveckling innan halm har möjlighet att på riktigt kunna konkurrera som isoleringsmaterial för större byggnader.

En fördel med att tillverka flera byggnadsdelar som moduler är att man då kan planera en snabb tillverkningskedja där väntetider minskas. Genom att producera ytterväggar, lägenhetsväggar och hisschakt i en gemensam lokal kan man enklare utnyttja de gemensamma materialen.

Lägenhetsskiljande väggar & Hisschakt



Produktionen av CEB och pisé skiljer sig delvis, men då materialen och kostnaderna är mycket lika behandlas de även här tillsammans.

Det finns många typer av pressar för att skapa CEB, med olika kapacitet, funktioner och prislapp. Maskinen *The Liberator* som presenteras i avsnitt 5.2 kostar enligt skaparna i *Open Source Ecology* runt 1000-1350 USD i materialkostnader (Open Source Ecology, 2013). Själva leran bör sedan gå att få tag på till ingen eller mycket låg kostnad, transporter undantagna. Liksom för samtliga av dessa fyra byggnadsdelar är det istället arbetet som innebär högre kostnader. I David Martínez Escobars examensarbete *Earth Architecture* (2013) skriver han att stampad jord kan kosta 10 % mer än vanliga tekniker (s. 88), men på pekar även att den extra kostnaden är för arbete, vilket bidrar positivt till det lokala samhället i stort.

Tillverkningen av pisé kan gå till på olika sätt med skillnad främst i hur mycket mekaniska hjälpmedel som används. För en effektiv produktion krävs hydrauliska packare och en större maskin med skopa för påfyllning av jord i formverken. Detta är dock en engångsinvestering som kan användas för åtskilliga väggar, vilket minskar kostnaden per modul.

Nyckeln till att få ner produktionskostnaden för såväl lerstenarna som stampjordsmodulerna ligger i att skapa förutsättningar för att använda så få personer som möjligt i tillverkningen. Genom att samla tillverkningen av de olika byggnadselementen till en och samma plats kan man utnyttja både materialtransporter och personal på ett så effektivt sätt som möjligt. Med rätt sorts CEB-press tillverkas lerstenarna i högt tempo och det viktigaste blir då att ha tillgång till bra maskiner för påfyllning av löst material, samt stapling och bortforsling av färdiga stenar. På samma sätt kan ett smart och flexibelt formverk för att stampa jorden öka produktionsstakten avsevärt jämfört med att stampa på plats.

En fördel med de färdiga lerstenarna är att de är enkla att förvara yteffektivt och därmed också praktiska att frakta. Dock kan vikten innebära att transportkostnaden och -utsläppen blir högre. En metod för att minska påverkan på ekonomi och miljö kan vara att tillverka stenar med hålrum i, vilket både minskar vikten och materialåtgången. Hur detta skulle påverka exempelvis ljudisoleringen är oklart.

I och med att lerstenen slutligen muras i stående trämoduler förenklas byggprocessen tack vare att riktlinjerna blir enkla att sätta upp. Trämodulerna byggs med fördel i samband med att trästommarna för halmmodulerna byggs. I övrigt blir själva murningsprocessen likvärdig med liknande byggen i vanligt tegel, med skillnaden att man använder lerbruk istället för cement.

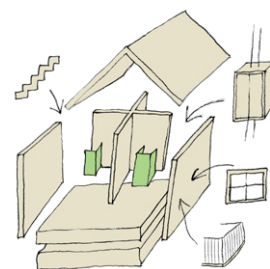
Pisémodulerna är snabba att stapla när de väl är på plats i bygget men är till skillnad från CEB mycket stora och tunga att frakta. Densiteten är visserligen något lägre än för betong, men den totala volymen blir också betydligt större på grund av den ökade tjockleken. Därför är det av största vikt att tillverkningen planeras så att man minimerar transportsträckorna mellan utvinningen, produktionen och byggplatsen.

Innerväggar

I direkta materialkostnader är kubbväggarna väldigt fördelaktiga. Utöver lerbruket är samtliga material spill från olika verksamheter: kubb från skogsavverkning, plankbitar från sågverk/byggnation, tegel från rivningsprojekt, glasflaskor från "skräp", etc. Det som kostar är insamling och eventuell bearbetning av materialen (exempelvis sågning och klyvning av kubb) samt frakt.

Liksom för CEB-väggarna består en stor del av arbetet (och därmed kostnaden) i att blanda lerbruket och mura upp väggarna. Ett både udda och nytänkande sätt att minska kostnaderna skulle kunna vara att här involvera de som ska flytta in i lägenheterna. Eftersom själva byggtekniken är väldigt enkel krävs få instruktioner, samtidigt som de boende får en chans att känna sig delaktiga i skapandet av sina framtida hem.

Genom att låta de boende vara med i skapandet kan lägenheterna ges en individuell prägel med unik och konstnärlig estetik. Samtidigt skapas samvaro mellan de blivande grannarna genom att låta dem hjälpa varandra med de gemensamma



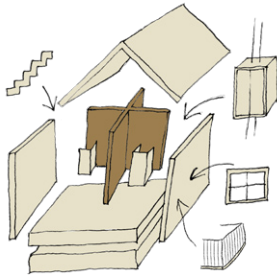
5.5 Miljöpåverkan

Under rubrikerna "lokalt" och "globalt" behandlas delar som kan anses tillhöra den sociala aspekten av hållbarhet. I den lokala delen läggs här fokus på exempelvis hur materialen påverkar byggnadsarbetares och boendes hälsa, samtidigt som bland annat ekonomiska och estetiska aspekter får utrymme. Under "globalt" redogörs för hur de lokala materialen kan vara med och skapa en mer rättvis byggnad, samt andra effekter materialen har på den globala situationen. Efter- som många av teknikerna använder delvis samma material är vissa av miljökonsekvenserna liknande för modulerna. För att tabellerna nedan inte ska ta onödig plats upprepas inte alla punkter, varför de bör läsas i relation till varandra.

KATEGORI	Halmmoduler	Stål + mineralull
Ekologiskt	+ Lagrar CO₂: -4,8 ton CO₂e per modul. Halm och trä har låg inbäddad energi (Berge, 2009, ss. 23-26)*. Halm och lera är ofta restprodukter från annan verksamhet. Vid byggnadens slut kan materialen energiåtervinnas eller återgå till naturen.	+ Mineralull har ett bättre isoleringsvärde än halm. Konventionell konstruktion med plastfilm kan vara lättare att lufttäta. Vid rivning kan stålet återvinnas.

KATEGORI	Halmmoduler	Stål + mineralull
Ekologiskt	▪ Användandet av halm tar ut viss näring ur jordbruksmarken. Fällning av träd kan bidra till försämrade skogar och minskad biologisk mångfald.	▪ Bidrar till utsläpp av CO₂: 1,8 ton CO₂e per modul. Brytning och behandling av materialen skapar miljöfarligt avfall (Berge, 2009, ss. 77, 262). Ej lokalt producerade vilket medför ökade transportutsläpp. Materialen har hög inbäddad energi (Berge, 2009, ss. 23-26). Mineralullen behöver ett tätskikt av plast.
Lokalt	➕ Materialen innebär små hälsorisker för både byggare och boende. Användandet av lokala material skapar arbetstillfällen i närområdet. Med effektiva byggnadsmetoder kan halmmoduler bidra till en billigare byggnad. ▪ Halmbalarnas form och tjocklek begränsar i viss mån möjligheterna estetiskt.	➕ Materialen och byggnadsteknikerna är beprövade och kan skapa en säker konstruktion. Materialen finns att tillgå i många former och storlekar, vilket ger stora möjligheter estetiskt. ▪ Mineralull kan avge partiklar som skadar inomhusklimatet. Materialkostnaderna kan bli något högre.
Globalt	➕ Genom att bryta materialen lokalt kan man säkerställa etisk framställning. De miljömässiga konsekvenserna av brytningen förflyttas till konsumenten. Halmväggar binder upp koldioxid och bromsar därmed växthuseffekten. ▪ Icke-lokala arbetsplatser försvinner. Internationell handel minskar, vilket kan påverka nationers relationer.	➕ Icke-lokala material gynnar handel och relationer mellan nationer och regioner. ▪ Brytning av järnmalm sker ofta i öppna gruvor vilket påverkar det lokala området drastiskt (Berge, 2009, s. 77). Osäkra arbetsförhållanden för utländska arbetare där material är framställda utomlands.

* Den inbäddade energin bör i detta läge ej inräkna "Combustion value", då materialen kan användas för förbränning vid byggnadens slut.



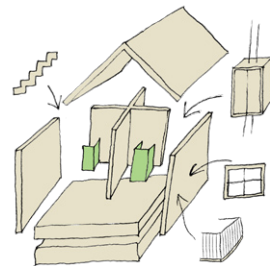
Lägenhetsskiljande väggar

De konventionella lägenhetsväggarna är oftast i betong med ett mellanliggande lager av isolering för att öka ljuddämpningen. I detta exempel består väggen av tre lika tjocka skikt i betong - mineralull - betong, och beräknas på moduler i storleken 2,5 x 3 x 0,3 m.

KATEGORI	CEB-vägg	Betong + isolering
Ekologiskt	+ Lågt utsläpp av CO₂: 0,01 ton CO₂e per modul. Materialet finns i överflöd och kan ofta vara en restprodukt från utgrävningar. Vid rivning kan lerstenen återanvändas eller återgå till sitt ursprungliga tillstånd. - Materialet är tungt och kräver mycket energi att transportera.	+ Få eller inga fördelar. - Bidrar till utsläpp av CO₂: 0,5 ton CO₂e per modul. Hög inbäddad energi (Berge, 2009, ss. 23-26). Betongen är inte möjligt att återvinna vid rivning av byggnaden. Mineralullen skapar miljöfarligt avfall och är i dagläget inte lönsam att återvinna.
Lokalt	+ Byggs med enkla medel, vilket minskar kostnaderna för material och maskiner. Bidrar till en fukt- och värmetrög byggnad, vilket skapar ett bättre inomhusklimat. - Konstruktionen är arbetsintensiv, vilket riskerar att öka kostnaden för byggnaden. Kräver extern bärande konstruktion för att hålla tempot uppe under konstruktionen.	+ I dagläget kan de konventionella metoderna ofta bli billigare, vilket skapar billigare bostäder. Beprövad metod som enkelt byggs modulärt. - Tillsatser i betong kan avge hälsoskadliga ämnen. Mineralull kan avge partiklar som skadar inomhusklimatet. Betongväggarna skapar lätt en både fysiskt och visuellt "hård" och kall yta.
Globalt	+ Se "Ytterväggar". - CEB binder inte koldioxid. Se "Ytterväggar" för fler punkter.	+ Se "Ytterväggar". - Brytning av kalk, sand och grus för betong kan skapa skador på det lokala området. Bränningen av kalk skapar utsläpp av bland annat kväveoxider och tungmetaller (Berge, 2009, s. 98).

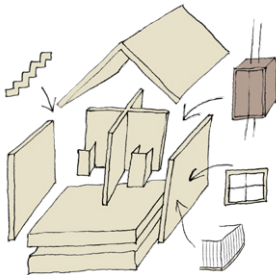
Innerväggar

För innerväggarna jämförs kubbväggen med en gipsvägg av samma slag som i kapitel 3.2. I beräkningen av koldioxidekvivalent anses kubbväggen bestå av enbart kubb, utan glas, tegel e.dyl. och beräknas på storleken 2,5 x 3 m.



KATEGORI	Kubbvägg	Gipsväggar
Ekologiskt	+ Lagrar CO₂: upp till -0,2 ton CO₂e per sektion. Väggarna kan byggas med till största delen restmaterial och "skräp". Vid rivning kan materialen återvinnas eller återgå till naturen. - Veden till kubb skulle kunna användas som miljövänlig energiresurs istället.	+ Gips kan till viss del återvinnas men är oftast olönsamt ekonomiskt. Vid rivning kan stålet återvinnas. - Bidrar till utsläpp av CO₂: 0,2 ton CO₂e per sektion. Se "Ytterväggar" för fler punkter.
Lokalt	+ Skapandet av kubbväggarna kan involvera de boende. Väggarna är bra på att lagra värme och fukt. Kubbtekniken innebär stora estetiska möjligheter, med bland annat intressanta ljusinsläpp. - Kubbväggarna skapar ett personligt och unikt utseende som kanske inte passar nästa som flyttar in. Kubbväggar är opraktiskt att bygga modulärt. En tunn kubbvägg med glasflaskor e.dyl. får dålig ljudisolering.	+ Gipsskivor fungerar bra som brandskydd. - Mineralull kan avge partiklar som skadar inomhusklimatet.
Globalt	+ Eftersom kubbväggar till stor del kan byggas med restmaterial och "skräp" skapas väldigt lite miljökonsekvenser såväl lokalt som globalt. Se "Ytterväggar" för fler punkter. - Se "Ytterväggar".	+ Gipsskivor tillverkas ofta av industrigips, vilket är en restprodukt som i sig själv inte orsakar stora skador på naturområden. Se "Ytterväggar" för fler punkter. - Om naturligt gips bryts är risken stor för omfattande skador på den lokala miljön (Berge, 2009, s. 258).

Globalt	Industriellt gips är ofta en rest från kolkraftverk, vilka har starkt negativ inverkan på miljön. Se "Ytterväggar" för fler punkter.
---------	--



Hisschakt

Som konventionellt alternativ till de stabila pisémodulerna används i detta exempel armerad betong. Modulernas CO₂-ekvivalenter beräknas på storleken 3 x 3 m med tjockleken 0,5 resp. 0,3 m.

KATEGORI	Pisémoduler	Armerad betong
Ekologiskt	+ Låga utsläpp av CO₂: 0,2 ton CO₂e per modul. Enkel att återvinna. Se "Lägenhetsskiljande väggar" för fler punkter. - Modulerna blir tyngre än betongmoduler vilket kan skapa höga transportutsläpp.	+ Få eller inga fördelar. - Bidrar till utsläpp av CO₂: 1,5 ton CO₂e per modul. Hög inbäddad energi (Berge, 2009, ss. 23-26). Betongen är inte möjligt att återvinna vid rivning av byggnaden. Brytningen av stålet skapar miljöfarligt avfall och kräver mycket energi.
Lokalt	+ Bidrar till en fukt- och värmetrög byggnad. Kan skapa ett unikt och naturnära estetiskt uttryck. Materialet är billigt och konstruktionen enkel. - Vid långa transporter av modulerna kan kostnaderna bli höga. Konstruktionen av modulerna kräver tyngre fysiskt arbete än att gjuta betong.	+ Beprövad metod som är enkel att prefabricera. - Tillsatser i betongen kan innehålla hälsoskadliga ämnen.
Globalt	+ Brytningen av materialet sker oftast med små konsekvenser för både global och lokal miljö. - Pisé binder inte CO₂. Se "Ytterväggar" för fler punkter.	+ Se "Ytterväggar". - Se "Ytterväggar" och "Lägenhetsskiljande väggar".

5.6 Utförande

Hittills har vi i kapitel 5 främst undersökt byggnadsdelarna som enskilda element. I detta avslutande avsnitt visas hur de skulle kunna sättas ihop till en byggnad genom planer, sektioner och fasad, detaljer över infästningar och tätningar, en översiktlig monteringssekvens, och ett kollage plus perspektiv som visar på det färdiga resultatets materialitet.

Nedanstående planlösning, samt följande fasad och sektion ska ses som skissförslag och tar exempelvis inte upp installationer, ledningsstråk, schakt och avrinning. En undersökning av möjligheterna att även använda sig av lokalt producerade rör och eldragningar osv. vore värdefullt men får inte plats i detta arbete. En kortare reflektion över detta återfinns i nästa kapitel.

Som påpekats i kapitel 1.5, *Avgränsningar*, ska inte måttsättningar och planlösningsdetaljer tolkas för precist i den konceptuella planen. Illustrationerna finns för att ge en generell bild över storleken och lägenhetsindelningen på byggnaden, visa på hur fördelningen av de olika modulerna ser ut, samt tillsammans med detaljskisserna visa på de utmaningar modulerna skapar för planlösningen.

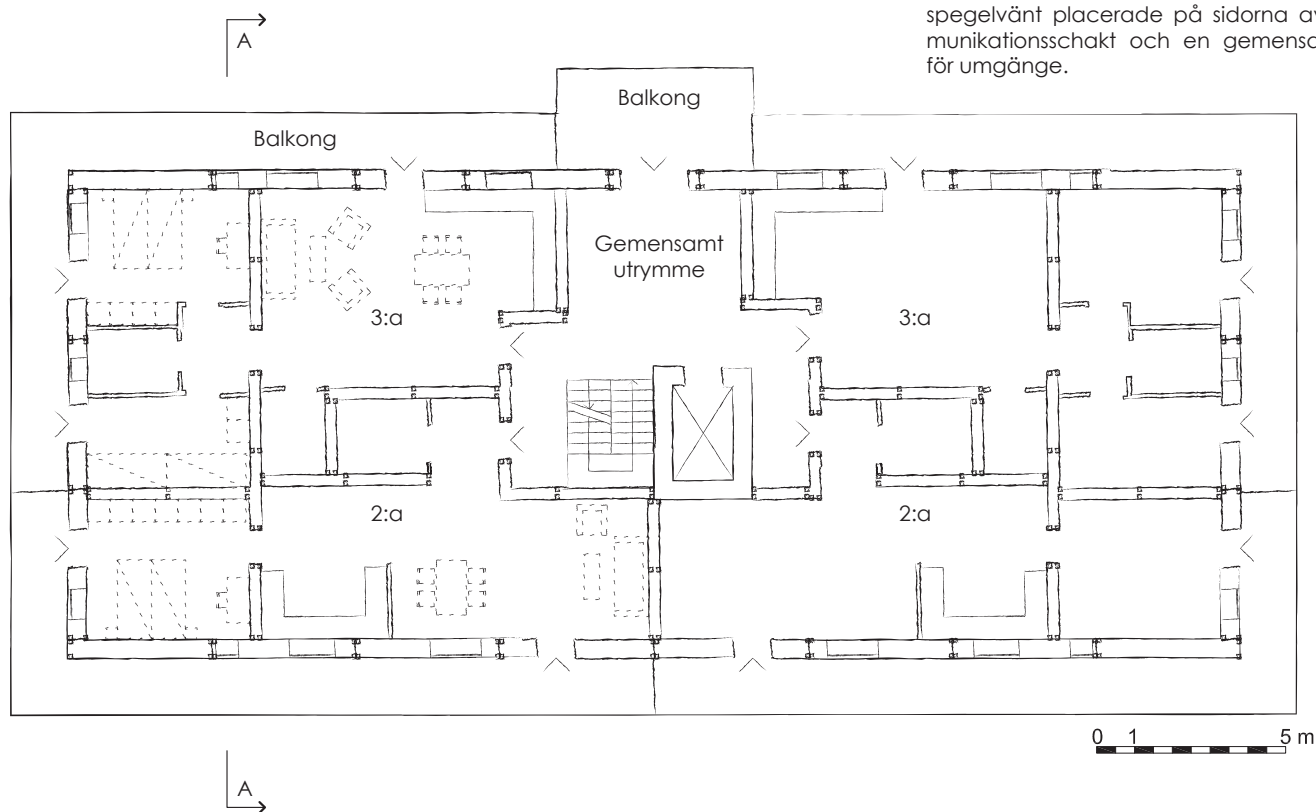


Situationsplan, skala 1:1000

Situationsplan med byggrättsgräns och omgivande byggnader enligt Stadsbyggnadskontorets förslag (se s. 49). Entrén har här flyttats till den gårdsplan som bildas mot huset ovan på samma byggrätt.

Planlösning, skala 1:200

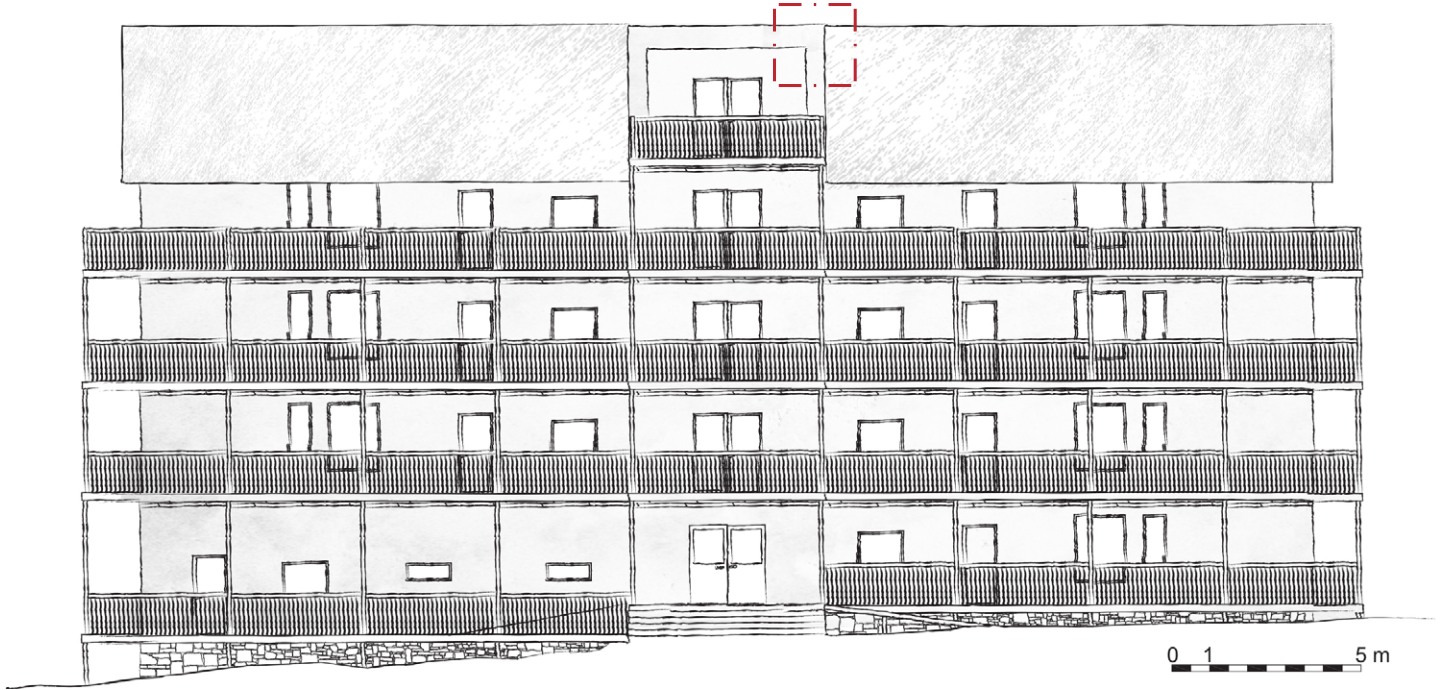
Planen visar ett "normalplan" på våning 2-4, som består av två 2:or och två 3:or, spegelvänt placerade på sidorna av kommunikationsschakt och en gemensam yta för umgänge.



Sektion A-A s. 90

I fasaden ser vi tydligt hur de runtgående balkongerna skapar karaktär åt byggnaden, samtidigt som de utgör skydd från regn för fasadputsen. Den uppstickande fyrkantiga delen i mitten utgör en gemensam yta med full takhöjd, där detaljen nederst på sidan visar hur konstruktionen går till i en sektion från det högra hörnet (markerat). Resterande delar av vindsplanet används för teknikutrymmen, förråd eller liknande. I plan ett finns förutom lägenheter även plats för förråd, cykelrum och gemensamma lokaler, etc.

Fasad mot norr, skala 1:200

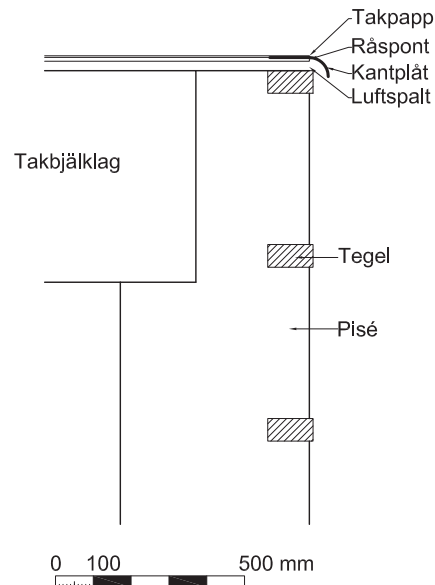


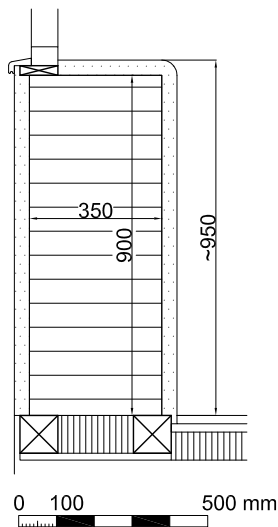
Takdetalj i pisé, skala 1:20

Den vågade detaljen i taket är inspirerad av House Rauch i Österrike (bild nedan), där ett i princip platt tak utan överhäng har satts på väggar av pisé. Tricket för att skydda väggarna är att stampa in horisontella rader av tegel, vilka skapar ett kontrollerat och planerat slitage på väggen.



House Rauch, med väggar av pisé utan taköverhäng (Bühler, 2008).



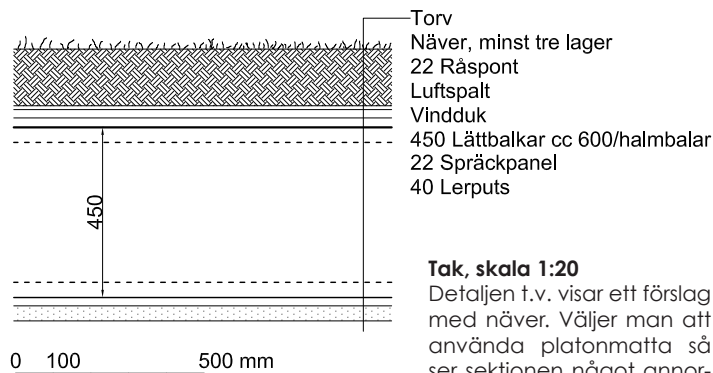
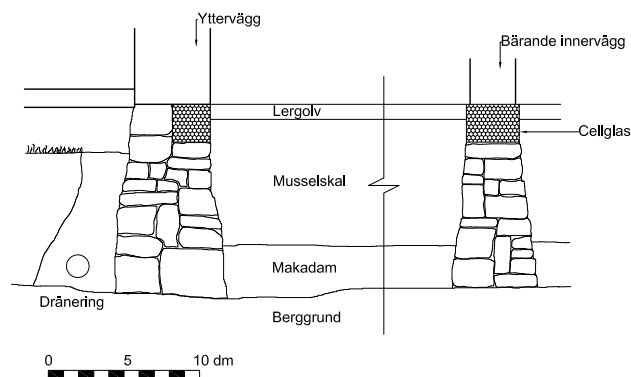


Bröstning, skala 1:20

Sektionen visar på hur fönsterbröstningen är direkt beroende av balarnas höjd. Här syns höjden med två balar, vilket ger ca 95 cm bröstning, ungefär vad som behövs till exempel ovanför köksbänkar. För fönster med en bal under blir bröstningen ca 50 cm.

Grund, skala 1:50

De bärande väggarna vilar på murade naturstenar, där köldbryggan bryts av cellglas. Rummet mellan murarna fylls med krossade musselskal, vilka isolerar och agerar som kapillärbrytare. Istället för att gjuta en platta i betong på toppen gjuts ett golv i lerjord, som behandlas för att tåla slitage. I lägenheter och liknande ytor förses golvet med ovanpåliggande regler och isolering, likt för bjälklagen.



Tak, skala 1:20

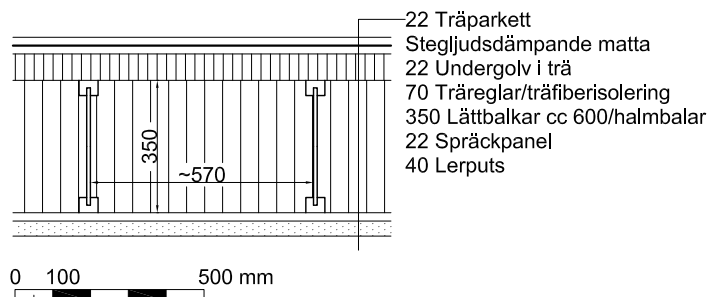
Detaljen t.v. visar ett förslag med näver. Väljer man att använda platonmatta så ser sektionen något annorlunda ut.

Sektion A-A, skala 1:200



Bjälklag, skala 1:20

Sektionen nedan visar ett bjälklag för längre spannvidd med lättbalkar i cc 600 mm. Balarna pressas något kortare än så och läggs på tvären mot balkarna. Ovanpå lättbalkarna läggs ett lager träreglar och träfiberisolering, för att höja golvhöjden och öka ljuddämpningen.



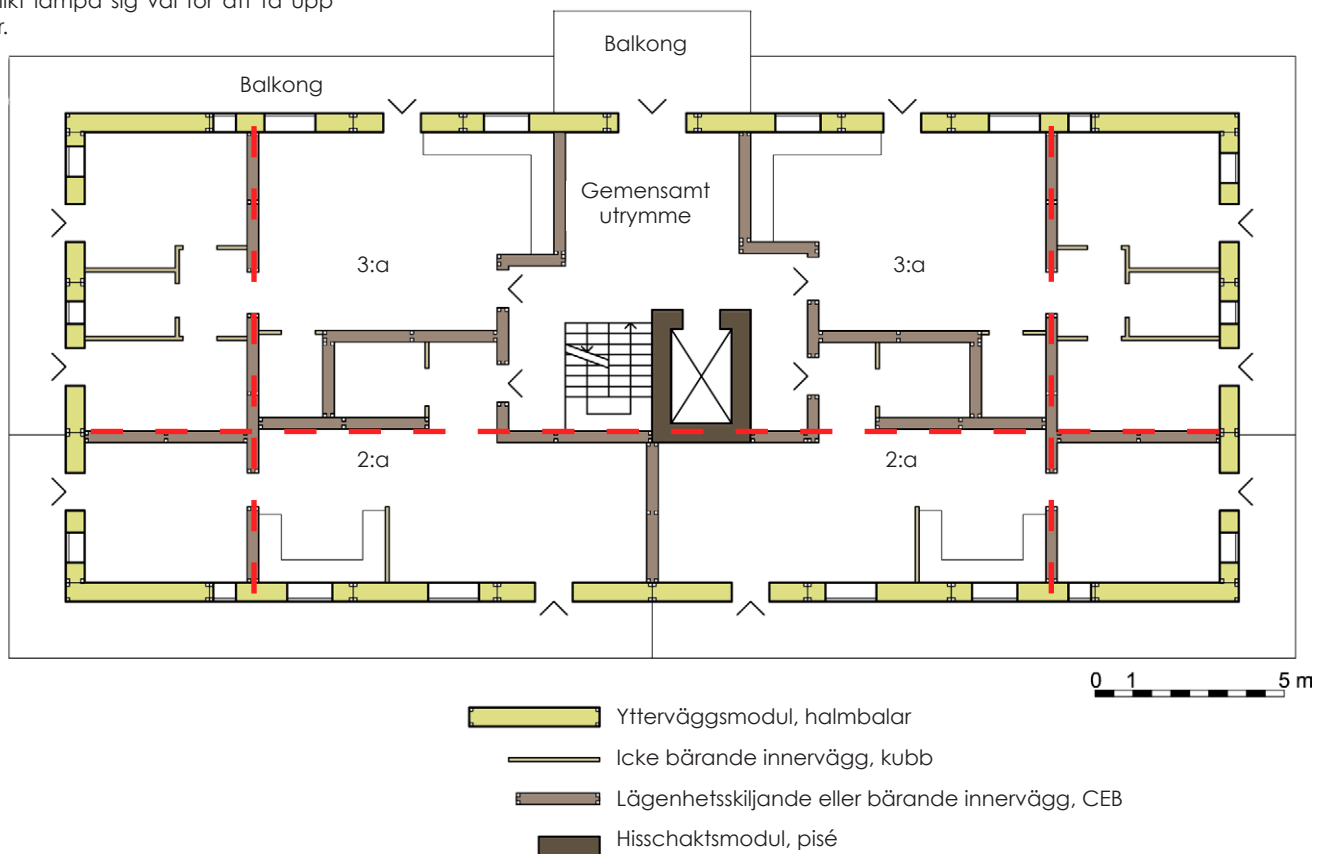
I illustrationen nedan syns hur planen är uppdelad i de olika byggnadsmodulerna. Den konceptuella planlösningen är som redan påpekats ganska generell i sin måttsättning, så för exempelvis detaljer på hur fönster bör placeras i modulerna hänvisas till illustration på sidan 69 samt sektionen för bröstning på föregående sida.

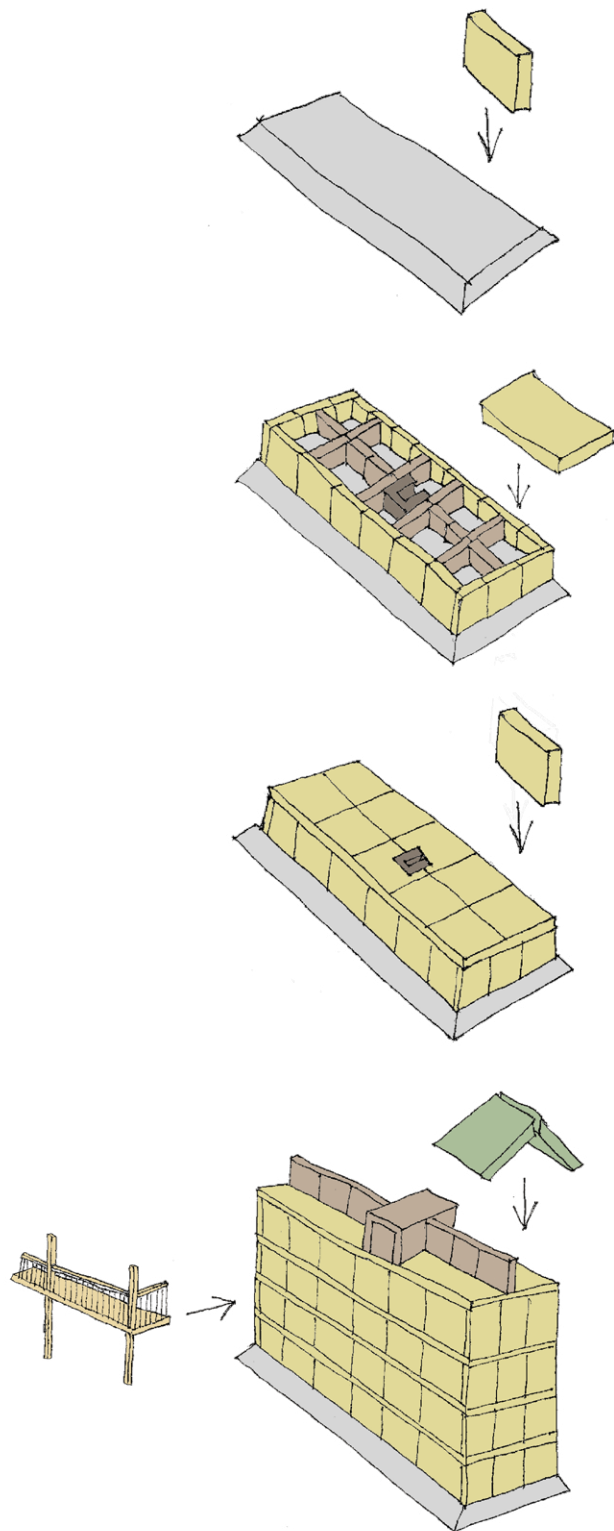
Längden på ytterväggarnas moduler behöver inte nödvändigtvis vara samma för alla moduler med tanke på att de ändå behöver tillverkas unika på grund av olika fönstersättningar m.m. Däremot har man halmbalarnas längd att förhålla sig till och i praktiken blir det därför lämpligt att hålla sig till ett fåtal längder anpassade efter detta. I planen nedan är ytterväggsmodulerna generellt sett utformade likt modulen på sidan 69, dvs. 3,8 meter i längd. För att minska antalet infästningar på de bärande innerväggarna förstärks de längre sektionerna med extra träreglar på mitten, istället för att dela upp i två moduler. Eftersom de transporteras utan lerstenen skapar den extra längden inga besvärliga vikter.

Modulindelning, skala 1:200

De streckade röda linjerna visar tänkta väggar som skulle kunna vara med och ta upp horisontella krafter mot byggnaden. För att klara dessa krafter i enbart ytterväggarna finns det risk att diagonalerna i modulernas hörn antingen skulle bli av så kraftiga dimensioner att de inkräktar på balarnas utrymme, eller att man tvingas använda andra material än trä. De färdiga modulerna av CEB fungerar däremot likt kraftiga skivor och skulle sannolikt lämpa sig väl för att ta upp dessa krafter.

Ett översiktligt schema för hur modulerna sätts ihop från grund till tak syns på nästa sida, varpå detaljer för kopplingarna mellan de olika modulerna följer i **Montering 1-8** på sidorna 93-95.





Till vänster illustreras en förenklad översiktsbild av hur monteringen av de prefabricerade modulerna skulle kunna gå till steg för steg.

Efter att grunden murats upp och fyllts upp placeras den första våningens väggmoduler och fästs enligt **Montering 4**. Kopplingarna och tätningen mellan ytterväggens moduler ser vi i **Montering 1-3**. Kopplingar mellan de bärande innerväggarna är även illustrerat tidigare, i kapitel 5.2.

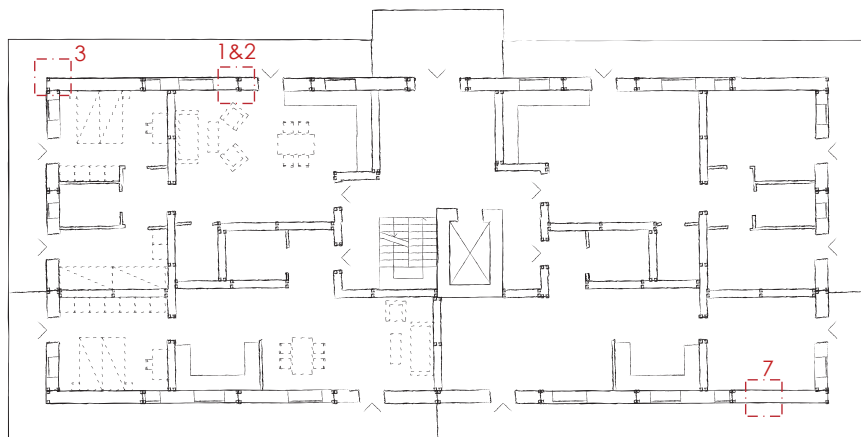
När första våningsplanets väggar är monterade läggs bjälklaget på och fästs in i bärande innerväggar enligt **Montering 5** och i ytterväggarna enligt **Montering 6 & 7**. När väl bjälklaget är på kan man även påbörja arbetet med att fylla de bärande innerväggarna med CEB samt sätta upp de icke bärande innerväggarna i kubb.

När första bjälklaget täcker våningsplanet, så när som på det genomgående hisschaktet, upprepas proceduren med nästa vånings väggar och bjälklag.

Slutligen placeras taket och hela byggnaden ska snart vara väderskyddad. Därefter fortsätter arbetet med att fästa balkongerna, vars infästning syns i **Montering 6**, putsa ytskiktet i lerputs, samt sätta upp innerväggar m.m..

Översikt

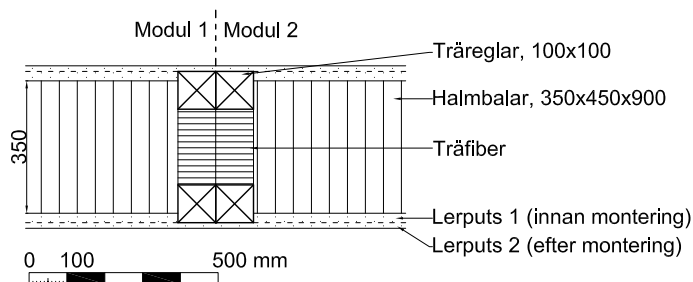
Exempel på platser i byggnaden där de följande vertikal- och horisontalsnitten skulle kunna tagna.



Montering 1, skala 1:20

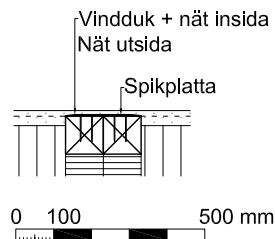
Möte mellan två ytterväggsmoduler. Hållrummen mellan reglarna fylls i förväg med exempelvis remsor av träfiberisolering eller skivor av cellglas för att även skydda bättre mot brand längs fasaden.

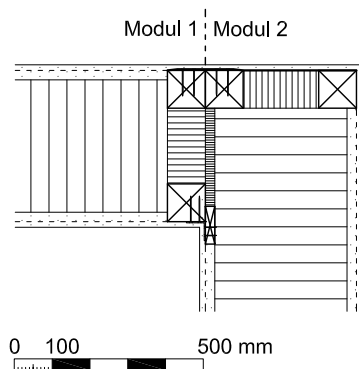
Ett första lager puts läggs innan flytten till bygget (streckad linje) och kompletteras sedan på plats med ytputs när modulerna är färdigmonterade.



Montering 2, skala 1:20

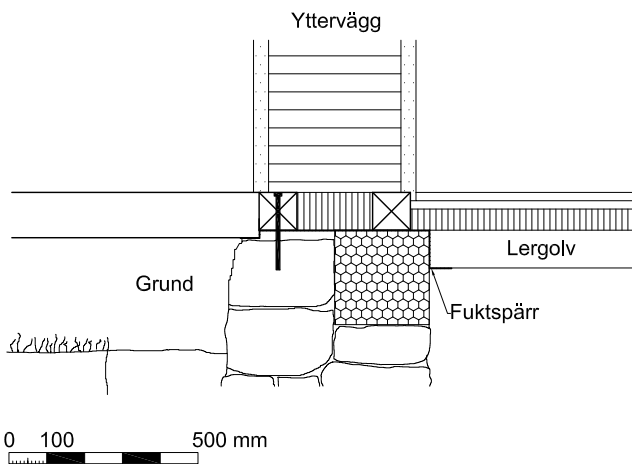
Tätningen mellan modulerna åstadkoms i första hand av det yttersta lagret lerputs, men kompletteras på insidan med vindduk. På båda sidor fästs även ett nät för att förbättra vidhäftningen för putsen. Modulerna fästs i varandra med hjälp av skruv i spikplatta.





Montering 3, skala 1:20

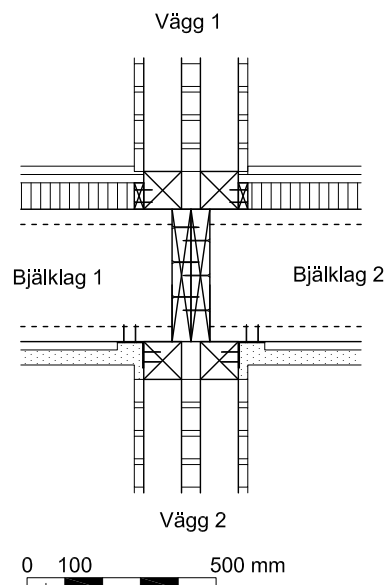
Mötet i ett hörn sker på liknande sätt som längs en vägg, men för att förbättra infästningsmöjligheterna från sidan förses en av modulerna med en extra sågad regel, 38x100 mm. Denna fästs sedan i den angränsande modulen med hjälp av vinkeljärn.



Montering 4, skala 1:20

För att undvika köldbryggor genom bottensylen i elementet läggs träfiberisolering mellan reglarna. Den yttre regeln bultas sedan fast i grunden. För att komma åt att fästa bulten behöver man på utvalda platser lämna en lucka i den yttre putsen.

Eftersom lergolvet lätt suger åt sig fukt går fuktspärren ned en bit längs insidan av grundmuren, tills musselskalen bryter kapillärkrafterna istället.



Montering 5, skala 1:20

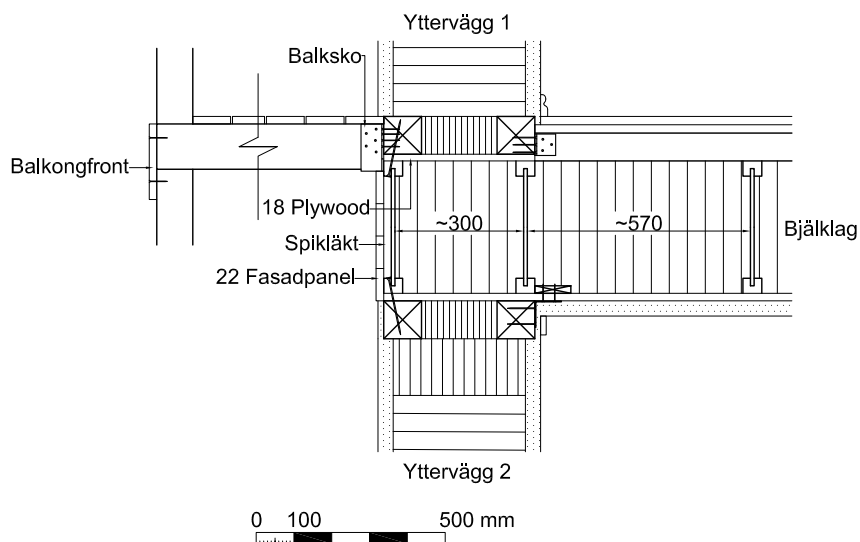
I denna sektion ser vi mötet mellan två bjälklagsmoduler och bärande innerväggar i CEB i båda plan. Bjälklagen fästs ihop med spikplatta, varefter den ovanpå stående väggen fästs i golvreglarna som ligger på lättbalkarna. I väggarnas överkant fästs reglarna in i lättbalkarna med hjälp av vinkeljärn. Dessa döljs senare när slutlig puts läggs på, men det är viktigt att bjälklaget lämnar en lucka i takskikt respektive undergolv för att komma åt.

Montering 6, skala 1:20

I mötet mellan bjälklag, yttervägg och balkongerna läggs de yttersta lättbalkarna i bjälklaget med ett tätare cc (350 mm istället för 600 mm) för att hamna under de bärande reglarna i väggen. Detta medför att extra korta balar på ca 300 mm får pressas för den yttersta raden.

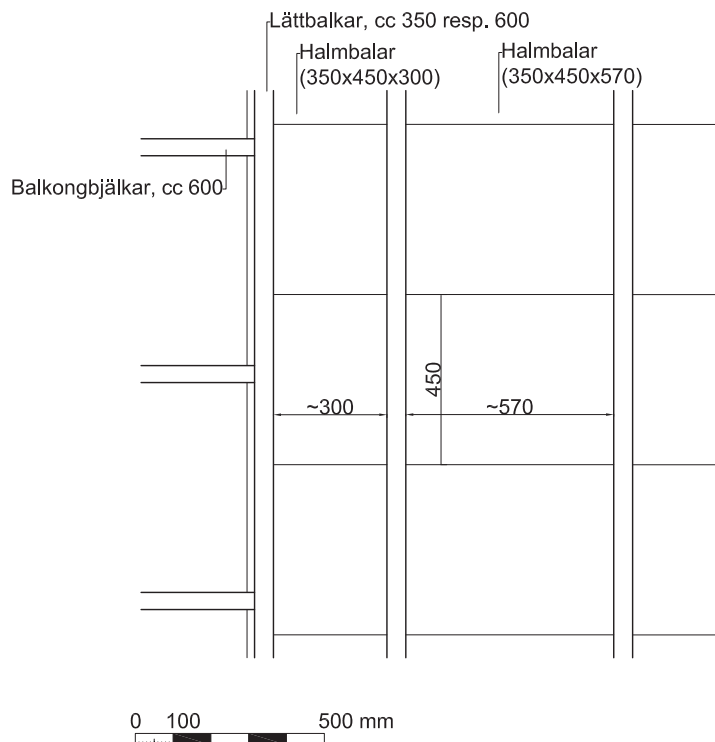
För att inte skapa extra köldbryggor är balkongerna fristående och fästs i ytterväggen med en balksko. Istället för att putsa på den yttersta lättbalken förstärks de horisontella linjerna mellan våningsplanen med fasadpanel i trä.

För att minska köldbryggorna läggs träfiberisolering mellan reglarna i väggarna och infästningen mot bjälklaget sker genom långa konstruktionsskruv på utsidan och vinkeljärn på insidan.



Montering 7, skala 1:20

Denna illustration visar samma detalj som ovan, men i plan. Snittet är taget strax under bjälklagets möte med ovanliggande yttervägg och skär således genom lättbalkarna i bjälklaget. Här ser vi halmbalarnas riktning och hur den yttersta raden pressas ungefär hälften så lång som de övriga balarna i bjälklaget.



Materialitet



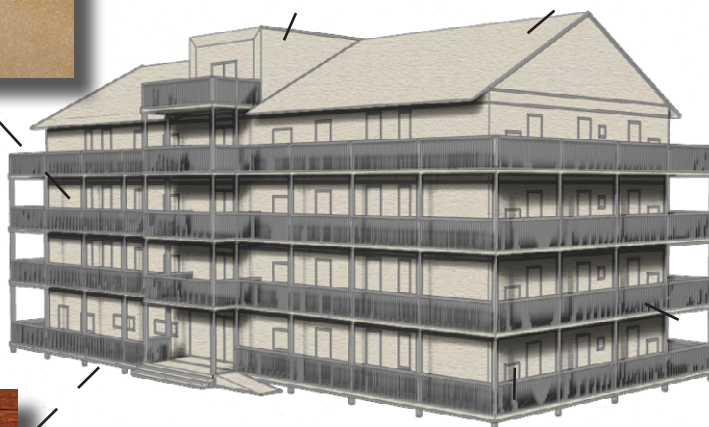
Pisévägg (Bühler, 2008).



Torvtak (Holmstad, 2012).



Lerputs på fasad (Diasen).



Grund i murad natursten (Namslauer).



Träbalkonger (ModCell, Balcony, 2013).



Lerputs vid fönster (Inspirational Village, 2011).

Dagsljus

Ett problem som uppstår när man använder balkonger/loftgångar som skydd mot regn på fasaden är att man samtidigt försämrar förutsättningarna för bra dagsljusinsläpp i lägenheterna. I BBR (avsnitt 6:322) finns krav på att vistelserum ska ha god tillgång till dagsljus. Det finns ingen definition av "god tillgång", men väl vägledande rekommendationer för hur man antas kunna uppnå det. I praktiken görs ändå inte alltid noggranna beräkningar av dagsljusförhållanden i en bostad om inga specifika krav har ställts. Krav av denna typ kan dock förekomma, exempelvis om byggnaden ska certifieras enligt miljömärkningssystem som svenska Miljöbyggnad eller internationella LEED och BREEAM.

Det finns olika sätt att beräkna eller simulera dagsljus i ett rum, men hur väl resultatet speglar det upplevda dagsljuset är diskuterat. För att ändå göra en bedömning av byggnaden som beskrivits i detta kapitel har en beräkning enligt Miljöbyggnads system utförts, då det är ett bra exempel på hur dagsljus i praktiken beräknas i verkliga projekt hos större byggföretag. Byggnaden klarar i sin helhet betyget BRONS, vilket motsvarar BBRs rekommendation för lägsta tillgång till dagsljus. Fullständiga beräkningar återfinns i bilaga 8.1.





6. Slutsatser & Reflektion

Slutsatser

I takt med att sociala aspekter som arbetsförhållanden, lönevillkor och lokal miljö vid materialens utvinning allt mer uppmärksammas av media och allmänhet när det gäller bland annat mat och kläder, så haltar byggindustrin lite i jämförelse. Även hos de största och ledande företagen är begreppet social hållbarhet fortfarande i sin linda och saknar ofta en tydlig definition. De få exempel på bristande insyn i tillverkningsförhållanden som presenteras i bland annat kapitel 2.2 skrapar sannolikt bara på ytan av en problematik med bristande insyn.

I arbetets syfte och frågeställningar är den grundläggande frågan hur byggnation med lokala material kan verka för social hållbarhet och global rättvisa, samt vilka övriga effekter det har på bland annat ekologi, hälsa och ekonomi. Genom studierna presenterade i kapitel 2 och 3 har det visat sig att det finns stora vinster att göra genom användandet av lokala material, såväl socialt som ekologiskt, globalt som lokalt. Först och främst medför det att man återför kontrollen till byggherren, så att den kan säkerställa etisk produktion både i form av goda arbetsförhållanden för arbetarna och att hänsyn tagits till den lokala miljön och ekologin. Bristerna i dagens system syns tydligt på de många exempel på orättvis fördelning av resurser som man finner när man väl börjar gräva. Genom att använda lokala material hamnar problem i produktionen automatiskt på agendan i de lokala medierna.

Jämförelsen mellan ett konventionellt och ett lokalt exempel i kapitel 3 visar även att det lokala alternativet har flera fördelar även utanför de sociala aspekterna. Bland annat bidrar de lokala materialen inte till en ökad växthuseffekt på samma vis som konventionella, och de utnyttjar till en mycket högre grad förnyelsebara material. Dessutom har de överlag en bättre effekt på byggarbetarnas och de boendes hälsa, men här behöver man även se till komponenter som inte tas upp i detta arbete för en fullständig helhetsbild. Den största utmaningen för de lokala materialen ligger istället inte oväntat i den ekonomiska biten, främst på grund av den ökade arbetsbelastningen och brist på standardiserade metoder.

Diskussionen kring vad som bör betraktas som "lokalt" ligger fortfarande utan en solklar slutsats men det finns goda anledningar till att verka för att gränsen sätts snävt. Inte minst gör förflyttningen av de miljömässiga konsekvenserna att man som konsument får både en "piska" och en "morot" i valen av byggnadsmaterial. Samtidigt finns det anledning att ibland överväga om det klokaste inte är att tumma lite på gränserna. Som påpekas i kapitel 2.4 så kan det inom en kort radie bland annat vara svårt att hitta tillräckliga mängder halm för ett större bygge. En orubblig gräns riskerar då att utesluta material som egentligen bär med sig de största fördelarna ekologiskt.

Att arbeta med en gräns på ca 3 mil har visat sig fungera ganska bra, men skulle om lokala material användes i större utsträckning behöva utökas betydande. Det intressanta med att studera ett så pass litet område har varit att upptäcka hur många potentiella byggnadsmaterial vi trots allt har runt omkring oss. För mindre konstruktioner (villor och liknande) kan en gräns på 3 mil säkerligen vara utmanande men ändå fullt genomförbart för den typ av byggnadsdelar som studerats i det här arbetet. Däremot finns det en klar risk att större byggnader skulle tvingas pussla ihop många mindre mängder material från olika platser eller över lång tid för att nå upp i den totala mängd som behövs. Ett tydligt exempel på detta är musselskal, som beskrivs kort i kapitel 2.4, där det inom ungefär tre mil endast finns mindre

produktion medan det bara ett tjugotal mil längre bort finns stor tillgång på skal i Danmark.

Det mest logiska blir nog i slutändan att göra noga övervägda kompromisser, där man sätter olika gränser för olika material och delar av byggnaden. I många fall kan det också vara behövligt att se till mer bearbetade material. Saknas exempelvis tillgång till halm kan träfiberisolering eller hampa vara goda ekologiska alternativ, trots svårigheter att hitta tillverkning inom det närmaste området.

När man jämför de ekologiska effekterna av att använda lokala material går man egentligen utanför de egenskaper som bestäms av själva lokaliteten. Trä går att få tag på både i Göteborg och ifrån Norrland, men utsläppen från transport kan snabbt åsidosättas om träet i Norrland lufttorkat och det i Göteborg värmestorkats. Jämförelsen blir därför endast intressant mot de idag konventionella materialen. I de resultat som redovisas i denna rapport är det dock viktigt att komma ihåg att många av byggnadens delar har utelämnats. Det gäller bland annat infästningsmaterial, rördragning, elektriska komponenter och fasta installationer. I volym är dessa en mycket mindre andel än de beståndsdelar som har behandlats, men som framgår av resultaten i kapitel 3.2 kan ibland en liten komponent ha oproportionellt stor miljöpåverkan. Dessutom kan, som ordspråket går, många bäckar små bli en stor å. Enligt Björn Berge kan den totala användningen av plastmaterial i en "typisk skandinavisk bostad" (vad detta är framgår ej) uppgå till hela 2650 kg (2009, ss 140). En intressant och nödvändig uppföljning till detta arbete skulle kunna vara att kika närmare på hur man kan försäkra att dessa utelämnade delar tillverkas etiskt och med litet ekologiskt avtryck.

En fråga som måste ställas i diskussionen om lokala materials effekt på den globala rättvisan är om det inte också finns nackdelar med att minska långväga handel av byggnadsmaterial. Risker finns, skulle det kunna hävdas, att fattiga länder och människor blir av med arbete om exportbehoven minskar. Kanske är det för dem mer värdefullt att över huvud taget ha en inkomst, än att säkerställa sin hälsa och lokala naturvärden. Idealet är förstås att vi i framtiden ska kunna genomföra internationell handel och stärka banden mellan länder och kulturer utan att på samma gång utnyttja samhällets svagaste och förstöra den biologiska mångfalden. Vägen dit kanske enklast går via en övergång till mer lokala material. När den bristande etiska hänsynen drabbar de som i slutändan är kunder uppstår möjlighet till grundläggande förändringar i företagspolicy och praxis. Kanske är det först efter en sådan förvandling som vårt moderna konsumtionssamhälle är redo för internationell handel?

Användandet av lokala material har inte bara potential att förändra synen på etisk framställning utan kan även vara vägen till en förändrad syn på vad ett hem är och hur man bör engagera sig i skapandet av det. Produktionsmässigt är den kubbvägg som presenteras i kapitel 5.2 en stor utmaning, men frågan är vad involveringen av de framtida boende skulle kunna medföra utöver en bra start på granngemenskapen. Genom att engagera sig i byggandet av sitt hem skapar man inte bara ett band till sina grannar, utan även till byggnaden i sig själv. Kanske är det just det som behövs för att skapa känslan av ett "riktigt hem", vilket också skulle medföra en känsla av stolthet och omsorg. På så vis skulle skadegörelse och slitage minska, samtidigt som en ökad trivsel bidrar till bättre hälsa för de boende.

För att skapa stolthet och glädje över sitt hem räcker det dock inte med att man varit involverad i byggnationen. Något av det viktigaste är kanske att arkitekturen är vacker och funktionell. Så frågan är då: går det att skapa en god arkitektur med de byggnadsmoduler som föreslagits i kapitel 5? Detta är en fråga som är svår att

svara på med ett kort svar. Varje modul har givetvis sina för- och nackdelar som på olika sätt skapar vinster och begränsningar för arkitekturen. Att använda lerputs på halmbalsmodulerna kan ge upphov till vackra estetiska möjligheter i form av uttrycksfulla naturnära färger eller rent av konstnärliga utsmyckningar och skulpturer. Samtidigt medför lerputsens behov av skydd från regn begränsningar i hur fasaden kan utformas.

I det perspektiv som presenteras på s. 97 syns tydligt att balkongerna får en mycket framträdande roll i byggnadens uttryck, på gott och ont. Som nämnts i avsnittet om balkonger (s. 65) så kan man exempelvis använda dem för att skapa en grön fasad med klättrande växter, och genom att låta dem gå runt hela byggnaden kan man skapa goda kommunikationsvägar mellan olika delar av lägenheterna både inomhus och utomhus. Vill man ändå skapa mer frihet i det arkitektoniska uttrycket så finns det alternativ. Dels kan man använda glas i kombination med träet för att förändra balkongernas visuella intryck, eller så kan man testa olika kombinationer av växlande lägen på balkongerna för olika våningsplan. Med tanke på balkongernas bredd är regnskyddet tillräckligt för mer än ett våningsplan, så helt runtgående balkonger på samtliga plan kan vara mer än vad som behövs. En kombination med dropplistor i fasaden kan också vara en möjlig idé.

På liknande vis begränsar halmbalarnas mått i viss mån möjligheterna för fri placering av fönster i en modul, då det medför väldigt mycket extra arbete att omforma balarna. Vill man komma runt det problemet kan man välja att kombinera halmen med ett annat isolerande material som träfiberull eller hampa, för att till en något högre kostnad öka sin frihet.

När det gäller materialiteten så har de lokala materialen en möjlighet att införa helt nya uttryck i en modern byggnad. Framför allt är moduler av pisé ett mycket spännande alternativ till betong även i mer minimalistisk nutida arkitektur. Materialets robusta och hårda känsla påminner om betongens stabilitet, samtidigt som skiftningarna mellan lagren skapar värme och liv åt väggarna. Vill man arbeta med enbart lokala material är däremot materialiteten en av de största begränsningarna, då många typer av material utesluts (åtminstone med detta arbetes gräns för lokalt). Framför allt gäller den begränsningen material som plast och metall, vilka i de flesta fall främst går att anse som lokala resurser vid återanvändning.

Mycket ligger slutligen i betraktarens ögon: lerputsens något grova och opolerade yta kan av någon anses vacker i sig själv, medan en annan kan sakna gipsskivans perfekta släthet om man vill tapetsera. Just hur man kan välja att ytbehandla lerputs var något jag fick möjlighet att studera närmare på ett besök hos arkitekt Conny Jerer, som under många år experimenterat med olika typer av färger och ytskikt på lera. En lärdom därifrån är att en god kännedom om materialens funktion och egenskaper är A och O för att låta ytskikten komma till sin fulla rätt och åldras vackert.

Men hur står sig då de lokala materialen när de ställs mot de krav som kommer från detaljplan, kvalitetsprogram, BBR, osv, specificerade i kapitel 4.2? Min slutsats är att de klarar sig galant och rentav medför vissa direkta fördelar ställt mot det kvalitetsprogram som satts upp för Högsbotorp. Exempelvis passar lerputsen in i områdets ljusa jordfärger och de vanligt förekommande sadeltaken är lämpliga för torvtak, som inte är passande på plana tak. Det som främst skulle sticka ut mot den omgivande bebyggelsen är nog de ovan diskuterade balkongerna, men om de kläs med växtlighet skulle de passa in bra i områdets naturkänsla. Bland kraven från BBR så har främst energikraven undersökts mer grundligt. Det finns en viss osäkerhet

i isoleringsvärdet hos halm, men även för ett medelvärde kan ytterväggsmodulerna leva upp till de U-värdeskrav som ställs för en energieffektiv byggnad. I kombination med tunga innerväggar bör byggnaden nå god energiprestanda. Övriga parametrar såsom ljus, fukt och ljud beror i olika grad även på byggnadens utformning, men de lokala materialen bör inte innebära några hinder.

I slutändan kvarstår trots allt ändå att det finns många tekniska bitar att lösa innan de lokala materialen och teknikerna har en möjlighet att konkurrera med de konventionella metodernas effektivitet, tekniska prestanda och ekonomi. De exempel som uppvisas genom ModCells halmbalsmoduler och Lehm Ton Erdes pisémoduler pekar dock på att det finns potential att industrialisera produktionen av byggnadselement med lokala material. En intressant och mycket efterfrågad vidarestudie skulle vara att utveckla halmmoduler som i en högre grad klarar av att medföra de tekniska installationer vi idag har i våra hus. Som framgår av bilaga 8.4 finns det många intressanta träkonstruktioner under utveckling och mer lär komma under de närmaste åren. En kombination av trä och lokalt producerad isolering är definitivt en av de viktigaste utmanarna till betong och mineralull i svenska flerbostadshus.

En svårighet som kommer med ökad användning av trä är att säkerställa att byggnaden kan leva upp till de krav som vi idag ställer på brandskydd. Risken är annars att man antingen tvingas introducera kemiska brandskyddsmedel eller höja kostnaden genom att installera sprinklersystem. Hur lerputsens skyddande förmåga kan medverka till att träkonstruktioner klarar brandkraven är en fråga som vore väl värd att undersöka i framtida arbeten. När det gäller rena lerkonstruktioner som pisé eller CEB så bör däremot inte brandkraven ha en större inverkan på möjligheterna att använda materialen i moderna konstruktioner.

I den avslutande diskussionen i David Martínez Escobars examensarbete *Earth Architecture - Building with rammed earth in a cold climate* betonar han hur avgörande det är att industrin slutar se på pisétekniken som enbart en "do-it-yourself"-teknik (Martínez Escobar, 2013, s. 147) och att vi börjar använda den i våra städer. Möjligheterna som lermaterialen medför är viktiga att inte försumma enbart för att de i sig själva inte klarar att uppnå de energikrav vi idag har uppsatt. Likheter med betong är, som David påpekar, på många sätt ganska stora och med rätt vilja, kunskap och utveckling kan mycket av dagens cement sparas in.

Under tiden som vi väntar på att fler färdiga byggnadssystem och moduler av lokala material ska utvecklas kan det vara värt att se över vilka delar av byggnaden man redan idag skulle kunna byta ut mot lokala tekniker. Här handlar det främst om redan hantverksmässiga tekniker där de konventionella materialen har en liknande lokal motsvarighet. Exempelvis skulle man i många fall kunna använda CEB och lerbruk där man idag använder tegel och cementbruk, eller byta ut invändig cement- eller kalkputs mot lerputs.

En del av lokala material som inte diskuterats så mycket i detta arbete, men som förtjänar mycket större uppmärksamhet, är användandet av den befintliga bebyggelsen och rivningsmaterial. Hänvisningen till Christopher Day i avsnittet om "skräp" i kapitel 3.2 talar just om den otroliga möjlighet som finns i att använda material som redan "amorterat" sin miljömässiga skuld. Avsaknaden av återvinningsbart tegel vid rivningen av Högsboskolan borde vara en väckarklocka för dagens byggnadsindustri. Mycket av det tegel som nu ligger krossat och utspritt över planområdet hade funnit en given plats i ett nytt flerbostadshus, om det bara hade varit fritt från cementbruk. Istället blir nu det energifyllda teglet ett problem som kostar både energi och pengar att forsla bort.

En orsak till att det idag skulle vara svårt och tidskrävande att bygga ett större projekt med lokala material är att det också kräver mycket arbete att hitta alla de resurser man behöver. För att få tag i återvunnet tegel behöver man veta var en lämplig byggnad snart ska rivas, för lerjord var passande jord behöver bortforslas, och för halm krävs bra kontakt med lokala bönder. Att fortsätta utveckla och använda databanker såsom *Bygg Igen* (www.byggigen.se) för lokala återvinningsbara resurser skulle kunna ge både små och stora byggherrar helt andra möjligheter att välja miljövänliga och lokala material, samtidigt som de som inte längre behöver materialen kan skapa en extra inkomst, alternativt minskade utgifter för bortforsling.

Reflektioner

En av de tuffaste utmaningarna, men samtidigt största behållningarna med att skriva detta arbete var den stora mängden ny kunskap som behövde införskaffas för att ens börja förstå möjligheterna och begränsningarna med lokala material. Trots en förhållandevis gedigen referenslista (se kapitel 7) så har många böcker och internetsidor aldrig kommit med i det slutliga arbetet. Det samma gäller stora delar av kunskapen som införskaffats, inte minst information om alla de otaliga material och lokala/traditionella byggnadstekniker som jag studerade i jakten på lämpliga material i en modern urban kontext. Att finna grundläggande information om naturliga och lokala material har oftast varit enkelt, men specifik och pålitlig teknisk data generellt desto svårare. Många böcker, och inte minst internetkällor, grundar sig i entusiasters kärlek till ett specifikt material eller en byggnadsmetod, där man ibland i sin iver missat att vara kritisk till uppmätta värden. Samtidigt har egenskapen "lokalt" ofta fått en ganska blygsam roll i sammanhanget och inte minst den etiska aspekten av lokala material är i det närmaste förbisedd.

I kombination med att lokala material till stor del varit en ny värld som öppnats har arbetets potentiella omfång gjort det svårt att begränsa sig och hålla en hög kvalitet på den praktiska delen. Att arbeta med lokalt producerade och bearbetade material i en urban kontext är ofta långt ifrån dagens byggstandard, och varje modul som beskrivs i föregående kapitel skulle med enkelhet kunna bli ett examensarbete (eller mer) i sig självt. Samtidigt har det varit otroligt värdefullt att testa möjligheterna och undersöka vilka metoder som finns redan idag. Företag som ModCell och Lehm Ton Erde lyckas trots svårigheter ändå visa att det är möjligt att bygga modernt med lokala material, om än med mycket att vidareutveckla.

Som jag beskriver i förordet har processen till det här arbetet varit lång och skiftat i fokus. Som slutsats är det bara att konstatera att användandet av lokala material är ett djupt och brett ämne med potential att skapa en mer rättvis arkitektur och som definitivt behöver utforskas mer. Det lokala slutar inte heller i material, utan kan och bör utvidgas till att omfatta lokal befolkning, lokal kunskap och lokal kultur. Hur man kan involvera och engagera de lokala personernas erfarenheter, vilja, kreativitet och fantasi i dagens mekaniserade byggindustri är en fråga jag gärna hade berört mer, men som inte fick plats i detta arbete. För en holistisk syn på hållbar utveckling inom arkitekturen är detta en stor möjlighet som kan förändra människors liv både här och globalt.

Den största lärdomen jag tar med mig från det här arbetet är framför allt inblicken i hur omedvetna vi/jag är om hur byggnaderna vi dagligen befinner oss i har påverkat människorna på platsen där materialen utvunnits. Som konsumenter har vi i Sverige börjat bli allt mer medvetna om var våra varor tillverkats när det handlar om mat och kläder, men när ska vi börja handla närproducerade byggnader?



7. REFERENSER

7.1 Tryckta källor

Angbratt, D. (2011) *Utvändig lerputs*. Visby: Högskolan på Gotland. (Examensarbete i Byggnadsvård).

Bahamón, A., Sanjinés, M. C. (2008) *Rematerial*. New York: W. W. Norton & Company.

Bakke, J. V., (1992) *Mineralull og innemiljø*. Norsk Tidsskrift for Arbeidsmedisin nr 13. Oslo. Refererad i Berge, B. (2001) *The ecology of building materials*, s. 269. Engelsk upplaga. Oxford: Architectural Press.

Bartholdson, Ö., et al. (2009) *Oädel handel: en rapport om import av tropiskt trä*. SwedWatch, nr 29.

Berge, B. (2001) *The Ecology of Building Materials*. Oxford: Architectural Press.

Berge, B. (2009) *The Ecology of Building Materials*. Andra upplagan. Oxford: Architectural Press.

Billet, M. (1979) *Thatching and Thatched Buildings*. London: Robert Hale Limited.

Björk, F., Eriksson, C-A. (2000) *Sjuk av att vara inne?* Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.

Bokalders, V., Block, M. (1997) *Byggekologi 4: Att anpassa till platsen*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.

Bokalders, V., Block, M. (2004) *Byggekologi: Kunskaper för ett hållbart byggande*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.

Boverket (2011) *Regelverk för byggande, BBR 2012*. Karlskrona: Boverket.

Bradbury, D. (2011) *New Natural Home*. London: Thames & Hudson.

Burström, P. G. (2007) *Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Andra upplagan. Studentlitteratur.

Carlström, I., Carlström Hagman, L-P. (2006) *Metodik för utvecklingsarbete och utvärdering*. Femte upplagan. Studentlitteratur.

Day, C. (1990). *Places of the Soul*. Wellingborough: The Aquarian Press.

Day, C. (2002) *Spirit & Place*. Oxford: Architectural Press.

Elmroth, A. (2012) *Energihushållning och värmeisolering*. Tredje upplagan. Stockholm: Svensk Byggtjänst.

Hagman, O. (2013) Opublicerat manus. Läst 9 feb 2013.

Kram, T. (2001) *The Matter Project: Integrated Energy and Materials Systems for GHG Emission Mitigation ECN*. Refererad i (Berge, 2009, s. 19).

Martínez Escobar, D. (2013) *Earth Architecture: Building with rammed earth in a cold climate*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. (Examensarbete i Arkitektur).

May, J. (2010) *Handmade houses & other buildings: The world of vernacular architecture*. London: Thames & Hudson.

Magwood, C., Mack, P. (2000) *Straw Bale Building: How to plan, design & build with straw*. Gabriola Island B.C.: New Society Publishers.

McHenry, P. G. Jr. (1984) *Adobe and rammed earth buildings: Design and construction*. New York: Wiley.

Minke, G. (2009) *Building with earth*. Basel: Birkhäuser.

Olsson, R. (2004) *Ett skepp kommer lastat: Ekologiska fotavtryck av Sveriges virkesimport från Öst*. Världsnaturfonden WWF.

Pearson, D. (1994) *Earth to spirit*. San Francisco: Chronicle Books.

Repstad, P. (2007) *Närhet och distans: Kvalitativa metoder i samhällsvetenskap*. Fjärde upplagan. Oslo: Universitetsforlaget.

Rocca, A. (2007) *Natural Architecture*. New York: Princeton Architectural Press.

Snell, C., Callahan, T. (2009) *Building green: a complete how-to guide to alternative building methods : earth plaster, straw bale, cordwood, cob, living roofs*. Andra upplagan. New York: Lark Books.

Steen, A. S., et al. (1994) *The straw bale house*. Vermont: Chelsea Green Publishing Company.

Wallner, S. (2004) *Stigfinnare: innovativt byggande för en hållbar utveckling*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

7.2 Internetkällor

Attefall S. (2013) DN: Gemensamma byggregler skapar fler och bättre hus. <http://www.dn.se/debatt/gemensamma-byggregler-skapar-fler-och-battre-hus/> (2013-09-28).

Bauhaus (2014) *Glasull skiva*. <http://www.bauhaus.se> (2014-04-09).

Blomberg & Linscott Arkitekter (2001) *Information om byggnadsvård: Spåntak*. <http://www.lansstyrelsen.se/vastmanland/SiteCollectionDocuments/Sv/publikationer/kulturmiljo/Spantak.pdf> (2013-11-28).

Bokalders, V. (2013) *Kloka hem: Varis Bokalders guide till schyssta isoleringsmaterial*. <http://www.klokahem.com/artikel/varis-bokalders-guide-till-schyssta-isoleringsmaterial> (2013-11-25).

- Brandel, M. (2000) *Västkärr – från torvmyr till fågeledorado*. Bioenergi, nr 3. http://www.novator.se/bioenergy/BE0003/s_25.pdf (2013-12-13).
- Carlson, J. (2006) *Gemensam förklaringsmodell för sjukdomar kopplade till inomhusmiljö finns inte*. Läkartidningen, nr 12, 22 mars 2006. <http://ww2.lakartidningen.se/07engine.php?articleId=3598> (2014-01-28).
- CREE (2013) *CREE systems: Facts & figures*. <http://www.creebyrhomborg.com/en/> (2013-12-06).
- CREE (2012) *Download: Infobroschüre*. http://www.creebyrhomborg.com/files/121121_Cree_Infobroschüre_EN.pdf (2013-12-09).
- Daniel H. (2013) *Hope Project: Social and Economic Effects of Global Warming*. <http://www.hope-project.org/development/social-and-economic-effects-of-global-warming/> (2013-10-07).
- Delestrac, D. (2013) *Let's talk about sand: Denis Delestrac at TEDxBarcelona*. [Videoklipp]. <https://www.youtube.com/watch?v=VOXikTyZxPA> (2014-08-05).
- Dunér, H. (2011) *Räkans långa resa*. SvD Näringsliv, 30 juli. Nätupplaga: http://www.svd.se/naringsliv/rakans-langa-resa_6357538.svd (2013-10-28).
- Earthship Biotechture (2013) *Radically sustainable buildings*. <http://earthship.com/> (2013-10-28).
- Energimyndigheten (2013) *Klimatskal*. <http://www.energimyndigheten.se/> (2014-04-01).
- EU-kommissionen (2007) *Konsumenternas efterfrågan*. http://ec.europa.eu/agriculture/organic/consumer-confidence/consumer-demand_sv (2013-03-21).
- Fagerström, B. (2010) *Kubbbhus – Hus av ved och lera*. <http://cybis.se/forfun/kubbbhus/bildspel/index.htm> (2014-03-13).
- Fastighetsnämnden (2009) *Miljöanpassat byggande Göteborg: Program för bostäder*. Göteborg: Göteborgs Stad Fastighetskontoret.
- Free the Slaves (2014) *About Slavery*. <https://www.freetheslaves.net> (2014-05-04).
- www.lakartidningen.se/Aktuellt/Nyheter/2013/08/Tva-miljoner-valdtagna-i-krigets-Kongo/ (2013-09-19).
- Green, M., Karsh, E. (2012) *The case for tall wood buildings*. <http://weCBC.smallboxcms.com/database/rte/files/Tall%20Wood.pdf> (2013-12-09).
- Greenpeace (2013) *Hoten mot Arktis: Oljeborring*. <http://www.greenpeace.org/sweden/se/vad-vi-jobbar-for/klimat/arktis/Hoten-mot-Arktis/Oljeborring/> (2013-12-10).
- Gustafsson, H. (1990) *Kemisk emission från byggnadsmaterial*. <http://www.lansstyrelsen.se/vastragotaland/SiteCollectionDocuments/Sv/miljo-och-klimat/miljomal/lokala-miljomal/RapportSP.pdf> (2013-12-10).

Gad, M. (2013) *Läkartidningen: Två miljoner våldtagna i krigets Kongo*. [Göteborgs Stad \(2013\) *Kvalitetsprogram: Detaljplan för Bostäder vid Guldmyntsgatan*. Samrådshandling, 28 maj 2013. Hämtad från <http://goteborg.se> \(2014-01-30\).](http://Göteborgs Stad (2012) Geoteknisk utredning för detaljplan. http://goteborg.se (2013-10-21).</p></div><div data-bbox=)

Göteborgs Stad (2013) *Planbeskrivning: Detaljplan för Bostäder mm vid Guldmyntsgatan*. Samrådshandling, 28 maj 2013. Hämtad från <http://goteborg.se> (2014-01-24).

Göteborgs Stad (2013) *Pressmeddelanden: Fastighetsnämnden – Wooden it be nice to live in Högsbo?* Pressmeddelande, 22 nov 2013. <http://goteborg.se> (2014-02-04).

Göteborgs Stad Fastighetskontoret (2013) *Protokoll från juryns slutmöte avseende Markanvisningstävling*. http://goteborg.se/wps/wcm/connect/12dacd61-d4a8-4e55-8e91-19092033aca3/juryprotokoll.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=URL&CACHEID=12dacd61-d4a8-4e55-8e91-19092033aca3 (2014-02-04).

Göteborgs Stad Miljöförvaltningen (2010) *Ålgräs och grundbottenfauna*. R 2010:4. [http://www5.goteborg.se/prod/Miljo/Miljohandboken/dalis2.nsf/vyFilArkiv/N800_R2010_4.pdf/\\$file/N800_R2010_4.pdf](http://www5.goteborg.se/prod/Miljo/Miljohandboken/dalis2.nsf/vyFilArkiv/N800_R2010_4.pdf/$file/N800_R2010_4.pdf) (2013-10-28)

Habitat Verde (2011) *The most advanced compressed earth block technology!*. YouTube video. <https://www.youtube.com/watch?v=c9cDy9XkXPw> (2014-03-12).

Holz100 (2013) *Das System: Das Patent*. http://www.holzhaus-100.de/das_system/das_patent.php (2013-12-06).

Hålla Hus (2013) *Nävertak*. <http://www.hallahus.se/renovera/taket/navertak/> (2013-09-18).

ICOPAL (2011) *Produktblad: Tätskiktssystem Mono*. <http://www.icopal.se> (2013-12-11).

Isolen (2013) *Fakta: Miljövänligt hela vägen*. <http://www.isolen.com/fakta1.html#> (2013-10-29).

ITAC (2013) *Interlocking CLT*. <http://itac.utah.edu/itac/ICLT.html> (2013-12-06).

Lindahl, O. (2013) *Odd Lindahl: Musselodling – Naturbete i havet*. http://www.bioenv.gu.se/personal/Odd_Lindahl/ (2014-04-01).

Lundgren, M. (2013) *Havsöringsbäck rensas från vass*. Sportfiskarna: 12 juni 2013. <http://www.sportfiskarna.se/SportfiskarnaregionGöteborg/NyheterGöteborg/ta-bid/432/smid/385/ArticleID/1495/reftab/432/Default.aspx> (2013-10-29).

Martinez, S., et al. (2010) *Local Food Systems: Concepts, Impacts, and Issues*. <http://permanent.access.gpo.gov/lps125302/ERR97.pdf> (2013-04-05).

ModCell (2013) *ModCell Technical Guide*. http://www.modcell.com/index.php/download_file/view/972/68/ (2013-12-06).

- ModCell (2013) *Structural*. <http://www.modcell.com/structural/> (2013-12-06).
- NatureBuilt (2012) *Wall System: Bio-SIPs vs ICFs*. <http://www.naturebuiltwall.com/Wall-System/biosipsvsicfs> (2013-12-09).
- Naturskyddsföreningen (2013) *Grön guide: 5 sätt att äta dig miljösmart*. <http://www.naturskyddsforeningen.se> (2013-12-02).
- Naturskyddsföreningen (2013) *Gäster kritiska till svenska skogsbruket*. <http://www.naturskyddsforeningen.se> (2014-01-20).
- Naturskyddsföreningen (2013) *Hård kritik mot skogsbolagens miljöcertifiering FSC*. <http://www.naturskyddsforeningen.se> (2013-10-16).
- Naturvårdsverket (2013) *Strandskydd*. <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-8473-8.pdf> (2013-10-29).
- Open Source Ecology (2013) *CEB Design*. http://opensourceecology.org/wiki/CEB_Design (2014-04-16).
- Open Source Ecology (2014) *Compressed Earth Blocks*. http://opensourceecology.org/wiki/Compressed_Earth_Blocks (2014-02-19).
- OkiDoki Arkitekter (2013) *OkiDoki förslag*. Pdf hämtad från http://www.mynewsdesk.com/se/view/pressreleases/download/resource_attached_pdf_document/932250?name=okidoki-arkitekter (2014-04-01).
- Optigreen (2013) *The 9 Optigreen system solutions for roof greening*. <http://www.optigreen.co.uk/SystemSolutions/SystemSolutions.html> (2013-11-28).
- Roy, R. (2013) *Cordwood Building: The state of the art*. E-book preview. http://books.google.se/books?id=R6poJ_UI2E0C&pg=PT289&lpq=P-T289&dq=cordwood+compressive+strength&source=bl&ots=QSbpGvL-ez&sig=5YEN1HOy2dxBUzlhdnEcL-kG2wc&hl=en&sa=X&ei=pN7UsSQGcrltAa-OsYH4Cw&sqi=2&redir_esc=y#v=onepage&q=cordwood%20compressive%20strength&f=false (2013-11-07).
- Schmidt, W. (2013) *Strohhaus Fliri*. <http://www.atelierwernerschmidt.ch/de/bauten/strohhaus-fliri> (2014-02-05).
- Setra (2007) *Byggvarudeklaration: Limträ*. http://www.setragroup.com/upload/Dokument/Produktbroschyrer/Byggvarudeklaration_limtra.pdf (2013-12-10).
- Skarins Glas (2013) *Renovering/Uppgradering*. <http://skarinsglas.se/hem/renoveringuppgradering/> (2013-11-11).
- Skogsstyrelsen (2013) *Sverige är ett skogsland*. <http://www.skogsstyrelsen.se/Upp-tack-skogen/Skog-i-Sverige/Fakta-om-skogen/> (2013-10-28).
- SVD (2013) *Nordkalk mister tillstånd*. Svenska Dagbladet, 18 juni 2013. http://www.svd.se/nyheter/inrikes/nordkalk-mister-tillstand_8274232.svd (2013-12-11).
- Svensk mat- och miljöinformation (2009) *Bananer, kaffe och kakao*. http://www.smmi.nu/articles/text_food_and_environment3.php (2014-01-20).

Svensk Torv (2013) *Fakta och argument om torv*. <http://www.svensktorv.se/Fakta.htm> (2013-12-13).

Svensson, A. (2012) *Bygggemenskaper: Ett bidrag till hållbart stadsbyggande även i Sverige!*. <http://bygggemenskap.se/material/rapportbygggemenskaper.pdf> (2013-12-17).

Sveriges Radio (2006) *Kinesisk sten stoppas i Göteborg*. <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=104&artikel=858094> (2013-03-21).

U.S. EPA (2013) *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator*. <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/calculator.html> (2013-12-13).

UrbanTimes (2011) *What is the Gateway straw bale building?*. <http://urbantimes.co/magazine/2011/11/the-gateway-a-locally-sourced-straw-bale-building/> (2013-12-09).

Vasstaksgruppen (2013) *Fakta om vasstak*. <http://www.vasstaksgruppen.se/Fakta-om-vasstak.htm> (2013-10-29).

Waugh Thistleton (2013) *Murray Grove*. <http://www.waughthistleton.com/project.php?name=murray> (2013-12-06).

Wikipedia (2013) *Vår gemensamma framtid*. <http://sv.wikipedia.org/wiki/Brundtlandrapporten> (2013-10-08).

WWF (2013) *Den svenska skogen*. <http://www.wwf.se/vrt-arbete/skog/1255412-den-svenska-skogen> (2013-12-13).

XL Bygg (2011) *Beräkna materialåtgång*. <http://www.xlbygg.se/Inspiration/Berakningshjalp1/Berakningsverktyg/Berakna-materialatgang/> (2013-12-11).

Ödling, A. (2013) *Umeå Kommun: Impregnerat virke*. <http://www.umea.se/um-eakommun/byggaboochmiljo/avfallochatervinning/materialsorteringsguide/material/impregneratvirke.4.3343915a13c39d421197bc.html> (2013-12-10).

7.3 Bilder & Illustrationer

Samtliga bilder och illustrationer utan källhänvisning nedan är tagna eller skapade av författaren.

18. Thomasen, G. (2007) *A Pacific Northwest cob home*. [Fotografi]. Wikipedia Commons. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Home_at_Hollyhock.jpg (2014-01-30).

19. Prochnik, M., (2009). *Earthship Solar Community West of Taos*. [Fotografi]. <http://www.flickr.com/photos/martinpro/3700022612/> (2014-02-03).

19. Gnatoush, A., (2012). *Stone house in Fafe mountains*. [Fotografi]. http://www.flickr.com/photos/nessa_flame/6947236402/ (2014-01-30).

21. Anoldent, (2007). *My log cabin 1985*. [Fotografi]. <http://www.flickr.com/photos/anoldent/576399961/> (2014-02-13).

21. Ceccaldi, X., (2008). Great Mosque of Djenné, Mali. [Fotografi]. <http://www.flickr.com/photos/11021529@N08/2792821960/> (2014-02-13).
21. Cutts, R., (2007). The framework of a Zulu indlu. [Fotografi]. <http://www.flickr.com/photos/panr/2366182338/> (2014-02-13).
21. Fedekuki, (2005). Nativa Uro moliendo maíz sobre la isla de Totorá. [Fotografi]. Wikimedia Commons. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nativa_Uro_moliendo_ma%C3%ADz_sobre_la_isla_de_Totorá.jpg (2014-02-13).
21. Inaglory, B., (2006). A house in Cappadocia. [Fotografi]. Wikimedia Commons. http://en.wikipedia.org/wiki/File:House_in_Cappadocia_22.jpg (2014-02-13).
21. MegaBuddy, (2009). Nario's igloo on Denali. [Fotografi]. <http://de.fotopedia.com/items/flickr-112970054> (2014-02-13).
25. Göteborgs Stad Fastighetskontoret, (2012). Geoteknisk utredning för detaljplan. [Ritning]. Bild från sida 10. [http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/J%C3%A4rnbrott%20-%20Bost%C3%A4der%20m%20vid%20Guldmyntsgatan-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Geoteknisk%20utredning/\\$File/GeotekniskUtredning.pdf?OpenElement](http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/J%C3%A4rnbrott%20-%20Bost%C3%A4der%20m%20vid%20Guldmyntsgatan-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Geoteknisk%20utredning/$File/GeotekniskUtredning.pdf?OpenElement) (2014-01-30)
34. Case, D., (2008). Davis House stone foundation ruin. [Fotografi]. Wikipedia Commons. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Davis_House_stone_foundation_ruin,_Gardiner,_NY.jpg (2013-11-08).
36. Diamond Mountain. (2009) Building a straw-bale house. [Fotografi]. Wikipedia Commons. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nicole's_straw_bale_beginnings.jpg (2013-11-04).
37. Holmstad, Ø. (2012) Gammel løe med torvtak på Maihaugen. [Fotografi]. Wikipedia Commons. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gammel_løe_med_torvtak_på_Maihaugen.JPG (2013-11-01).
38. Alperovich, A. L., (2012). Londons Super Adobe Earth Creature. [Fotografi]. <http://www.flickr.com/photos/inhabitat/8130819503/> (2013-11-04).
38. quite.fyre (2012) Strawbale/cordwood workshop. [Fotografi]. <http://www.flickr.com/photos/quietfyre/7840126752/> (2013-11-06).
38. Vmenkov, (2007). Adobe brick house under construction in Milyanfan village, Kyrgyzstan. [Fotografi]. Wikipedia Commons. <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Milyanfan-adobe-brick-house-8040.jpg> (2013-11-05).
39. Gao, J., (1999). Shibam Wadi Hadhramaut Yemen. [Fotografi]. Wikipedia Commons. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shibam_Wadi_Hadhramaut_Yemen.jpg (2013-11-29).
49. Säfblad, K., (2013). Kartor: Illustrationsritning. [Ritning]. Stadsbyggnadskontoret, samrådshandlingar. [http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/J%C3%A4rnbrott%20-%20Bost%C3%A4der%20m%20vid%20Guldmyntsgatan-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Kartor/\\$File/Kartor.pdf?OpenElement](http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/J%C3%A4rnbrott%20-%20Bost%C3%A4der%20m%20vid%20Guldmyntsgatan-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Kartor/$File/Kartor.pdf?OpenElement) (2014-01-30).

51, 52. Sjöblad, K., (2013). Kartor: Plankarta. [Ritning]. Stadsbyggnadskontoret, samrådshandlingar. [http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planobygg.nsf/vyFiler/J%C3%A4rnbrott%20-%20Bost%C3%A4der%20m%20vid%20Guldmyntsgatan-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Kartor/\\$File/Kartor.pdf?OpenElement](http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planobygg.nsf/vyFiler/J%C3%A4rnbrott%20-%20Bost%C3%A4der%20m%20vid%20Guldmyntsgatan-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Kartor/$File/Kartor.pdf?OpenElement) (2014-01-30).

52. Stadsbyggnadskontoret, (2013). Kartor: Grundkarta. [Ritning]. Stadsbyggnadskontoret, samrådshandlingar. [http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planobygg.nsf/vyFiler/J%C3%A4rnbrott%20-%20Bost%C3%A4der%20m%20vid%20Guldmyntsgatan-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Kartor/\\$File/Kartor.pdf?OpenElement](http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planobygg.nsf/vyFiler/J%C3%A4rnbrott%20-%20Bost%C3%A4der%20m%20vid%20Guldmyntsgatan-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Kartor/$File/Kartor.pdf?OpenElement) (2014-01-30).

54. Okidoki Arkitekter, (2013). Wooden it be nice? [Rendering]. <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=104&artikel=5712015> (2014-02-04).

66. ModCell, (2013). ModCell Traditional. [Rendering]. [com/index.php/download_file/view/972/68/](http://www.modcell.com/index.php/download_file/view/972/68/) (2013-12-06).

67. ModCell (2013) LILAC. [Fotografi]. <http://www.modcell.com/completed-projects/lilac-affordable-ecological-co-housing/> (2014-04-08).

71. Wikisysop (2010) CEB Press. [Fotografi]. <http://opensourceecology.org/wiki/File:Machine.jpg> (2014-03-12).

73. Fagerström, B. (2009) Borgen, Torslunda. [Fotografi]. http://cybis.se/forfun/kubbbhus/borgen/torslunda2007_1.jpg (2014-03-11).

73. Earthship (2007) Phoenixbath. [Fotografi]. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:PHOENIXBATH.jpg> (2014-03-13).

76. Bühler-Rasom, M., Li Wan Po, D., (2012). Ricola Herb Centre. [Fotografi]. http://www.lehmtonerde.at/uploads/pictures-w850/img_5393.jpg (2014-02-21).

77. Martínez Escobar, D. (2013) *Earth Architecture: Building with rammed earth in a cold climate*, sid. 129. [Ritning]. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. (Examen-sarbete i Arkitektur).

89. Bühler, B. (2008) Rauch family home. [Fotografi]. <http://image.architonic.com/imgArc/project-1/4/5205128/Boltshauser-LehmhausRauch-19.jpg> (2014-08-30).

96. Holmstad, Ø. (2012) Gammel løe med torvtak på Maihaugen. [Fotografi]. Wikipedia Commons. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gammel_løe_med_torvtak_på_Maihaugen.JPG (2013-11-01).

96. ModCell (2013) *Balcony*. [Fotografi]. <http://www.modcell.com/completed-projects/lilac-affordable-ecological-co-housing/> (2014-04-08).

96. Namslauer, T. *Stengrund av natursten*. [Fotografi]. <http://www.stenhuggare.nu/stenhussstengrunder.htm> (2014-08-31).

96. Bühler, B. (2008) Rauch family home. [Fotografi]. <http://image.architonic.com/imgArc/project-1/4/5205128/Boltshauser-LehmhausRauch-18.jpg> (2014-08-30).

96. Diasen. *Buis Les Baronnies*. [Fotografi]. <http://www.diasen.com/sp/refurbishment-and-energy-requalification-buis-les-baronnies.3sp> (2014-08-31).
96. Inspirational Village. (2011) *Window edge*. [Fotografi]. <http://inspirationalvillage.me/tag/kaolin-clay/> (2014-08-31).
118. UrbanaVillor, (2009). *Fasad söder*. [Fotografi]. http://www.pontusaqvist.se/gallery/1_fasad_soder/gallery.html (2013-12-17).
119. NatureBuilt, (2012). *Canada's greenest home*. [Fotografi]. <http://www.nature-builtwall.com/Projects/canadasgreenesthome> (2013-12-09).
120. Olsen, Z., (2011). *The straw bale panels*. [Fotografi]. <http://urbantimes.co/magazine/2011/11/the-gateway-a-locally-sourced-straw-bale-building/> (2013-12-09).
120. CREE, (2009). *Stützkonstruktion*. [Rendering]. <http://www.flickr.com/photos/creebyrhomborg/4904492924/> (2013-12-06).
121. Müller, N., (2012). *LCT ONE Aussen*. [Fotografi]. <http://www.flickr.com/photos/creebyrhomborg/8382557005/> (2013-12-06).
121. ITAC, (2013). *ICLT section*. [Fotografi]. http://itac.utah.edu/itac/ICLT_overview.html#8 (2013-12-06).
122. Holz100, (2013). *The Holz100 system*. [Rendering]. http://www.holzhaus-100.de/das_system/das_patent.php (2013-12-06).
123. Green, M., Karsh, E., (2012). *Option 2*. [Rendering]. Bild ur rapporten: The case for tall wood buildings, s. 81. <http://weCBC.smallboxcms.com/database/rte/files/Tall%20Wood.pdf> (2013-12-09).



8. BILAGOR

8.1 Beräkningar

Lambda- och U-värde för kubbvägg:

$$\lambda_{\text{trä}} = 0,35 \text{ W/mK (längs fibrerna)} \quad (\text{Burström, 2007, m.fl.})$$
$$\lambda_{\text{spån}} \approx 0,07 \text{ W/mK} \quad (\text{Berge, 2001, s. 282})$$

Fördelning kubb/bruk $\approx 60/40$ (Snell & Callahan, 2009, s. 304)

Bästa fall:

Bruk $\approx 100\%$ spån, dvs en vägg fördelas på 60% kubb och 40% isolerande spån i samma tjocklek som kubben.

$$\lambda_{\text{total}} = 0,35 \times 0,6 + 0,07 \times 0,4 \approx 0,238 \text{ W/mK}$$

U-värde för 60 cm vägg:

$$U = \lambda/d = 0,238/0,6 \approx 0,4$$

“Sämsta” fall:

Bruket är i en vägg på 60 cm fördelat på 10 + 10 cm bruk med 40 cm isolerande spån mellan. Brukets isolerande effekt antas obefintlig.

$$U_{\text{kubb}} = 0,35/0,6$$
$$U_{\text{bruk}} = 0,07/0,4$$
$$U_{\text{total}} = U_{\text{bruk}} \times 0,4 + U_{\text{kubb}} \times 0,6 = 0,07 + 0,35 = 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Snell & Callahans värden:

High: $R \text{ (US)} = 16$ för 16 inch = 1/inch

$$\lambda = d/RSI = 16 \times 0,0254/(16/5,678) \approx 0,14 \text{ W/mK}$$

vilket för 60 cm ger ett U-värde på ungefär 0,24 W/m²K

Low: $R \text{ (US)} = 11$ för 16 inch

$$\lambda = d/RSI = 16 \times 0,0254/(11/5,678) \approx 0,21 \text{ W/mK}$$

vilket för 60 cm ger ett U-värde på ungefär 0,35 W/m²K

Slutsats:

Utan att kraftigt öka den isolerande förmågan i “bruket”, samt öka andelen bruk, har träkubbarnas dåliga isoleringsförmåga för stor inverkan på det totala isoleringsvärdet för att uppnå riktigt låga U-värden för en vägg på 60 cm. Tilläggas bör att många kubbkonstruktioner med lerbruk har en betydligt högre andel trä än 60 %.

Trots att Snell & Callahans beräkningar i båda fallen hamnar lägre än mina värden ligger även det bästa U-värdet klart över de 0,16 W/m²K som uppmättes i Manitoba. Anledningen till att de hamnar på bättre värden än mig är främst att de räknat med ett bättre isoleringsvärde på kubben.

U-värde för Yttervägg:

Ytterväggsmodulens totala yta på 7,5 m² (2,5 x 3 m) anses utgöras av 6,44 m² lerputs - halmbalar - lerputs och 1,06 m² träregel - halmfyllnad - träregel.

$U = 1/R_T$ där $R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$
och $R_{si} \approx 0,13$, $R_{se} \approx 0,04$ för ytterväggar

Med Bokalders värde på λ_{halm} (Bokalders, 2013):

$R_{lerputs} \approx 0,03/0,7$ $R_{halmbalar} \approx 0,4/0,045$ $R_{halmfyllnad} \approx 0,26/0,045$ $R_{reglar} \approx 0,1/0,14$

$U_{balar} = 1/(0,13 + 0,03/0,7 + 0,4/0,045 + 0,03/0,7 + 0,04) \approx 0,11$

$U_{reglar} = 1/(0,13 + 0,1/0,14 + 0,26/0,045 + 0,1/0,14 + 0,04) \approx 0,14$

$U_{medel} = (U_{balar} \times A_{balar} + U_{reglar} \times A_{reglar})/A_{tot} \approx 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$

Med Berges värde på λ_{halm} (Berge, 2009, s. 294):

$R_{halmbalar} \approx 0,4/0,052$ $R_{halmfyllnad} \approx 0,26/0,052$

$U_{balar} = 1/(0,13 + 0,03/0,7 + 0,4/0,052 + 0,03/0,7 + 0,04) \approx 0,13$

$U_{reglar} = 1/(0,13 + 0,1/0,14 + 0,26/0,052 + 0,1/0,14 + 0,04) \approx 0,15$

$U_{medel} = (U_{balar} \times A_{balar} + U_{reglar} \times A_{reglar})/A_{tot} \approx 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$

CO₂-ekvivalenter för byggnadselementen:

Yttervägg, lokal:

Volymer: Halm 2,924 m³ Lerputs 13 m² Trä 0,256 m³

CO₂e: Halm -1,613 ton/m³ Lerputs 0,076 ton/100m²
Trä -0,422 ton/m³

Total CO₂e för modulen: -4,8 ton CO₂e

Yttervägg, konventionell:

Volymer: Stål 0,13 m³ Mineralull 1,83 m³
Gips 7,5 m² Puts 7,5 m²

CO₂e: Stål 12,819 ton/m³ Mineralull 0,044 ton/m³
Gips 0,040 ton/100m² Puts 0,428 ton/100m²

Total CO₂e för modulen: 1,8 ton CO₂e

Lägenhetsskiljande vägg, lokal:

Volymer: CEB 2 m³ Trä 0,216 m³

CO₂e: CEB 0,052 ton/m³ Trä -0,422 ton/m³

Total CO₂e för modulen: 0,01 ton CO₂e

Lägenhetsskiljande vägg, konventionell:

Volym:	Betong 1,5 m ³	Mineralull 0,75 m ³
CO ₂ e:	Betong 0,332 ton/m ³	Mineralull 0,044 ton/m ³
Total CO ₂ e för modulen: 0,5 ton CO ₂ e		

Innervägg, lokal:

Volym:	Trä 0,6 m ³	Lerbruk 5 m ²
CO ₂ e:	Trä -0,422 ton/m ³	Lerbruk 0,076 ton/100m ²
Total CO ₂ e för modulen: -0,2 ton CO ₂ e		

Innervägg, konventionell:

Volym:	Stål 0,015 m ³	Mineralull 0,585 m ³	Gips 15 m ²
CO ₂ e:	Stål 12,819 ton/m ³ Gips 0,040 ton/100m ²	Mineralull 0,044 ton/m ³	
Total CO ₂ e för modulen: 0,2 ton CO ₂ e			

Hisschakt, lokal:

Volym:	Pisé 4,5 m ³
CO ₂ e:	Pisé 0,052 ton/m ³
Total CO ₂ e för modulen: 0,2 ton CO ₂ e	

Hisschakt, konventionell:

Volym:	Armerad betong 2,7 m ³
CO ₂ e:	Armerad betong 0,569 ton/m ³
Total CO ₂ e för modulen: 1,5 ton CO ₂ e	

Kostnadsjämförelse halm/glasull:

Modulstorlek: 5 balar i höjd, 4 i bredd, ungefär som i skiss s. 69.
 $0,35 \times 3,6 \times 2,25 = 2,835 \text{ m}^3$

Kostnad halm:

$120 \text{ kg/m}^3 \times 1,5 \text{ kr/kg} = 180 \text{ kr/m}^3$

$180 \times 2,835 = 510 \text{ kr/modul}$

Kostnad glasfiber:

$87,90 \text{ kr/m}^2 \text{ för } 220 \text{ mm skiva (Bauhaus, 2014)} = 400 \text{ kr/m}^3$

Viktat pris: $0,8 \times 400 = 320 \text{ kr/m}^3$

$$320 \times 2,835 = 907 \text{ kr/modul}$$

Total besparing med halm:

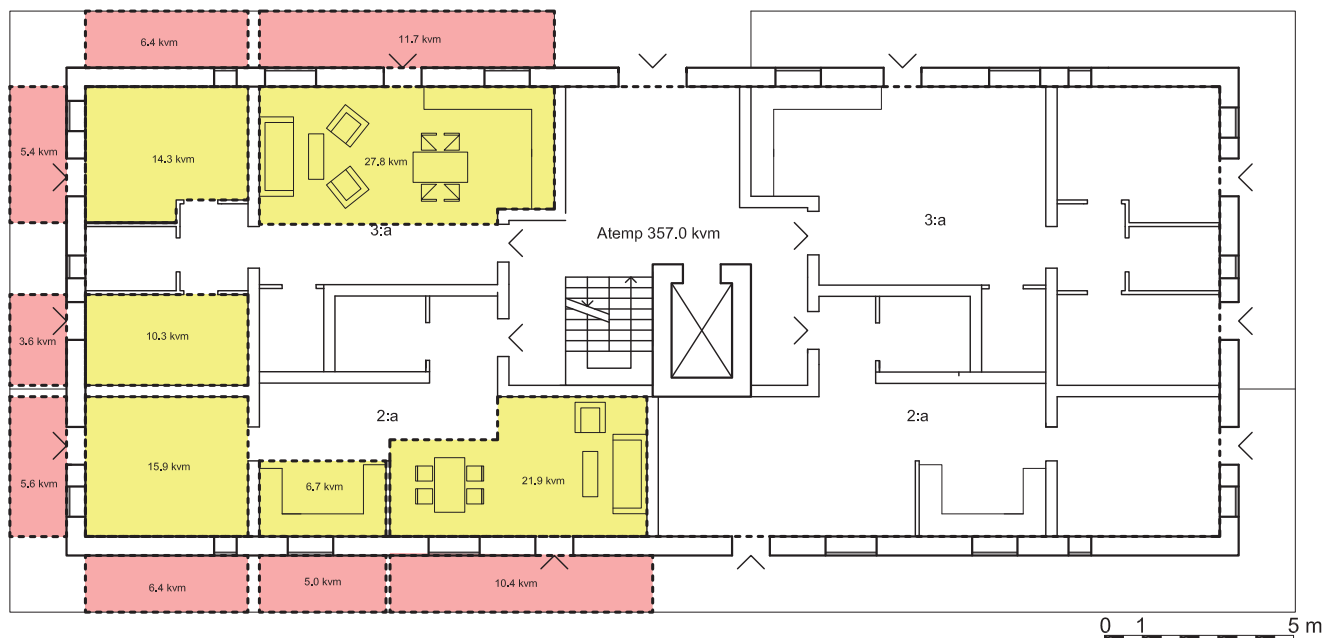
$$907 - 510 \approx 400 \text{ kr/modul}$$

Dagsljusberäkning:

Dagsljusberäkningen är utförd enligt Miljöbyggnads tillvägagångssätt för betygen brons eller silver, dvs. med areafaktor-metod. Areafaktorn beräknas som andelen glasyta delat med rummets golvyta, där man för betyget brons ska uppnå minst en faktor på 10 % i enlighet med BBR's rekommendation för dagsljus. Skuggande balkonger/loftgångar kompenseras för i beräkningen genom att lägga till den utanför rummet liggande balkongarean till rummets golvarea.

Vid en bedömning i Miljöbyggnad tittar man på det sämsta "typ-planet" och utgår ifrån betyget på de sämsta 20 % av A_{temp} (total uppvärmd area innanför yttervägg). Man tittar dock enbart på s.k. vistelserum, i detta fall kök, vardagsrum och sovrum. Vid olika betyg för rummen som utgör dessa 20 % kan betyget lyftas maximalt ett steg om minst hälften av ytan har högre betyg än sämsta rum. Rum som inte klarar kravet för brons anges som KLASSAT.

Areorna hos de bedömda rummen ses i planritningen nedan, där kommunikationsyta innanför vardagsrum/kök inte tagits med i rummets area. Planet har ansetts i princip lika för båda halvorna, och därför har de uppmätta rummen helt enkelt räknats dubbelt.



Dagsljusberäkning enl. Miljöbyggnad areafaktor-metoden

Areafaktorn beräknas som $A_{glas}/(A_{golv}+A_{loftgång}) \cdot 100$

De sämsta rummen kontrolleras i turordning tills minst 20 % A_{temp} är uppnått.

Lägenhet	Rum	Area	Area överliggande loftgång	Glasarea	Af.	Betyg
3a	Kök/v-rum	27,8	11,7	3,97	10,04	Brons
3a	Sov1	14,3	11,8	2,86	10,98	Brons
3a	Sov2	10,3	3,6	1,54	11,11	Brons
2a	V-rum	21,9	10,4	3,31	10,25	Brons
2a	Kök	6,7	5	0,65	5,60	Klassad
2a	Sov	15,9	12	2,86	10,27	Brons

Stora fönster

För att klara kraven på areafaktor 10 när man har stora balkonger eller loftgångar tvingas man ofta kompensera med stora fönster. Ur ett ekonomiskt perspektiv kan det i många fall bli problematiskt, särskilt om det innebär att man behöver använda många olika storlekar och former.

Den nedre bilden visar en dagsljussimulering i Velux över sovrummet i 2an, som ligger långt över kraven. En simulering likt denna är vad som krävs för att uppnå betyget GULD i Miljöbyggnad. Rummet uppnår med areafaktormetoden precis gränsen 10, men i simuleringen syns att fönsterstorlekarna skulle kunna minskas rejält.

För att uppnå betyget brons ska man kunna mäta upp en dagsljusfaktor på 1,0 (blå linje) en meter in i rummet från mörkaste vägg, på halva rumsdjupet. Simuleringen visar att i princip hela rummet ligger inom dagsljusfaktor 1,0 och rummet skulle med enkelhet uppnå 1,2, vilket ger GULD.

Det är sannolikt att även köket som med Af-metoden ej når BRONS skulle klara sig i en dagsljussimulering. Observera att rummet oavsett beräkningsmetod klarar BBRs krav på god tillgång till direkt dagsljus.

Glasareor

De exakta glasareorna i Af-metoden är beräknade utifrån Elitfönsters ritningsmått på karm och båge, därav den höga noggrannheten.

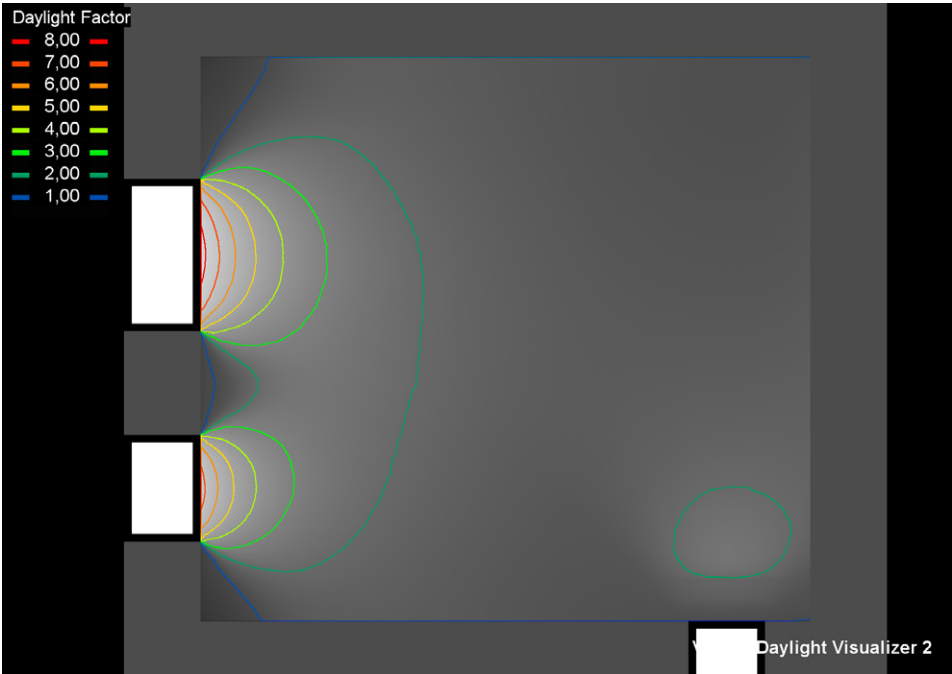
A_{temp}	357 kvm
20%	71,4 kvm

20 % sämsta rum:

2a kök x2	13,4	Klassad
3a K/v x2	55,6	Brons
2a V-rum	21,9	Brons
Total area:	90,9	
Totalt betyg:		Brons

Glasareor

Öppningsmått	Glasarea
9 x 12 M	0,654829
10 x 22 M	1,544454
8 x 18 M	0,901329
6 x 13,5 M	0,418879
13,5 x 18 M	1,766479



8.2 Byggnadsbeskrivningar

Den konventionella byggnaden

För att begränsa antalet material i undersökningen tas endast de volymmässigt framträdande komponenterna med. Det handlar främst om det bärande materialet och isolering, samt i vissa fall ytskiktet där det utgör en stor del av den specifika byggnadsdelen. Andelarna är uppskattningar, gjorda efter bland annat samtal med Kent Haglund, projektledare på Veidekke (22 nov 2013). I samtalet framgick även att Brf Klätterträdet som snart ska byggas i Kvillebäcken kommer använda i stort sett samma konstruktion. Vissa förenklingar av materialens sammansättning görs för att de ska kunna utvärderas i Carbon Calculator. Procent anges nedan som andel av den totala volymen för byggnadsdelen.

Bjälklag

Bjälklagen är så kallade plattbärlag, med ca 7 cm armerad betong som det gjuts på till en total tjocklek av ca 30 cm. För beräkningarna anses hela lagret vara "armerad betong".

Armerad betong	100 %
----------------	-------

Grund

Grunden ligger i det här fallet direkt på leran, eftersom det finns ett djupare källarplan. Därför används inte heller någon isolering. Plattan består av ca 10 cm grovbetong, armering och en ca 40 cm betongplatta ovanpå. Pålarna som går ner i leran är inte med i denna beräkning, då de antas vara liknande oavsett byggnadsmetod ovan mark. Även här anses lagret vara "armerad betong".

Armerad betong	100 %
----------------	-------

Tak

Taket utgörs av ett bjälklag i betong med ca 30 cm isolering ovanpå. Ytskiktet är papp. Den bärande strukturen i isoleringsskiktet bortses ifrån.

Armerad betong	50 %
Mineralull	50 %
Takpapp	46 m ²

Fasadvägg

Fasaden är en utfackningsvägg av stålbjälkar med två skikt isolering (220 mm totalt). De procent som saknas utgörs av bland annat luftskikt.

Stålbjälkar	5 %
Mineralull	70 %
Gips	55 m ²
Mineritskiva	3 %
Puts	95 m ²

Lägenhetsskiljande väggar

De bärande väggarna mellan lägenheterna är i betong, utan isolering.

Armerad betong	100 %
----------------	-------

Innerväggar

Inne i själva lägenheterna skiljs rummen med gipsväggar. Konstruktionen består i detta exempel av stålbalkar med mellanliggande mineralull och gips på båda sidor.

Gips	210 m ²
Stålbalkar	2 %
Mineralull	78 %

Det lokala alternativet

Bjälklag

Bjälklagen består av bärande trä och isolerande halmbalar. Undersidan kläs i ett lager lerputs, medan ovansidans ytskikt anses ingå i andelen trä.

Trä	ca 10 %
Halm	ca 90 %
Lerputs	260 m ² (inkl. undersida tak)

Grund

Grunden består i det här exemplet av ett extra bjälklag och en torpargrund i kallmurad sten som bär upp de bärande elementen.

Sten	100 %
------	-------

Tak

Taket utgörs av ett extra tjockt bjälklag och avslutas med ett torvtak. Näverns yta är beräknad på takets yta i tre lager, där en tredjedel förloras i överlappning.

Trä	15 %
Halm	70 %
Torv	15 %
Näver	200 m ²

Fasadvägg

Fasaden består av ett bärande system i trä och isoleras med halm. Båda sidorna putsas med lerputs. Exakt hur den bärande strukturen fungerar tas inte upp här, men andelen trä är satt relativt hög för att säkerställa ett fungerande system i fem våningar.

Trä	10 %
Halm	90 %
Lerputs	124 m ²

Lägenhetsskiljande väggar

Väggarna mellan de olika lägenheterna byggs i adobe och putsas på båda sidor med lerputs. Lersten 100 %
Lerputs 450 m²

Innerväggar

De rumsavskiljande väggarna i en lägenhet byggs i kubbtekniken och lämnas oputsat. Om kubben muras med cementbruk kan proportionerna bruk/kubb generellt antas vara ungefär 40/60 (Snell, 2009, s. 304). Använder man istället lokalt lerbruk, vilket lämpar sig väl för inomhusväggar, är andelen bruk lägre. Det beror på att man för cementbruk vill ha en hög andel bruk, eftersom det är bruket som blir bärande. För det här exemplet sätts proportionerna därför istället till 30/70.

Träkubb 70 %

Lerbruk 30 %

8.3 Byggemenskap och arkitekturen

Konceptet *byggemenskap* kommer från Tyskland, där så kallade "*Baugemeinschaften*" under det senaste årtiondet har genomfört ett stort antal projekt. En byggemenskap innebär att en grupp individer och/eller familjer går samman för att på egen hand utforma och bygga sig en ny bostad, med professionell hjälp och rådgivning i de flesta av byggnadens skeden.

Enligt Anders Svenssons rapport om byggemenskaper kan anledningarna till att en byggemenskap startas vara många. Det kan vara allt ifrån ett gäng kompisar som vill bo ihop till kvalitativa seniorboenden eller ekologiskt boende (Svensson, 2012, s. 2). Även det slutliga resultatet kan variera kraftigt, med allt ifrån mindre kollektivhusliknande boenden till hela kvarter.

Fenomenet är än så länge relativt nytt i Sverige, men det finns ett antal projekt på gång. Det mest kända projektet som genomförts är Kasper Sahlins prisvinnaren UrbanaVillor i Malmö, skapat av bland annat arkitekterna Pontus Åhqvist och Cord Siegel. Huvudbyggnaden på tomten är fem "villor" staplade på varandra (se bild t.h.).

En byggemenskap ska inte förväxlas med ett kollektiv, eftersom den inte behöver innebära att man bygger några gemensamma ytor. Däremot finns det en del grundidéer och faktorer som är vanligt förekommande drivkrafter i byggemenskaper. Följande listas i Anders Svenssons rapport (s. 3), men är ursprungligen hämtade från en tysk rapport, "*Neues Urbanes Wohnen in Baugemeinschaften*":

- * Att tidigt lära känna framtida grannar.
- * Kostnadseffektivt/prisvärt byggande.
- * Individuell möjlighet till påverkan på gestaltningen.
- * Mer högvärdig utrustning och inredning.
- * Större kvaliteter i arkitekturen.
- * Identifikation med byggnad och omgivning.

Samtliga av dessa behöver inte förekomma i samma projekt, och ofta kan andra individuella drivkrafter förekomma. Centralt är dock för alla byggemenskaper att de boende är de som tillsammans driver projektet, i samarbete med professionella (Svensson, 2012, s. 2).



Huvudbyggnaden i UrbanaVillor, Malmö (UrbanaVillor, 2009).

Så påverkar det arkitekturen

Den kanske främsta aspekten för att uppnå inkluderande bostäder, där många typer av hushåll, kulturer och plånböcker får plats under samma tak, är kostnaden för byggnaden. Det är därför viktigt att de material och tekniker som föreslås kan införskaffas respektive genomföras på ett kostnads- och tidseffektivt sätt, alternativt att vissa delar kan ersättas med engagemang från personer inom föreningen (genom exempelvis arbetskraft). Samtidigt är det också viktigt att prislappen inte får minskas på bekostnad av andra, genom till exempel allt för billig arbetskraft utomlands. Om byggnaden ska kunna vara fullt inkluderande måste även de som bidrar med material tas hänsyn till.

Ett miljömedvetet tänkande medför att den ekologiska aspekten också måste få säga sitt i valet mellan olika material. Här kan det ibland uppstå en konflikt med det ekonomiska målet, så det är önskvärt att hitta material som både är billiga och ekologiska. Det innebär till exempel att vissa högpresterande ekologiska material med hög prislapp kan behöva ersättas med material med en lägre prestanda, för att undvika oekologiska material.

För att skapa en stark sammanhållning mellan de framtida grannarna är det viktigt att inkludera moment när de får arbeta tillsammans även efter planeringsfasen, under själva byggnationen. Genom att bygga tillsammans lär man sig samarbeta och hantera konflikter, samtidigt som man skapar en kollektiv stolthet över sitt nya hem.

8.4 Träkonstruktioner

Nature Built Wall

Det kanadensiska företaget Nature Built tillverkar väggmoduler med ett system som liknar ModCell, men med mindre träelement. Istället för kraftiga limträbalkar används vanliga träreglar. Det innebär att modulerna endast används som bäring i lägre byggnader och i större konstruktioner som infyllnad i ett bärande ramverk. Företaget marknadsför också panelerna som "Bio-SIP's" (Structural Insulated Panel), där halmen verkar som isolering mellan två "skivor" av cementputs (NatureBuilt, 2012).

En fördel med systemet är att man kan minska köldbryggorna genom att inte ha trä som går genom hela tvärsnittet i väggen (se bild nedan). Dessutom kan man använda sig av betydligt billigare träreglar istället för dyra limträbalkar.

Nackdelen är givetvis att man drastiskt minskar den bärande kapaciteten, vilket medför att man behöver uppföra en bärande struktur utöver panelerna om man bygger flera våningar. För att hjälpa till med bäringen och klara horisontella krafter har man även använt förhållandevis rejäla lager cementputs, vilket ökar den inbäddade energin.



Montering av NatureBuild Bio-SIP i Kanada (NatureBuilt, 2012).

The Gateway Building

Bland högre byggnader i trä och halm använder nog Gateway Building i Nottingham, UK, en av de mest unika metoderna, om än kanske inte mest praktiska. Baserat på lokalt producerade material (UrbanTimes, 2011) har fasaden till byggnaden skapats av 14 meter långa trämoduler fyllda med pressad halm.

Dessa har sedan klätts med träpaneler på insidan och puts på utsidan och ställts på högkant, så att de spänner över hela höjden hos de fyra våningarna. Mellan många av panelerna har det lämnats utrymme för fönster, vilket skapar en slags dragspelsfasad.



De långa träpanelerna fylls med halm (Olsen, 2011).

The Gateway Building visar på potentialen med halm och trä när man vågar tänka utanför ramarna och skapa ett modernt uttryck. Dock finns det brister i systemet som gör att det kan vara svårt att applicera på till exempel ett bostadshus. Framför allt kräver dessa paneler en relativt stor andel trä, vilket både ökar kostnaden och inte minst köldbryggarna. Dessutom är man för den här typen av längder helt beroende av limträ eller korslaminerat trä.

LifeCycle Tower

LifeCycle Tower (LCT) är ett koncept skapat av företaget CREE (Creative Resource & Energy Efficiency) och bygger i första hand på ett strukturellt hybridsystem i trä och betong. Till skillnad från ModCell är LCT utformat för att klara byggnader upp till 30 våningars höjd (CREE, 2013). Tekniken utgörs av golv- och fasadelement som sätts ihop runt en central kärna, som kan byggas i antingen trä eller betong beroende på de lokala regelverken.

Det som främst lyfts fram i systemet är det som syns i bilden till vänster: ett rent bärande system som inte verkar som klimatskal. Huvudkomponenterna är dubbla pelare av trä som bär de vertikala lasterna och golvmoduler i limträ och armerad betong. Fasadmodulerna skapas genom att fästa in träregelväggar mellan de bärande pelarna. Liksom för ModCell innebär detta att modulerna kan levereras som klimatskyddade element, vilket tar bort kostsamma väntetider för att torka ut byggfukt (CREE, 2012, s. 16).

Den bärande strukturen i LifeCycle Tower (CREE, 2009).



LCT One (Müller, 2009).

LCT-konceptet har använts för att skapa den 8 våningar höga byggnaden LCT One (se bild nere t.v.) i Dornbirn, Österrike. Byggnaden har även byggts enligt passivhusstandard och består av relativt tätt stående isolerade pelare i limträ, med höga fönster emellan. I ett hörn av byggnaden finns även en kärna i armerad betong, som innehåller bland annat trapphus och hiss.

Fasadstrukturen för LCT är medvetet flexibel för att kunna anpassa sig efter kundens önskemål. Såväl pelarnas uppbyggnad som avstånd och material mellan dem kan variera efter behov. LCT är även ett bra exempel på ett system där man valt att göra en kompromiss mellan konventionellt byggande och helt ekologiskt. Genom att använda betong i golvbjälklagen visar man att man inte låst sig i enbart förnyelsebara material och att betongen har egenskaper som kan vara svåra att ersätta med trä. För kortare golvspann går det dock att undvika betongen utan att behöva öka mängden trä allt för mycket.

En brist i systemet är att avståndet mellan de bärande pelarna är ganska kort, vilket både skapar hög åtgång på kvalitativt trä och samtidigt omöjliggör breda fönsterytor. Det beror nog till viss del på att systemet är utfört just för att klara väldigt höga byggnader. Sannolikt kan ett glesare system användas för lägre strukturer.

Interlocking Cross-Laminated Timber (ICLT)

Korslaminerat trä är en massivträteknik som kan utnyttjas för högre byggnader och är en byggnadsmetod på uppgång i dagens byggindustri. Bland annat används tekniken för att skapa Wingårdhs uppmärksammade åttavåningshus i Sundbyberg, men även för den nio våningar höga byggnaden Murray Grove i London, som är den högsta byggnaden i världen med modern träkonstruktion (Waugh Thistleton, 2013). De massiva träpanelerna skapas genom att plankor läggs på rad och limmas ihop i flera lager, där lagren är vridna 90 grader mot varandra.

ICLT är ett alternativ till vanligt korslaminerat trä där man inte använder något lim. Istället läggs plankorna i ett slags pussel, där varje lager hålls ihop med nästa genom smarta urfräsningar. Tekniken har uppfunnits vid University of Utah på avdelningen *Integrated Technology in Architecture Center (ITAC)*. ICLT skapades som metod för att ta tillvara på träd som dödade av Contortabastborren (Mountain Pine Beetle) under en pågående storskalig skadegörelse (ITAC, 2013).

En stor fördel med metoden är att elementen kan skapas med hjälp av vanligt förekommande maskiner och normala trädimensioner. Att inte använda lim gör också att väggarna andas bättre, samt att man slipper de hälsoskadliga ångor som lim kan avge i en byggnad.

Även om tekniken sparar pengar på att man slipper såväl spik och skruv som lim och press så finns det fortfarande en del problem. Det främsta och kanske mest uppenbara är att metoden enkelt kan bli ganska förvirrande för en rutinerad och risken för misstag, främst vid kopplingspunkter, är uppenbar. Håller man sig till enklare element och tillåter sig att använda skruv etc vid kopplingar mellan element kan ändå metoden vara intressant för den som vill slippa lim.

En annan svårighet med tekniken är att den kräver ganska tjocka plankor för att bli hållbar, vilket gör att det kan vara svårt att sätta ihop smalare skivor om man så önskar. Tjockleken på de plankor som används vid ITAC är generellt ca 7,5 cm (ITAC, 2013), vilket gör att ett element i tre lager blir 22,5 cm tjockt.

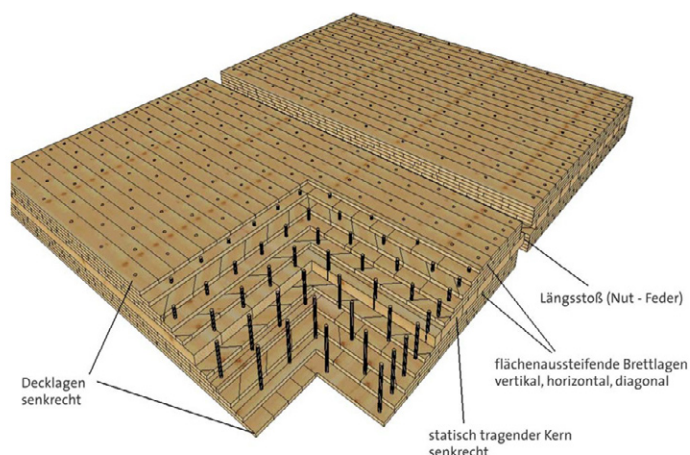
Holz100

Holz100 liknar korslaminerat trä men använder liksom ICLT inget lim för att fästa ihop raderna av plank. Istället för att fästa dem som ett pussel borrar ett rutsystem av hål genom samtliga lager. Kraftigt uttorkade träpluggar förs sedan in i hålen, varpå de efter ett tag suger åt sig lite fukt och sväller. Byggnader kan byggas upp mot tio våningar med tekniken (Holz100, 2013).

Ett problem med Holz100 är att pluggarna som går med fiberriktningen tvärs genom väggen även fungerar som köldbryggor, eftersom värmegenomgången är ca 2,5 gånger högre i fibrernas riktning (Burström, 2007, s. 386). Om metoden används tillsammans med ett isolerande material, exempelvis halm, blir detta däremot ett mindre problem. En fördel gentemot ICLT är att det är lättare att skapa tunnare element, eftersom man inte längre behöver kunna fräsa ut spår i plankorna.



Sektion av ICLT (ITAC, 2013).



Principskiss av Holz100 i genomskärning (Holz100, 2013).



Illustration av hur en byggnad med 20 våningar i trä, utan bärande fasad, skulle kunna se ut (Green, 2012).

Tall Wood

Arkitekt Michael Green och ingenjör Eric Karsh har i rapporten *The Case for Tall Wood Buildings* (Green, 2012) presenterat förslag på hur man skulle kunna bygga ett höghus i upp till 30 våningar i trä. Den bärande konstruktionen består i första hand av limträpelare och korslaminerat trä (eller liknande limmade konstruktioner), men använder för de högre strukturerna även en del stålbalkar.

I rapporten ges fyra förslag för hur man kan skapa en 12, 20 (två förslag) eller 30 våningar hög byggnad. Förslaget för 30 våningar och ett av förslagen för 20 bygger på en bärande kärna i kombination med bärande ytterväggar i massivträ och skulle vara svåra att kombinera med halmbalsisolering. De övriga två varianterna bygger enbart på en bärande kärna och, för 20 våningar, bärande innerväggar, vilket gör att tekniken skulle kunna kombineras med halmbalsmoduler för ytterväggarna.

För en byggnad på 12 våningar liknar Green & Karsh's förslag det som LifeCycle Tower gjort ganska mycket, men visar även tydligt på hur den bärande kärnan skulle kunna byggas upp i trä. Ligger byggnaden istället på 4-5 våningar blir dock båda förslagen kanske onödigt genomarbetade strukturellt, men givetvis kan tanken med en stabil kärna vara till nytta även för lägre byggnader.