



CHALMERS

EXAMENSARBETE ACEX20



Booklet för hållbara småhus

Energieffektivisering av småhus med hjälp av byggnadstekniska lösningar och materialval.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

JAKOB NIEMER
EDVIN SCHULZ

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelning för byggnadsteknologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2023

EXAMENSARBETE ACEX20

Booklet för hållbara småhus

Energieffektivisering av småhus med hjälp av byggnadstekniska lösningar och materialval.

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

JAKOB NIEMER
EDVIN SCHULZ

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelning för byggnadsteknologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2023

Booklet för hållbara småhus

Energieffektivisering av småhus med hjälp av byggnadstekniska lösningar och materialval.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

JAKOB NIEMER

EDVIN SCHULZ

© JAKOB NIEMER, EDVIN SCHULZ, 2023

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2023

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Visualisering av Ekohemmet uppritat i Revit.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2023

Booklet för hållbara småhus
Energieffektivisering av småhus med hjälp av byggnadstekniska lösningar och materialval.

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

JAKOB NIEMER

EDVIN SCHULZ

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelning för byggnadsteknologi
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Den konservativa byggbranschen står inför en stor utmaning när den pågående klimatkrisen sätter sin prägel på samhället. Med nya miljömål från EU kommer byggbranschen behöva ändra sin strategi och metod. Det nya synsättet behöver vara mer anpassat för klimatet och samhället ska kunna bygga och utvecklas i samma takt som idag, fast med större hänsyn till miljön.

Syftet med rapporten är att utforska nya byggnadstekniska lösningar och alternativa byggnadsmaterial som kan sänka energiförbrukning för småhus. Informationen som publiceras i rapporten ska vara lättillgänglig för att informera och inspirera privatpersoner att bygga eget, därför skapas en booklet.

För att undersöka alternativa lösningar som gynnar energiförbrukningen för småhus gjordes en litteraturstudie för att få en bredare förståelse i ämnet. Under studien uppdagades att naturhus är ett koncept med stor potential för energieffektivisering, därför ligger fokuset i rapporten på naturhusets klimatskal. För att undersöka konkreta exempel gjordes studiebesök hos befintliga naturhusägare och en husleverantör. Detta gjordes för att få en direkt inblick från personer som bor i naturhus. Ett av studiebesöken hade hampakalk som isoleringsmaterial i väggarna. Hampakalken har flera intressanta egenskaper som undersöks och redovisas i rapporten. För att förstå de eventuella problemen med att bo i ett naturhus diskuteras lösningar och anpassning med de boende i naturhusen. Här tas soldukar, ventileradnock och öppningsbara glaspartier upp som tekniska lösningar till den eventuella övertemperatur som kan uppkomma i växthusdelen.

Vidare för att ytterligare nå syftet med rapporten skapas ett koncepthus som ger läsaren ett konkret exempel på hur de byggnadstekniska lösningarna och materialen kan användas. Visualiseringar och renderingar görs i datorn med hjälp av Autodesk Revit och tjänsten Fiverr för att få ett tydligt exempel på hur de byggnadstekniska lösningarna kan se ut. Slutligen sammanfattas arbetet med generella tankar och åsikter om hur potentialen för hållbart småhusbyggande ser ut i framtiden.

Nyckelord: naturhus, hållbar utveckling, hampa, hampakalk, byggnadstekniska lösningar, visualisering, rendering.

Booklet for sustainable housing
Energy efficiency of single-family houses with the help of building technology
solutions and material selection

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

JAKOB NIEMER

EDVIN SCHULZ

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Building Technology
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The conservative construction industry faces a significant challenge as the ongoing climate crisis leaves its mark on society. With new environmental goals set by the EU, the construction industry will need to change its strategy and approach. The new mindset must be more climate-adapted, allowing society to build and develop at the same pace as today, but with greater consideration for the environment.

The purpose of this report is to explore new building techniques and alternative construction materials that can reduce energy consumption in residential houses. The information presented in the report aims to be easily accessible, informing and inspiring individuals to build their own homes. Therefore, a booklet will be created.

To investigate alternative solutions that benefit energy consumption in residential houses, a literature review was conducted to gain a broader understanding of the subject. "Nature house" is a concept with great potential for energy efficiency. Therefore, the focus of the report lies on the climate shell of nature house. In order to examine concrete examples, visits were made to existing nature houses and a house supplier. This was done to gain firsthand insights from individuals living in nature houses. One of the study visits had hempcrete as insulation material in the walls. The hempcrete has several interesting properties that are investigated and presented in the report. To understand the potential problems of living in a nature house, solutions and adaptations are discussed with the residents of the nature houses. Sunshades, ventilated ridges, and operable glass panels are discussed as technical solutions to the potential overheating that may occur in the greenhouse section.

Furthermore, to further achieve the purpose of the report, a concept house is created, providing the reader with a concrete example of how the building technology solutions and materials can be utilized. Visualizations and renderings are produced on the computer using Autodesk Revit and the service Fiverr, to provide a clear example of what the building technology solutions can look like. Finally, the work is summarized with general thoughts and opinions on the future potential of sustainable small-scale housing.

Keywords: nature house, sustainable development, hemp, hempcrete, building technology solutions, visualization, rendering.

Innehållsförteckning

BOOKLET FÖR HÅLLBARA SMÅHUS	IV
SAMMANFATTNING.....	V
ABSTRACT.....	VII
FÖRORD	2
BETECKNINGAR	3
BEGREPP	3
VARIABLER	3
1. INLEDNING	4
1.1 SYFTE	4
1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR.....	4
1.3 AVGRÄNSNINGAR	4
2. METOD.....	6
2.1 LITTERATURSTUDIE.....	6
2.2 STUDIEBESÖK VID NATURHUS.....	6
2.3 STUDIEBESÖK HOS HUSLEVERANTÖR.....	6
2.4 BOOKLET FÖR HÅLLBARA SMÅHUS.....	6
3. KONCEPT	7
3.1 NATURHUS	7
3.1.1 KONSTRUKTION	9
3.1.2 KLIMAT	9
3.1.3 KRETSLOPP.....	10
3.1.4 ATT LEVA I NATURHUS.....	10
3.1.5 FÖRDELAR OCH NACKDELAR MED NATURHUS	11
3.2 MATERIAL	11
3.2.1 HAMPA	11
3.2.1.1 Historia	11
3.2.1.2 Tillgänglighet.....	12
3.2.2 KALK.....	14
3.2.2.1 Kalkbruk.....	14
3.2.3 HAMPAKALK.....	14
3.2.3.1 Hampakalkens historia	14
3.2.3.2 Framställning/tillverkning.....	15
3.2.3.3 Kostnad.....	15
3.2.3.4 Fuktegenskaper.....	16
3.2.3.5 Jämförelse av tekniska data	19
3.2.3.6 Fördelar och nackdelar	20
4. STUDIEBESÖK	21
4.1 TEST SITE STENINGE.....	21
4.2 NATURHUS TORPADAL.....	23
4.3 EVIA AB.....	24
4.4 JÄMFÖRELSE.....	26
5. RESULTAT	27
5.1 EKOHEMMET	27
5.1.1 KÄRNHUS OCH VÄXTHUS	27
5.1.2 MATERIALVAL.....	30
5.1.3 ANSLUTNINGAR	31
5.1.4 INNEKLIMAT	32

5.1.5 KOSTNAD ATT BYGGA EKOHEMMET	33
5.1.6 ENERGIFÖRBRUKNING FÖR EKOHEMMET.....	33
5.1.7 EKOHEMMET SOM INVESTERING.....	36
5.1.8 VISUALISERINGAR.....	37
5.2 SVAR PÅ FRÅGESTÄLLNINGAR	40
6. DISKUSSION	41
7. LITTERATURFÖRTECKNING	42
8. BILAGOR	45
8.1 BOOKLET	45
8.2 VISUALISERINGAR	49

Förord

Denna rapport är ett examensarbete som är den avslutande delen av högskoleutbildningen på Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Tillsammans med institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik (ACE) och Buildility AB har arbetet utförts under vårterminen 2023.

Tack till Bijan Adl-Zarrabi och Angela Sasic Kalagasidis för handledning under projektets gång. Med hjälp av eran kunskap har projektets utveckling gått i rätt riktning samtidigt som vi har lärt oss mycket.

Tack till Daniel Femerström på Buildility AB som har bistått med handledning under hela projektets gång. Din kunskap och kreativitet har varit till stor hjälp för arbetets slutresultat.

Tack till Patrik Bengtsson och Caroline Mårtensson för besöket i Steninge, ert miljötank är en viktig del av byggbranschens utveckling. Med hjälp av studiebesöket har vi fått mycket information och inspiration om hur vi ska utforma vårt arbete.

Tack till Johan Lidström och Sylvia Ågren för besöket i Torpadal, med hjälp av era projekt kommer ni att påverka framtidens byggande. Med hjälp av studiebesöket har vi fått mycket information och inspiration om hur vi ska utforma vårt arbete.

Tack till Evia AB för besöket i eran fabrik i Varberg, ni påverkar byggbranschen dagligen och för den mot en ny miljövänlig riktning. Studiebesöket hos er gav oss en inblick i hur tillverkningsprocessen av miljövänliga byggelement går till.

Göteborg juni 2023

Jakob Niemer

Edvin Schulz

Beteckningar

I detta avsnitt presenteras begrepp och variabler som används i rapporten.

Begrepp

Booklet – Broschyr.

Naturhus – Huskoncept med en villa omsluten av ett växthus.

Kärnhus – Boendedelen av ett naturhus.

Hygroskopi – Egenskap hos ämnen eller material att ta upp och avge vatten från/till omgivningen.

Autodesk Revit – Datorprogram för modellering av byggnader.

Fiverr - Onlinemarknadsplats för frilanstjänster.

Variabler

λ -värde [$W/(m \cdot K)$] – Värmekonduktivitet, anger hur bra ett material isolerar. Ett lägre värde innebär bättre isoleringsförmåga.

R-värde [$(m^2 \cdot K)/W$] – Värmemotstånd, anger hur bra ett specifikt materialskikt isolerar.

T – Temperatur [$^{\circ}C$]

V – Volym [m^3]

n – Luftomsättning [$1/h$]

g – Fuktproduktion [g/s]

δ – Ånggenomsläpplighet [m^2/s]

v_s – Mättnadsånghalt [g/m^3]

v – Ånghalt [g/m^3]

RF – Relativa fuktigheten [%]

d – Väggtjocklek [mm]

Z – Motstånd för transport av ånga genom ett material [s/m]

1. Inledning

Byggbranschen är en konservativ bransch där utvecklingen går långsamt, för att driva utvecklingen framåt är forskning och studier en väg för branschen att gå i rätt riktning. För att samhället ska fungera måste alla delar inom näringslivet hålla en jämn takt och byggbranschens uppgift blir att uppehålla ett jämnt tempo med andra sektorer. Med nya utmaningar som berör miljö och klimat är kraven som ställs på byggbranschen hårdare än någonsin vilket sätter små och stora företag på prov. Denna rapport kommer att behandla nya sätt att bygga småhus på och vad som kan komma att bli framtidens byggande, ett mer hållbart sätt att bygga som kan bli den nya standarden. För att husen ska göra ett så litet avtryck som möjligt på miljön behöver husens livslängd bli längre samt deras drift och energibehov vara lågt. Med nya krav kommer branschen behöva använda sig av alternativa material som inte förbrukar naturens resurser i samma utsträckning som det gör idag.

Naturhus är ett hussystem med ett bostadshus omslutet av ett växthus som på senare år fått ett uppsving i samband med klimatförändringar. Naturhus kan ses som ett försök på att utnyttja solenergin mer än de klassiska husen gör idag. Denna enkla lösning av att placera ett bostadshus inuti ett växthus kanske kan sänka driftskostnaden för bostadshuset genom närmare analyser av byggelementen och klimatskalet. Efter justering kan naturhusen blir mer effektiva än en traditionell villa, om så är fallet kommer påverkan vara stor då sättet vi bor på kommer att förändras. Miljön kommer att påverkas för det bättre om energibehovet sänks.

Att bo i naturhus handlar inte bara om att bo i ett hus som ser annorlunda ut, med naturhus medföljer en rad andra utmaningar som ställer krav på människans levnadssätt och vanor som finns i ett hushåll. Eftersom hustypen kommer påverka levnadssättet mycket kommer det finnas mycket information att hämta kring området om hur människor hade kunnat leva i naturhus. På grund av avgränsningar i projektet kommer fokus inte läggas på människors beteendemönster i naturhus.

1.1 Syfte

Syftet med rapporten är att inspirera och informera privatpersoner om alternativa byggnadsmaterial och lösningar som kan sänka energiförbrukningen för småhus.

1.2 Frågeställningar

Nedan presenteras 2 frågor som rapporten kommer behandla.

1. Vilka byggnadsmaterial kan sänka driftskostnaden för småhus?
2. Vad finns det för byggnadstekniska lösningar som kan sänka driftskostnaden för småhus?

1.3 Avgränsningar

Avgränsningar av projektets innehåll gör att rapportens fokus kommer vara på husets väggar och ett alternativt isoleringsmaterial som kan användas för att sänka energiförbrukningen. Byggnadstekniska lösningar kommer presenteras i rapporten för ytterligare effektivisering vilket kommer att utgöra en del av projektet.

Att fokusera på husets väggar avgränsar projektets storlek och lägger fokus på husets mest kritiska byggnadskomponent. För att illustrera hur mycket utav husets area som består av väggar, jämfört med tak, kommer enkla matematiska uttryck att presenteras. Golvet kommer försummas då värmeförluster genom marken är relativt små (Haglund, 2010). Huset som förenklas har volym som två sammansatta kuber med en area på kortsidan av $x \text{ m}^2$ och långsidan $2x \text{ m}^2$. Taket är platt och får således arean $2x$. Genom att addera husets väggar fås $6x$. Kvoten mellan den totala väggarean och den totala arean för huset är följande: $\frac{6x}{8x} = \frac{6}{8}$ vilket motsvarar 75%. Väggarean är alltså 75% av hela husets area. Därför väljs väggarna som fokusområde för att täcka den största byggnadsdelen.

2. Metod

Metodavsnittet beskriver tillvägagångssättet för att uppnå rapportens syfte och hur de olika frågeställningarna kan besvaras inom ramarna för projektets avgränsningar.

2.1 Litteraturstudie

Rapporten kommer inledas med en presentation av en litteraturstudie där information hämtas från rapporter och litteratur som berör ämnet. Med hjälp av denna information kan grundlig kunskap om naturhus erhållas för en djupare förståelse av ämnet. Detta är en viktig del av projektet för att senare i processen kunna belysa relevanta punkter i intervjuer.

Vidare kommer litteraturstudien även behandla en sammanställning av olika byggnadsmaterial och dess tekniska data. Av denna jämförelse presenteras fördelar och nackdelar med olika byggnadsmaterial.

2.2 Studiebesök vid naturhus

Eftersom rapportens syfte är att inspirera och informera privatpersoner som ska bygga hus har studiebesök och intervjuer gjorts hos privatpersoner som bor i naturhus. Genom att besöka naturhus och höra från människorna som bor i husen hämtas information om hur upplevelsen är att bo i naturhus. Relevant fakta om för- och nackdelar kommer presenteras i rapporten. Husen som undersöks kommer vara olika utformade vilket kan leda till olika förutsättningar och förhållanden som ställs på människorna som bor i huset. Med konkreta och verkliga exempel kan ett resultat uppnås genom noggrann bearbetning av informationen som hämtas från studiebesöken.

2.3 Studiebesök hos husleverantör

Eftersom privatpersonerna som bor i huset inte innehar all information om hur hus fungerar och är byggt kommer även studiebesök hos en husleverantör att genomföras. Resultatet kommer få en större trovärdighet då informationen kommer från personer som jobbar dagligen med att bygga hus.

2.4 Booklet för hållbara småhus

Vidare för att kunskapen ska nå mottagaren kommer en booklet skapas där informationen är komprimerad och lättillgänglig. För att nå en bredare målgrupp och sprida informationen kan en booklet vara till hjälp. Bookleten blir ett ytterligare hjälpmedel utöver denna rapport att sprida kunskapen.

3. Koncept

Konceptsnittet nedan skrivs för att sammanställa relevant information till rapporten. Litteraturstudier har gjorts kommer redovisas nedan och är tänkt att agera som en grund till rapporten. Med stöd i studiebesöken kommer resultat att skapas och en diskussion som efterföljer. Litteraturstudierna som har gjorts är hämtade från tidskrifter, litteratur, diskussionsforum och myndigheter som alla berör ämnet.

3.1 Naturhus

Ett naturhus är en bostadsvilla med ett omslutet kretslopp där man tar vara på restprodukter från människans hushåll som används till odling. Giftiga ämnen ska inte släppas ut i miljön eftersom restprodukterna filtreras bort i antingen växtbäddar eller externa filtreringssystem. Grundkonceptet är att naturhusen ska samspela med miljön och mycket fokus ligger på att ha en målbild om att bli självförsörjande. Många i Sverige känner till naturhusen som ett hus med ett växthus omslutande där ett medelhavsklimat går att efterlikna större delar av året. Med ett växthus runt kärnhuset skapas ett extra klimatskal som utnyttjar växthuseffekten och temperaturen kommer under soliga dagar att vara högre än en traditionell villa. Klimatskalet i växthusdelen är oisolererad och består endast av genomskinligt glas. Syftet är att släppa in så mycket solljus som möjligt och samtidigt stänga in värmen.

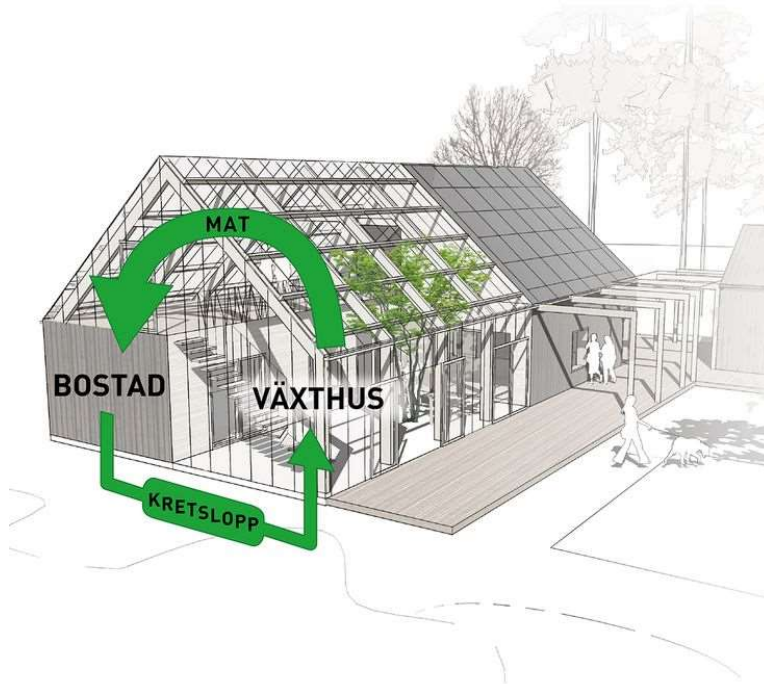


Bild 1: Illustration av kretsloppssystem (tailor-made.se).

Bengt Warne utvecklade under 1970-talet konceptet med naturhus och gav växthusen med en bostad inuti ett namn. Visionen för naturhus följer 4 olika regler för att det ska anses som ett riktigt naturhus på Bengts principer. Nedanstående citat är hämtade från boken Naturhus (Granmar, Detta är ett naturhus, 2021).

Regel 1: "Håll det enkelt, försök att inte komplicera med modern teknik. Låt biologin göra jobbet."

För att rena luften i huset kan växternas fotosyntes utnyttjas och en frisk inomhusluft kan uppnås, detta kan komplettera ventilationssystemet i huset och behovet av ventilation kommer inte vara lika stort (Kasimir, 2019).

Regel 2: "Huset är ett med naturen, precis som våra organismer är. Kan organismerna leva på sol, vind, regn, jord och växter kan våra hus också göra det."

Målet är att utnyttja naturens krafter och resurser på bästa sätt. Placering av huset optimalt för utvinning av solenergi, med vädring i nocken utnyttjas skorstenseffekten på bästa sätt, utnyttja vattnets kretslopp och jordens naturliga rening till odlingarna och växtligheten i växthuset.

Regel 3: "Det handlar om en livsstil att leva i ett naturhus, låt människan styra klimatet de vill leva i med hjälp av vädring, uppvärmning, vattning och odling. Då kan människan skraddarsy sitt eget klimat."

Människor har olika preferenser och i ett naturhus kan man lätt anpassa klimatet utefter egna behov. Allt från val av växter till temperatur och fuktighet.

Regel 4: "Om naturen inte kan hjälpa till med tillräcklig uppvärmning eller kylning ska miljövänlig teknik hjälpa till."

Naturhusen ska planeras varsamt och om naturens krafter inte är tillräckliga ska ett uppvärmnings-/kylningsalternativ som är miljösmart väljas. Med ett miljösmart alternativ menas ett system som både är energieffektivt men samtidigt använder sig av en naturlig och förnyelsebar källa. Detta kan exempelvis vara olika typer av bergvärmepumpar och solceller.

Under 2000-talet växer intresset kring naturhus och efterfrågan på att bygga nya naturhus ökar. På grund av den rådande klimatkrisen försöker människan hitta nya sätt att leva på som ska harmonisera mer med miljön och naturhus är ett bra exempel på detta. Fler människor sätter sig in i denna miljöfråga och nya tankesätt lägger banan för hur nya naturhus kan utformas. Reglerna som nämns ovan används ofta som grundtanke men blir mer flexibla med användning av ny teknik för att optimera och effektivisera konceptet.

3.1.1 Konstruktion

Naturhus kan se ut på många olika sätt och konstruktionen kan variera stort beroende på vilka förutsättningar som finns för byggnaden. Växthusdelen behöver inte alltid sträcka sig över hela huset och det finns naturhus som har en integrerad växthusdel i kärnhuset för att få ett lite mer subtilt intryck. Syftet med konstruktionen och växthuset är att få en lägre driftskostnad och kan ofta uppnås om konstruktionen är utförd på rätt sätt, detta till priset av en högre byggkostnad då kärnhuset ska omslutas av mer material som kräver planering, beräkningar och arbetskraft. Det kan ses som en investering att bygga naturhus som du tjänar på i att driftskostnaden kommer vara lägre än för en traditionell villa, se avsnitt 4.4 (Granmar, Uppvärmning, kyla och ventilation, 2021). Att få bygglov för sitt naturhus kan vara svårare då man oftast bygger högre och tar upp en större markyta, konstruktionen blir över lag mer komplicerad vilket inte underlättar för bygglovssökande.

Materialen i kärnhuset är inte begränsade till något specifikt byggmaterial utan även där kan det variera. Många av redan befintliga naturhus är byggda med ett kärnhus i trä för att följa visionen om ett miljövänligt hus men det går också att bygga kärnhuset i lera, halm eller betong med mera. Växthusdelens ytskikt är i de flesta fallen gjorda i glas men kan även utföras i plast. Stommen till växthuset görs enklast i stål eftersom klimatet inne i växthuset är fuktigt, det går att bygga stommen i trä och det finns byggda exempel med trästomme men risken för mögeltillväxt blir större.

För att uppnå ett bra inneklimat i växthus och kärnhus krävs ofta extra konstruktionslösningar som kan styra temperatur och fuktighet vilket är ett bra exempel på hur Bengt Warnes principer kan tänjas. En standard för dagens växthus är luftningsbar nock som kan öppnas och stängas beroende på temperatur. Den åtgärd kan vara tillräcklig under vår och höst när utetemperaturen inte är för hög. Under sommaren behövs ytterligare åtgärder i form av skyddande dukar som ligger parallellt med växthusets glasytor som är ett effektivt sätt få mer skugga och hindra solinstrålningen.

3.1.2 Klimat

Ytan omkring kärnhuset kan locka många boende i det nordiska klimatet då man får längre sommar, vår och höst som kortar ner vinterperioden, detta ger i sin tur möjlighet till odling av andra växter som inte hade överlevt det nordliga klimatet. På samma sätt som naturhus är en möjlighet för boende i det nordliga klimatet att odla nya växter och njuta av längre somrar kan det vara en nackdel med naturhus i varmare klimat. Där vill man inte ha varmare och längre somrar för att växterna ska överleva. Det redan fuktiga och varma klimatet behöver inte bli varmare.

Enligt folkhälsomyndigheten är riktvärdet för operativ temperatur 18°C inomhus och detta kan ses som ett riktvärde för naturhusens medeltemperatur (Folkhälsomyndigheten, 2022). På sommaren stiger temperaturen i växthusdelen oftast en bra bit över utetemperaturen på grund av solinstrålningen. På vår och höst ligger däremot temperaturen i växthuset närmre 18°C,

medeltemperaturen blir därför i växthuset närmre folkhälsomyndighetens riktvärde och man kan på så sätt sänka driftskostnaden (Wallin, 2010). Inomhustemperatur kan upplevas olika av alla människor och är en personlig preferens, att förlänga sommaren behöver inte anses som positivt för alla. Nu ska naturhusen vara ett system som sänker användandet av miljöresurser och då kan detta system vara lösningen vilket människor måste anpassa sig till. Samtidigt är temperaturen i växthuset justerbart med hjälp av vädring och solskydd.

3.1.3 Kretslopp

Eftersom naturhus ska vara ett med naturen måste restprodukter och avfall från huset leva i harmoni med miljön. En vanlig lösning i ett naturhus är att ta vara på näringen i avloppsvattnet och använda den till odling i växthuset. Detta kan göras med hjälp av externa tankar under huset som maler och filtrerar avloppsvattnet i olika steg. I tre steg får avloppsvattnet sedimentera utan kemiska tillsatser och i det sista steget är vattnet så rent att det kan användas till växtbäddarna i växthuset. I växtbäddarna finns olika materialskikt och spridarrör som fördelar vätskan jämnt. De olika skikten hjälper till med att hålla bäddarna luftiga och gynna de mikro- och makroorganismer som behövs för att kunna bryta ner det som pumpas upp. Det kvarstående sedimentet i källaren kan släppas ut i naturen utan att det skapar några problem (TV4, Grand designs Sverige, 2021). Detta används i ett av naturhusen som besöktes under arbetets gång. På så sätt kan man få ut fullgott vatten fullt med näring att använda till odling. Kretsloppet blir slutet när frukt och grönsaker kan växa och skördas av boende i huset som sedan leder till nytt näringsrikt avloppsvatten. Kretsloppet i huset kan på detta sätt bli delvis självförsörjande och behöver på så sätt inte nödvändigtvis anslutas till kommunala system, om ytterligare lösningar behövs för att inte släppa ut farliga ämnen i miljön kan en mulltoa kombinerat med kompost hjälpa till.

3.1.4 Att leva i naturhus

Naturhus kräver som alla andra hus underhåll för att huset ska må bra och bibehålla en lång livslängd. Uppgifterna som innebär att underhålla ett naturhus kan skilja sig ifrån de vanliga uppgifterna som sköts för en vanlig villa. Ett exempel på detta kan vara att måla fasaden, eftersom kärnhuset i ett naturhus inte utsätts för regn, vind och snö behövs inte huset målas om lika ofta. Däremot medföljer en rad andra uppgifter för att se om huset såsom att underhålla avloppssystem, sköta odling och styra temperaturen.

Ytorna som skapas runt kärnhuset kan utnyttjas på ett annat sätt jämfört med ett traditionellt hus, det väderskyddade området ger möjlighet till att hänga tvätt utan påverkan från regn och vind. Samtidigt som växthuset klimat torkar textilierna snabbare på grund av klimatet. Uteterrasserna får ett vindskydd som samtidigt tar vara på solen vilket gör den mer lättanvänd.

För att kretsloppet ska fungera kan det krävas mycket jobb i underhållning av avloppssystemet, men även för att sköta odlingen. Att plantera, skörda och se till att växterna trivs i klimatet kan ta upp mycket tid hos de boende. Med hjälp av ett automatiskt

bevattningssystem kan mycket tid sparas när det näringsrika odlingsvattnet ska nå växterna. Denna lösning är något som utvecklats under senare år och bör ses på som ett komplement till Bengt Warnes grundkoncept om naturhus.

3.1.5 Fördelar och nackdelar med naturhus

För att konkretisera naturhus görs en tabell som tar upp för- och nackdelar med att bo i naturhus. På så sätt fås en bra överblick över vad som kan vara bra och dåligt och tabellen kan ses som ett hjälpmedel för framtida naturhusägare.

Tabell 1: Fördelar och nackdelar med naturhus.

Fördelar	Nackdelar
Lägre driftskostnad	Högre byggkostnad
Användningsområden av växthusytor	Mer underhåll
Slutet kretslopp, inget utsläpp av farliga ämnen	Kan vara svårare att söka bygglov
Större odlingsmöjligheter	Problem med övertemperaturer

De presenterade för-/nackdelarna är framtagna genom egna analyser och resonemang. Där vi hämtat information från litteratur och filminslag.

3.2 Material

Stycket nedan berör de olika materialen som rapporten har valt att rikta in sig på. Här presenteras relevant fakta som ger mottagaren en grundförståelse för det kommande resultatet.

3.2.1 Hampa

Hampa (*Cannabis sativa L*) är en tålig snabbväxande gröda som trivs i många klimatzoner och som även kan växa i näringsfattiga jordar. Den kan bli upp till 4 m hög under endast en säsong men i Sverige växer den sällan över 2 m. Hampa associeras ofta till cannabis. Det är därför en av världens mest igenkända planta. Cannabis är en drog som innehåller den aktiva ingrediensen tetrahydrocannabinol (THC) vilket bidragit till den stora samhällsdebatten kring hampans existens. Idag får endast en viss typ av hampa odlas i Sverige, så kallad industrihampa. Denna hampasort innehåller högst 0,3% THC till skillnad från marijuana som innehåller 7–14% THC (Knudsen, 2022). Det krävs även godkännande av Jordbruksverket och en ansökan om så kallat gårdsstöd innan påbörjad odling av hampan (Jordbruksverket, 2023). Att få gårdsstöd innebär att man får ekonomiskt stöd. För att få detta ska vissa krav uppfyllas så som; minst 4 hektar mark, att man bevisar genom prover och etiketter att man odlar en godkänd hampasort och att man sköter om sin mark. Det är endast personen som äger marken som har rätt att ansöka om gårdsstöd (Jordbruksverket, 2023).

3.2.1.1 Historia

Hampans historia sträcker så långt som ca 10 000 år före vår tideräkning. Det är från den tiden man hittar de första spåren av hampa i Asien. Därefter så dyker det även upp i Europa, Afrika och Sydamerika. Från början har man hittat arkeologiska spår av repavtryck på keramik från hampan, men det kommer att hittas många användningsområden för grödan

under dess livslängd. Bland annat har hampan använts till; olja, kåda, mat, bränsle, mediciner, kosmetika, kläder, rep och papper (Stanwix & Sparrow, 2014).

Under det första århundradet används hampan till papper. Det hittas genom arkeologiska undersökningar i kinesiska gravar. Det ska ha gått till så att man krossat fibrer från hampa och mullbärsbark till en massa och blandat ihop detta med vatten som sedan lades i en behållare med vatten. De trassliga fibrerna skulle då ha stigit till ytan och kunde då avlägsnas. Då lades fibrerna i en form där de kunde torka och efter torkning hade man då ett ark som gick att skriva på. Kineserna ska ha hållit tillverkningsprocessen för sig själva innan det spred sig till Japan på 400-talet och genom kinesiska fångar på 800-talet till arabländerna (hempeyewear, 2021).

Efter detta ska hampan ha spridit sig västerut gradvis genom Indien, mellanöstern, Afrika och Medelhavet. Här växte kulturen för odlarna och spelade en betydande roll i handeln och expansionen av större civilisationer. Den starka kulturen kring hampaodling spred sig senare till Storbritannien där den spelat en betydande roll. Faktum är att Henry VIII (1491–1547) införskaffade en lag som gjorde det obligatoriskt att odla hampa för farmare. Detta var för att stärka försvaret med segelduk och rigg till havs (Stanwix & Sparrow, 2014). I Sverige har hampan odlats sedan medeltiden (Böcker & Lind, 2019). Under 1900-talet börjar man mer aktivt att använda sig av cannabis p.g.a. dess drogande effekt. Det gör att många länder inrättar lagar som gör det olagligt att inneha och bruka cannabis. Sverige införskaffade 1974 lagen om förbud mot all odling av hampa som sedan justerades 2003 (Böcker & Lind, 2019). Idag pågår fortfarande debatten om cannabis och huruvida man ska få bruka drogen. Vissa länder har valt att tillåta drogen i mindre doser och även för medicinskt syfte. Eftersom det infördes så strikta lagar under 1900-talet så har odlingen av hampa stannat av under den senare delen av 1900-talet (hampaförbundet.se, 2018). Man ser en tydlig trend att fler börjar odla hampa eftersom fler och fler länder reglerar lagarna för att göra det möjligt att kunna odla de hampasorten med THC-nivåer under 0,3%, industrihampa.

3.2.1.2 Tillgänglighet

Hampa odlas idag runt om i hela världen. Kina är idag och har alltid varit den största producenten av industrihampa (Böcker & Lind, 2019). I Europa ökade antalet hektar odlingsmark mellan 2015 och 2019 från 19 970 till 34 960 hektar. Det är en ökning på hela 75%. Produktionen av hampa ökade i jämlig takt, från 94 120 ton till 152 820 ton som motsvarar 62,4%. Nedan följer en graf som visar utvecklingen mellan 2015 och 2021 i Europa.

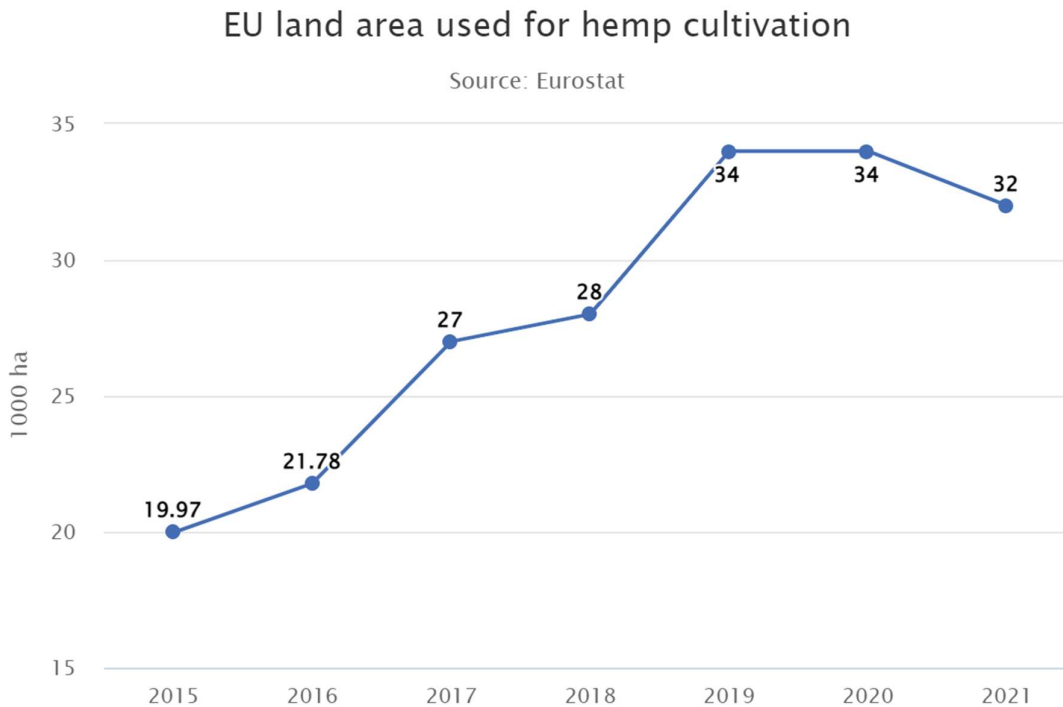


Bild 2: Använd mark för industrihampa i Europa (European Commission, u.d.).

Den största producenten av industrihampa är idag Frankrike som står för ca 70% av produktionen i Europa. Detta är för att Frankrike aldrig haft något förbud mot att odla industrihampa, vilket kan jämföras med andra länder som haft lagstiftningar som förbjudit odlingen. I Sverige har odlingen haft en kraftig nedgång efter 2007. Men sedan 2015 har antalet hektar odlad hampa ökat igen och vi ser en tydlig trend där produktionen ökar.

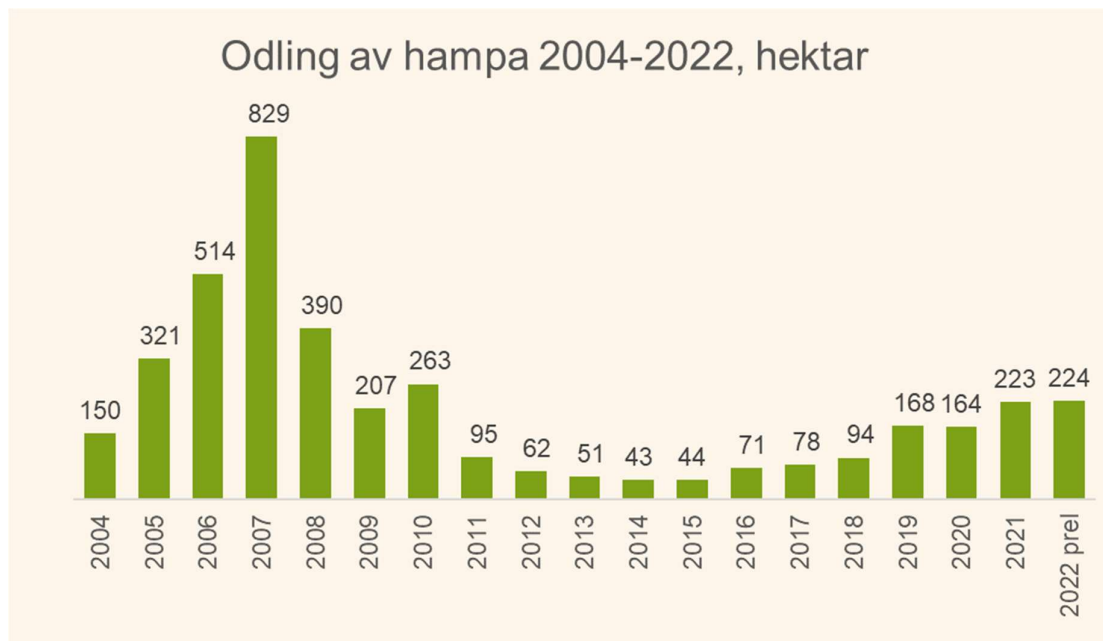


Bild 3: Odling i Sverige (Karlsson, 2022).

3.2.2 Kalk

Kalk är i dagligt tal inget entydigt begrepp utan används för olika kemiska föreningar som innehåller kalcium (Berggren, 2017). Ofta används kalk för att beskriva krossad eller mald kalksten eller dolomit. Rent vetenskapligt borde kalk enbart kopplas till kalciumoxid, som kallas osläckt kalk, som tas fram genom bränning av kalksten i 1000 °C eller högre. I denna process tas koldioxiden bort och kallas kalcinering. Det som blir kvar är en frätande substans som förr användes till beredning av mur- och putsbruk. Släckt kalk kallas den kalk som är osläckt kalk blandat med vatten. Denna process kallas släckning och sker under en väldig stor värmeutveckling. Den släckta kalken delas upp i två kategorier där mängden beblandat vatten spelar en betydande roll. Dessa former heter torrsläckt kalk och våtsläckt kalk. Torrsläckt kalk används till rening av dricks- och avloppsvatten, men även till byggindustrin för att bereda mur- och putsbruk (Berggren, 2017). Den våtsläckta kalken har ett smalare användningsområde, bland annat till beredning av kalkfärg.

3.2.2.1 Kalkbruk

För att framställa det vi idag kallar kalkbruk används osläckt kalk eller släckt kalk tillsammans med sand, eventuella tillsatsmedel och vatten. Sand fungerar som ett utdrysningssmedel mot den dyrare kalken men även som förbättrande komponent till brukets konsistens. Sanden gör den mer lättarbetad och bidrar även med att göra bruket mindre benäget att spricka vid torkning (Berggren, 2017).

3.2.3 Hampakalk

Hampakalk är ett helt organiskt byggmaterial som kan användas som isolermaterial till hus. Det består av vatten, en kalkmix och hampaskävor som kommer från hampaväxten. Hampaskävorna ses oftast som en restprodukt av grödan då man utvinnet mycket annat av växtens olika delar. Skävorna är träiga bitar från plantans kärna som blir över när fibrerna separeras (Edbladh & Persson, 2018). Materialet du får fram är ett hygroskopiskt material vilket innebär att det kan ta upp och avge fukt utan att det påverkar dess funktion (byggipedia.se, 2023). Hampakalken har en rad eftertraktade egenskaper såsom; värmetrögt, fuktbuffrande, diffusionsöppet och isolerande. Det är även ett koldioxidnegativt material vilket innebär att den mängden hampa som behövs binder mer koldioxid än vad som går åt för att tillverka den mängden kalken som behövs (Holmdahl, Fördelar med hampakalk). En LCA-analys stärker detta argument (EVEA, 2018).

3.2.3.1 Hampakalkens historia

Hampakalk är ett byggnadsmaterial som funnits länge men ännu inte använts speciellt mycket i Sverige. Detta för att Sverige ännu inte beprövat detta byggnadsmaterial tillräckligt mycket för att ha en stabil grund att luta sig mot. Hampakalkens födelse började redan för ca 1000 år sedan. Inte just användandet av hampa tillsammans med kalk utan andra biomassor med kalk. Faktum är att metoden sägs ha använts för att bygga den Kinesiska muren. Att använda sig utav hampa tillsammans med kalk kommer från Frankrike där en ingenjör ville hitta ett sätt att bygga med hjälp av restprodukterna från den industriella skördeprocessen (Beyda, 2021). Målet var att restaurera gamla bondgårdar som var i dåligt skick. Man började använda byggnads materialet i mitten av 1980-talet i Frankrike och fram tills idag har man byggt ca 10 000 små- och flerfamiljshus med hampakalk (Gidlund, 2022).

3.2.3.2 Framställning/tillverkning

Hampakalk kan byggas på två olika sätt. Antingen så gjuter man det på plats, för hand eller med hjälp av en spruta som sprutar hampakalken på plats in i den förbyggda formen som efter härdning tas bort. Detta sätt är ganska jobbigt och omständligt menar byggare och det lämpar sig bättre vid renoveringar av redan befintliga väggar. En mer modern metod för hampakalken är prefabricerade element som man gjuter och låter härda innan själva elementen sätts på plats, precis som vid prefabricering av betongelement. Man kan antingen prefabricera hela väggar eller bygga med block. Blocken tas då till byggarbetsplatsen där de fogas samman. Detta gör att monteringstiden blir betydligt kortare och man kan skapa väggarna under mer ordnade former. Härdningen kan ske inomhus där man lättare kan styra över temperatur och vind, vilket påverkar härdningstiden för hampakalken. En nackdel med hampakalk är att blandningen är mer trögflytande än betong innan härdning, detta leder till mer jobb för att få en jämn och plan yta. Eftersom betongen är mer lättflytande gör gravitationen jobbet och man behöver endast vibrera formen för att undvika luft i betongen. För att få samma resultat med hampakalk görs ett mer omfattande jobb innan härdning där mätning och krattning av blandningen utgör större delen av jobbet. För att blanda hampakalk krävs som ovan beskrivet hampaskävor, en kalkmix och vatten. Fördelningen för 1 m³ mellan dessa ingredienser är följande:

- 900 liter hampa, vilket motsvarar 100 kg (5 säckar)
- 320 liter kalk, vilket motsvarar 180 kg (10 säckar)
- 300 liter vatten som motsvarar 300 kg

Efter att blandningen har torkat uppnås en densitet på 280 kg/m³.

3.2.3.3 Kostnad

I en rapport skriven av Edbladh och Persson nämner de Mariann Grundvall som genomfört ett examensarbete om hampakalkens konstruktionsteknik. Där har Grundvall tagit fram priset 1512 kr/m³ i materialkostnader (Edbladh & Persson, 2018). Däremot har dagens marknad präglats av skiftande priser där transporter och annat påverkat hela industrin. Idag ligger priset på ca 3750 kr/m³ skriver Peter Holmdahl (Holmdahl, 2023). Priset kommer från houseofhemp.se som är en leverantör och rådgivare inom hampakalksområdet. Man betalar per påse av hampa och kalk där priset ligger på ca 250 kr/säck. Fördelningen nämns i stycket ovan.

Ovanstående prisbild kan jämföras med andra isoleringsmaterial så som mineralull, träfiberisolering och cellplast som är några av dagens standard i byggindustrin.

Mineralull: 700-1000 kr/m³ (byggmax.se, 2023)

Träfiberisolering: ca 1300 kr/m³ (k-rauta.se, 2023)

Cellplast: 1100-1400 kr/m³ (bauhaus.se, 2023)

Vad som är viktigt att ta upp när det gäller isolering är att priset/m³ ibland inte är lika relevant som priset/m² då olika typer av isolering kräver olika tjocklekar för ett visst önskat inneklimat. Just för hampakalk så fungerar isoleringsmaterialet helt annorlunda. Det samverkar mer med hela huset då det är ett hygroskopiskt material. I en vanlig villa ventileras fukt och luft ut genom ett tillhörande ventilationssystem eller självdrag. I en konstruktion byggd med hampakalk görs denna reglering av materialet. Förutsättningar för att få detta att

fungera är att bygga en väggkonstruktion där alla ingående skikt är diffusionsöppna. Fukten kan då vandra genom väggkonstruktionen utan att påverka konstruktionen negativt (Holmdahl, Fördelar med hampakalk). Evia AB hävdar att siffror på pappret i själva verket är betydligt bättre i praktiken. Därför är hampakalk svårt att jämföra rakt av med andra isolerande material.

3.2.3.4 Fuktegenskaper

I detta avsnitt kommer materialets fuktegenskaper presenteras och förenklade beräkningar på den relativa fuktigheten inomhus kommer redovisas. Mängden fukt som transporteras genom väggen kommer också att beräknas. För att studera hampakalkens fuktegenskaper kommer temperaturer, relativa fuktigheter, fuktproduktion, luftomsättningar och väggens tjocklek att antas. Två fall kommer redovisas, fall 1 simulerar hampakalkens fuktegenskaper i ett klimat som liknar ett växthus och fall 2 ska likna ett uteklimat.

Ånggenomsläpplighet för hampakalk, omräkning av enheter:

$$\frac{1 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}} * 1,7 * 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m s Pa})}{7,407 * 10^{-6} \text{ kg}/(\text{m s Pa})} = 2,3 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Där $1,7 * 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m s Pa})$ är ånggenomsläppligheten för hampakalk och $7,407 * 10^{-6} \text{ kg}/(\text{m s Pa})$ är en omvandlingskonstant. Ånggenomsläppligheten omvandlas ovan till en enhet som bättre passar beräkningarna nedan. För att omvandla indata används förhållandet mellan de två enheterna för att erhålla rätt enhet (Dhakal, Berardi, Gorgolewski, & Richman, 2017), (Sjöberg, 2015).

Tabell 2: Förutsättningar för förenklad beräkning av relativ fuktighet inomhus, fall 1.

Parameter:		Beteckning:
Husvolym	500 m ³	<i>V</i>
Luftomsättning	0,5 1/h	<i>n</i>
Fuktproduktion	0,14 g/s	<i>g</i>
Ånggenomsläpplighet	$2,3 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	δ
Mättnadsånghalt (30°C)	30,31 g/m ³	<i>v_s</i>
Mättnadsånghalt (22°C)	19,41 g/m ³	<i>v_s</i>
Innetemperatur	22°C	<i>T_{inne}</i>
Relativ fuktighet ute	70%	<i>RF_{ute}</i>
Utetemperatur	30°C	<i>T_{ute}</i>
Vägg tjocklek	360 mm	<i>d</i>

De ovan valda värdena ska efterlikna ett verkligt fall, där fuktproduktionen baseras på antalet personer i huset och intern produktion från exempelvis fasta installationer, mänskliga aktiviteter så som dusch, diskning och tvätt. Där värdet 0,14 g/s kan ses som ett riktvärde för ett hus av denna storlek.

Beräkningsgång för relativ fuktighet inomhus och stationärt fuktflöde under 1 timme på 1m² vägg, fall 1:

$$R_a = n * V = \frac{0,5}{3600} * 500 = 0,07 \frac{m^3}{s}$$

$$v_{Inne} = \frac{v_{ute} * R_a + g}{R_a} = \frac{0,7 * 30,31 \frac{g}{m^3} * 0,07 \frac{m^3}{s} + 0,14 \text{ g/s}}{0,07 \text{ m}^3/\text{s}} = 14,124 \text{ g/m}^3$$

$$RF_{inne} = \frac{v_{inne}}{v_s(22^\circ\text{C})} = \frac{14,124 \frac{g}{m^3}}{19,41 \text{ g/m}^3} = 0,728 = 72,8\%$$

$$Z_{vägg} = \frac{d_{vägg}}{\delta_{vägg}} = \frac{0,36 \text{ m}}{2,3 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = 15652 \text{ s/m}$$

$$g = \frac{(v_A - v_B)}{Z} = \frac{0,7 * 30,31 - 14,124 \text{ g/m}^3}{15652 + 360 + 60} = 4,41 * 10^{-4} \frac{g}{m^2 * s}$$

$$4,41 \frac{g}{m^2 * s} * 3600 \text{ sek} = 1,58 \frac{g}{m^2} \text{ varje timme.}$$

Tabell 3: Förutsättningar för förenklad beräkning av relativ fuktighet inomhus, fall 2.

Parameter:		Beteckning:
Husvolym	500 m ³	<i>V</i>
Luftomsättning	0,5 1/h	<i>n</i>
Fuktproduktion	0,14 g/s	<i>g</i>
Ånggenomsläpplighet	2,3 * 10 ⁻⁵ m ² /s	<i>δ</i>
Mättnadsånghalt (20°C)	17,28	<i>v_s</i>
Mättnadsånghalt (22°C)	19,41	<i>v_s</i>
Innetemperatur	22°C	<i>T_{inne}</i>
Relativ fuktighet ute	40%	<i>RF_{ute}</i>
Utetemperatur	20°C	<i>T_{ute}</i>
Vägg tjocklek	360 mm	<i>d</i>

Beräkningsgång för relativ fuktighet inomhus och stationärt fuktflöde under 1 timme på 1m² vägg, fall 2:

$$R_a = n * V = \frac{0,5}{3600} * 500 = 0,07 \frac{m^3}{s}$$

$$v_{Inne} = \frac{v_{ute} * R_a + g}{R_a} = \frac{0,4 * 17,28 \frac{g}{m^3} * 0,07 \frac{m^3}{s} + 0,14 \text{ g/s}}{0,07 \text{ m}^3/\text{s}} = 8,912 \text{ g/m}^3$$

$$RF_{inne} = \frac{v_{inne}}{v_s(22^\circ\text{C})} = \frac{8,912 \frac{g}{m^3}}{19,41 \text{ g/m}^3} = 0,459 = 45,9\%$$

$$Z_{vägg} = \frac{d_{vägg}}{\delta_{vägg}} = \frac{0,36 \text{ m}}{2,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = 15652 \text{ s/m}$$

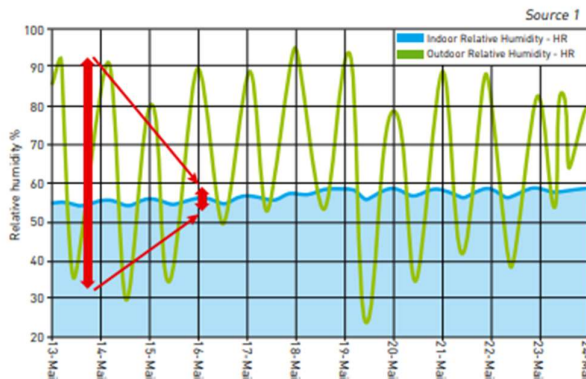
$$g = \frac{(v_A - v_B)}{Z} = \frac{0,4 \cdot 17,28 - 8,912 \text{ g/m}^3}{15652 + 360 + 60} = -1,24 \cdot 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$-1,24 \cdot 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \cdot 3600 \text{ sek} = -0,45 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \text{ varje timme.}$$

Beräkningarna ovan presenterar fukthalt inomhus och fuktflöde som transporteras genom en kvadratmeter av hampakalk under en timme. Enligt fall 1 beräknas den relativa fuktigheten inomhus att vara 72,8% och fuktflödet 1,58 g/m² varje timme. Den relativa fuktigheten kan anses vara relativt hög för de rekommendationer som finns. I jämförelse med luftfuktigheten utomhus för just detta fall är inte luftfuktigheten inomhus speciellt hög (Condair, u.å). För fall 2 blev den relativa fuktigheten 45,9% och fuktflödet -0,45g/m² varje timme. Fuktflödet för hampakalken är relativt lågt jämfört med referensvärden som varierar mellan 3,6–36 g/m² varje timme (Prowler, 2016). Detta för att hampakalken har goda egenskaper när det kommer till att buffra fukten i väggen.

2 - Regulation of humidity

Tradical® Hempcrete constantly stores excess moisture or compensates for lack of moisture within the structure. 95% of variation in relative humidity is absorbed.



Source 1: University of Bath (UK), Dr. Mike Laurence

Bild 4: Reglering av fukt (Laurence, 2010-2012)

Diagrammet ovan visar hampakalkens egenskaper av att buffra fukt. Den gröna linjen representerar relativ utomhusfuktighet medan den blå linjen visar relativ inomhusfuktighet. Då fuktigheten varierar mycket utomhus under dag och natt sträcker sig den gröna linjen under ett större område. Eftersom hampakalken buffrar dessa skiftningar mycket kommer fuktigheten inomhus inte påverkas lika mycket.

3.2.3.5 Jämförelse av tekniska data

För att jämföra isoleringsmaterialen mot varandra ställs de valda isoleringsmaterial upp i enkla tabeller för att redovisa tekniska värden.

Tabell 4: Teknisk data för hampakalk (Holmdahl, House of Hemp, 2023).

Densitet [kg/m ³]	280 kg/m ³
λ-värde [W/(m*K)]	0,076 W/(m*K)
R-värde [(m ² *K)/W]	Beroende på tjocklek, se tabell nedan

Tabell 5: R-värden för olika tjocklekar hampakalk (Holmdahl, House of Hemp, 2023).

THERMAL PERFORMANCE RATINGS		
15-cm-thick wall		R = 2.0
20-cm-thick wall		R = 2.6
25-cm-thick wall		R = 3.3
30-cm-thick wall		R = 4.0
35-cm-thick wall		R = 4.6
40-cm-thick wall		R = 5.3

R in (m².K/W)

De redovisade värdena är räknat på utan ytskikt och ytmotstånd.

Tabell 6: Teknisk data för mineralull (Bokalders, 2017)

Densitet [kg/m ³]	20-50 kg/m ³
λ-värde [W/(m*K)]	0,034-0,040 W/(m*K)
R-värde [(m ² *K)/W]	6,25-7,35 (m ² *K)/W 25 cm tjock

Tabell 7: Teknisk data för träfiberisolering (Bokalders, 2017)

Densitet [kg/m ³]	45 kg/m ³
λ-värde [W/(m*K)]	0,037-0,039 W/(m*K)
R-värde [(m ² *K)/W]	6,41-6,757 (m ² *K)/W 25 cm tjock

Tabell 8: Teknisk data för cellplast (Bokalders, 2017)

Densitet [kg/m ³]	15-30 kg/m ³
λ-värde [W/(m*K)]	0,035-0,041 W/(m*K)
R-värde [(m ² *K)/W]	6,10-7,14 (m ² *K)/W 25 cm tjock

Det vi kan se är att hampakalk har betydligt högre λ-värde jämfört med övriga isoleringsmaterial. Det är även betydligt tyngre än ovan presenterade material. Det man enkelt kan göra för att förbättra isoleringsförmågan är att öka tjockleken på väggen för att uppnå samma resultat.

3.2.3.6 Fördelar och nackdelar

Tabell 9: Fördelar och nackdelar med hampakalk.

Värmetrögt	Dyra produktionsmaskiner
Hygroskopiskt	Ej kommersiellt gångbart än
Biobaserat	Utforskat i kallare klimat
Koldioxidnegativt	Ej lika bra isoleringsvärde på pappret

Tabellen är sammansatt från konceptavsnittet ovan.

4. Studiebesök

Under projektets gång gjordes studiebesök vid 2 befintliga naturhus och 1 besök hos en husleverantör. Med hjälp av studiebesök kan information hämtas och komplettera litteraturstudierna. Från studiebesöken hämtades information och inspiration för att skapa en booklet.

4.1 Test Site Steninge

Mellan Falkenberg och Halmstad finns ”test site Steninge” som är tänkt att ”agera som plattform för praktiskt experimenterande och samtal kring hållbart byggande” enligt Bengtsson och Mårtensson som bor där. På tomten står ett naturhus med ett fotavtryck på 152 m², i detta växthus finns ett kärnhus med 70 m² isolerad boarea med en tillhörande takterrass på 82 m². År 2016 köpte Bengtsson och Mårtensson tomten som skulle bli deras framtida laborationsplats, för att få in känslan av platsen flyttade de dit en husbil och bodde på tomten. Paret bodde på platsen en längre period innan de påbörjade byggprocessen.



Bild 5: Foto tagit utanför test site Steninge (Niemer & Schulz, 2023).

2020 började de laborera med ett material som heter hampakalk. Väggarna till kärnhuset är isolerade med hampakalk och bärs upp av en trästomme, väggarnas ytskikt består till utsidan av ett kalkputs medan insidan är av lerputs. Hampakalken som är väggens isolerade skikt är 33 cm tjockt och har gjutits på plats av Patrik och Caroline. Hos de två husägarna finns ett stort intresse för miljö och husbyggande och som nämnt tidigare ska denna plats vara en plattform för praktiskt experimenterade och det är precis var det var under gjutningen av hampakalken. Patrik och Caroline beskriver processen som ganska omständlig och de fick testa sig fram med olika metoder för att hitta ett lämpligt arbetssätt.

När vi besökte huset var det en solig februaridag, utetemperaturen låg på runt 3°. Trots den hyfsat låga utetemperaturen var det en behaglig temperatur i växthuset på cirka 15°. Den höga

temperaturen i växthuset är mycket på grund av solens strålningsenergi, hade vi varit där en mindre solig dag hade temperaturen inte varit lika hög. Inne i kärnhuset är temperaturen 22° med en relativ fuktighet på 42%, dessa mätningar gjordes av Patrik och Caroline med hjälp av mätinstrument i bostaden (se bild 6). Med hjälp av solinstrålningen i växthuset får de ett klimat som skiljer sig från det traditionella svenska klimatet. Sommaren blir lite längre samt våren och hösten blir varmare årstider, detta gör att möjligheten för odling ökar då många växter kan klara sig bättre stora delar av året. Patrik beskriver det som att de tre årstiderna, vår, sommar och höst så bor de stort. Då är de ute utanför växthuset och sköter sin trädgård eller vistas i växthuset. Under vintern bor de i stället smått och håller sig inne i kärnhuset.

Temperaturen i växthuset blir väldigt beroende av hur mycket solen strålar, på grund av detta har Patrik och Caroline skaffat dukar som ligger längst taket på växthuset. Trots den automatiserade luftade nocken som finns på växthuset behövs ytterligare hjälpmedel för att kunna justera temperaturen. Dukarna kan användas för att hålla solljuset ute och på så sätt hålla ner temperaturen på varma sommardagar. Patrik nämner även att dukarna kan användas på kvällen när solen har gått ner. Då används duken för att hålla kvar värmen (Bengtsson, 2023). Duken kan alltså fungera som ett extra skydd för växthuskonstruktionen. Genom att sätta upp dukarna försvåras transportvägen för värmen att transportera sig igenom glasfasaden. Detta kan enkelt förklaras med hjälp av R-värde då man lägger till ett material och ökar således på R_{tot} . Värmen behöver alltså transportera sig igenom ett extra materialsikt.

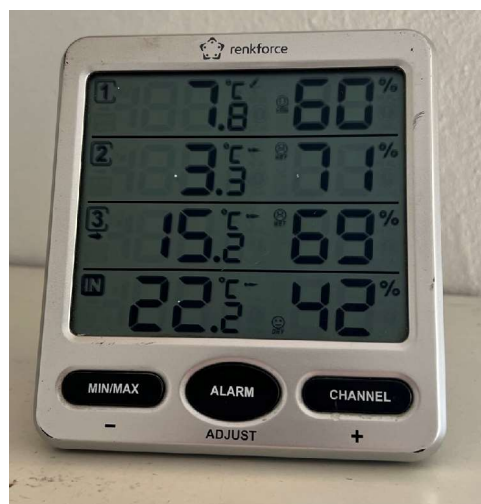


Bild 6: Foto i växthusedelen (Niemer & Schulz, 2023). *Bild 7:* Termometer i bostad. (Niemer & Schulz, 2023)

4.2 Naturhus Torpadal

Nordöst om Göteborg finns ”Naturhus Torpadal”, huset är beläget upp för en brant backe där man har ett större markområde på 21 400 m² till förfogande. I huset bor en småbarnsfamilj med 3 barn. Intill huset rinner en bäck som familjen prioriterar högt och förstärker den naturnära känslan. Boytan är 212 m² och den inglasade växthusetdelen på 123 m². Husstommen är byggd med KL-trä och isolerad med träfiber. För familjen var det viktigt att bygga med samma material genom hela väggen, därför valdes träfiberisolering framför byggbranschens standard.



Bild 8: Foto tagen från uppfarten till huset (Niemer & Schulz, 2023).

Tomten är vald med stor omsorg efter familjens egna intressen och värderingar. Familjen använde sig av ett Excel-ark med olika parametrar för att rangordna olika tomter. Där närheten till skog, förskola, paddelvatten, mataffär, kollektivtrafik med mera spelade en avgörande roll när man väl skulle välja sin framtida boplats. Tomten i Torpadal vann överlägset sett till de olika parametrarna jämfört med andra tomter.

Utformningen av huset är gjort så att det ska hjälpa familjen i vardagen. Huset följer ett tydligt flödesschema där man fokuserat mycket på familjens intresse för naturen och träning. Huset är fördelat i en entrédel/funktionsdel och en bostadsdel som binds ihop med en glasad länk. I entrédelen/funktionsdelen finns goda förvaringsmöjligheter för alla familjemedlemmar och saneringsyta där man kan tvätta av sig innan man kommer in i bostadsdelen. Från bostadsdelen har man tillgång till den inglasade växthusetdelen där ett kretsloppssystem finns och odling i klimat likt norra Italien. Växthusetdelen är generös till storleken där takhöjden verkligen bidrar till en härlig rymd.

Naturhus Torpadal är väl genomtänkt och skräddarsytt till familjen. Det finns en kombination mellan ett medvetet miljötank och en väl utformad arkitektur. Till exempel detaljer som

hörnfönster i sovrummen för maximalt ljusinsläpp vilket vi tyckte var väldigt snyggt. Under vårt besök hos Johan och Sylvia så upplevde vi framför allt betydelsen av en gedigen takhöjd i växthusdelen. I jämförelse till vårt tidigare besök i Steninge så gav takhöjden i Torpadal en annan rymd och känsla som vi var positiva till. (Lidström & Ågren, 2023)



Bild 9: Foto från insidan av huset på övervåning (Niemer & Schulz, 2023).

4.3 Evia AB

Evia AB är en husleverantör av prefabricerade byggelement som har en patenterad bygglösning med materialet foamglas. Denna teknik kallas koljern-teknik och är en modern byggmetod som är oberoende av betong. Med andra material och tekniker kan samma och nya egenskaper uppnås för byggelementen vilket ger hustillverkningen nya utmaningar jämfört med de traditionella byggteknikerna. Med denna teknik byggs grundplattan med klossar i foamglas till skillnad från traditionell gjutning av bottenplatta i betong. Den klassiska betonggjutningen utnyttjar gravitation som ger plattan en slät yta som går parallellt med marken, på så sätt får man ett rakt hus utan att behöva lägga ner mycket arbetskraft på mätning. Med foamglasklossarna måste mätning vara precis och noggrann så bottenplattan inte blir sned, om det inte utförs rätt kan konsekvenserna bli stora senare i byggskedet (TV4, Grand Designs Sverige, 2023).

Evia AB levererar också prefabricerade byggelement som är isolerade med hampakalk, de delar upp deras hampakalksväggar i två olika varianter. Alternativ A som har en utsida av kalkputs, isolering i hampakalk där träreglarna gjuts in och en insida där man kan använda sig av antingen skivor i fibergips eller puts i lera eller kalk.

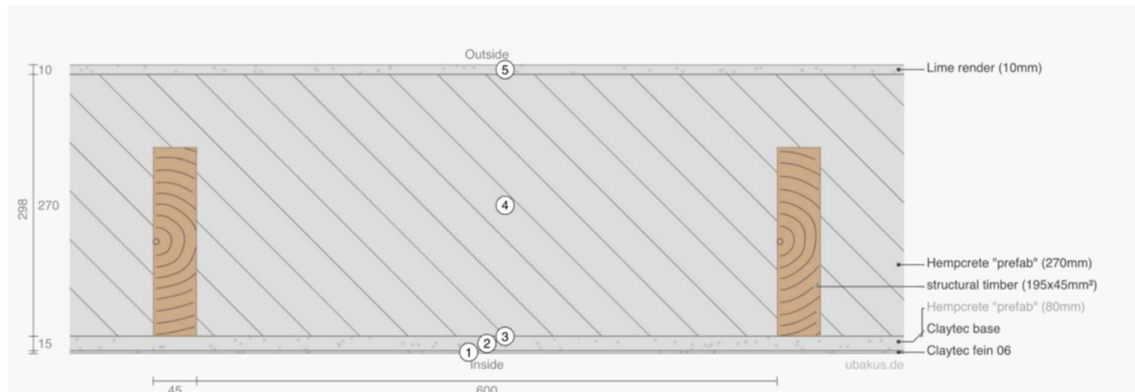


Bild 10: Väggalternativ A från Evia AB (Evia AB, u.å).

Alternativ B som lämpar sig bättre om det utvändiga ytskiktet inte ska vara av puts. Denna vägg har en fasadbeklädnad i önskat material som är luftad, efterföljt av en träfiberskiva och ett membran som andas. Därefter kommer lättbalkar i trä som gjuts in med den isolerande hampakalken. De invändiga ytskikten är samma som för alternativ A med skivor i fibergips eller puts i lera eller kal.

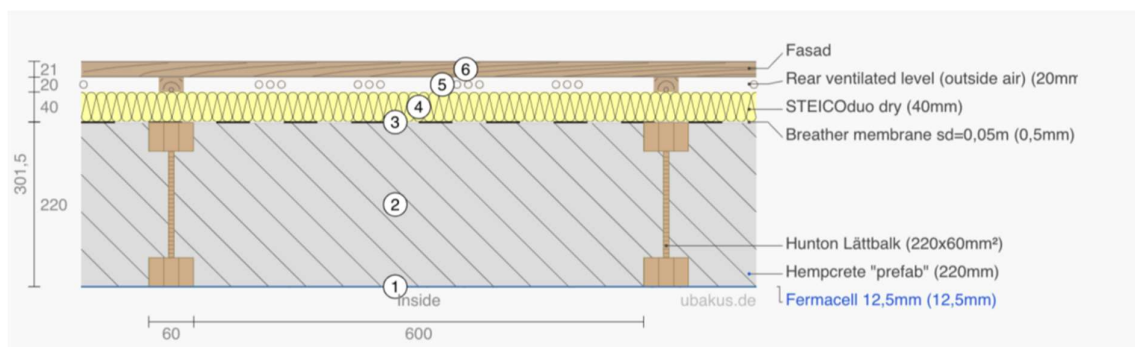


Bild 11: Väggalternativ B från Evia AB (Evia AB, u.å).

Om ett installationsskikt ska användas kan detta monteras på insidan för att få plats med el-/vatteninstallationer, detta skikt görs i önskat skivmaterial som isoleras med naturfiber. De båda alternativen har en trästomme som utgör den bärande delen utav väggen även fast hampakalken har egenskaper som förmodligen hade kunnat agera bärande stomme till huset. Eftersom denna teknik är relativt ny och obeprövad används träreglarna som en extra säkerhetsåtgärd för att uppnå en stabil konstruktion (Eliasson, 2023).

Vidare kommer tjockleken på väggarna ligga på mellan 320-380 mm och ha ett U-värde på 0,18-0,24 W/m²*K beroende på tjocklek och väggalternativ. Väggarna har ingen diffusionsspärr och tanken är att fukten ska kunna vandra igenom väggen utan att isoleregenskaperna försämras. Om en diffusionsspärr skulle installerats i väggen hade egenskaperna försämrats då fukten stannat kvar i väggen och eventuellt gett upphov till mögelskador den bärande träkonstruktionen. För att badrummen ska uppfylla våtrumskrav behandlas de enskilt (Evia AB, u.å).

Priset på väggarna är 3300-3600 kr/m² under 2023 exklusive moms och frakt beroende på vilket väggalternativ som valts. Om man jämför hampakalkselementen mot betongelement är hampakalken det dyrare alternativet med ungefär 20% (Nyhlin, 2022).

4.4 Jämförelse

Vidare för att få en uppfattning om hur husen som besökts ställer sig gentemot andra villor görs en jämförelse. I detta avsnitt kommer jämförelsen presentera skillnaden i energiförbrukning för olika villor.

Tabell 10: Jämförelse av energiförbrukning.

Enheter	Torpadal (bergvärme)	Steninge (bergvärme)	Villa med direktverkande el (212 m ²)	Villa med fjärrvärme/bergvärme (212 m ²)
kWh/år	8000	5000	20000	12500
kWh/år/m ²	37,7	70,4	94,3	58,9

Tabellen visar att naturhuset i Torpadal har lägst förbrukning per kvadratmeter samtidigt som villa med direktverkande el har högst värde. De ingående värdena kommer från energimarknadsbyrån och kan ses som medelförbrukning i Sverige. Arean på de föreställda villorna har därför satts till 212 m² för att jämföra med naturhuset i Torpadal (Konsumenternas energimarknadsbyrå, 2023).

5. Resultat

Resultatet som följer nedan är ett typhus, Ekohemmet, som är tänkt att fungera som inspiration till framtida husbyggare. Genom rapportens koncept och studiebesök har resultatet tagits fram. Ekohemmet agerar som en grund i skapandet av en booklet för att göra informationen lättillgänglig för allmänheten. Dagens information kring naturhus och hampakalk finns tillgänglig men är ofta svår att greppa. Resultatet skapades för att göra informationen mer lättillgänglig.

5.1 Ekohemmet

För att vidare uppnå syftet med arbetet har ett koncepthus skapats, detta hus kallar vi för Ekohemmet och kan ses som en variant av naturhus. Ett hem som är anpassat för en bredare målgrupp och som är mer lämpat för massproduktion. Syftet med huset är att informera och inspirera privatpersoner till hållbart byggande och en levnadsstil som inte förbrukar jordens resurser i samma utsträckning som villor gör idag. Med Ekohemmet får mottagaren ett konkret exempel på hur olika byggnadstekniska lösningar kan appliceras för att sänka driftskostnaden hos småhus. Man får också längre sommarperiod då man utnyttjar solens värme på vår- och hösten. Tanken med Ekohemmet är att skapa ett väldigt behagligt klimat i växthuset på annars lite kallare perioder. På samma sätt som naturhus lever i harmoni med naturen gör Ekohemmet detsamma fast med anpassning för en storskalig tillverkning. Naturhusen har ett avloppssystem som kan innebära underhåll och pappersarbete för att ansluta sig till det kommunala vattennätverket, detta undviker Ekohemmet. Men för en ännu tydligare cirkulär och ekologisk koppling bör detta appliceras.

Ekohemmet är en bostadsvilla i två plan med en boarea på 174 m². Fotavtrycket som hela bostaden utgör är på 200 m² och bottenplattan är dimensionerad 10*20 m. Växthusdelens bruksarea är på 78 m² exklusive en takterrass på 33 m². Totalhöjden för huset är 7,8 m.

5.1.1 Kärnhus och växthus

Som rapporten tidigare har diskuterat så kan ett omslutande växthus bidra med en rad eftertraktade egenskaper som kan leda till sänkt driftskostnad om det hanteras på rätt sätt. Samtidigt kommer växthuset ställa en del krav på kärnhusets konstruktion och installationsteknik på grund av det förändrade klimatet. Eftersom växthuset släpper in solenergi kommer klimatet utanför kärnhuset vara beroende av hur mycket solen visar sig under dagen. Detta leder till att även kalla vinterdagar kan leda till ett varmt växthus, så länge solen är framme kommer temperaturen vara behaglig. För att utnyttja denna växthuseffekt behöver ekohemmets planlösning och geografiska riktning vara anpassad för maximal solinstrålning.

Planlösningen på första våningen är utformad för att utnyttja följande egenskaper. Huset ska med fördel placeras med uteplats mot syd.

Tabell 11: Tankar kring våning 1.

Tvätttrum i anslutning till växthus för att kunna hänga tvätt i växthuset samt gå in via denna del om man är smutsig.
Sovrum mot norr.
Förrådsutrymmen under utvändig trappa.
WC avskild från sociala ytor och nära sovrums och entré.
Arbetsrum tillgängligt som eventuellt gästtrum.
Öppna sociala ytor.

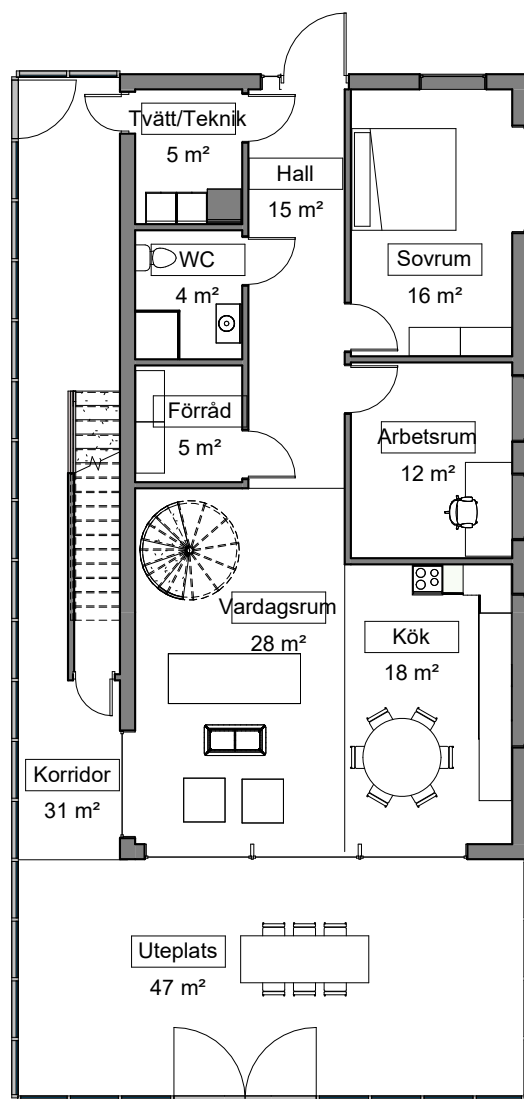


Bild 13: Planlösning våning 1 Ekohemmet.

Planlösningen på andra våningen är utformad för att utnyttja följande egenskaper.

Tabell 12: Tankar kring våning 2.

Avskilda sovrum för barn och ungdomar.
WC nära sovrum.
Allrum för aktiviteter och underhållning.
Uteterrass för utnyttjande av växthus.

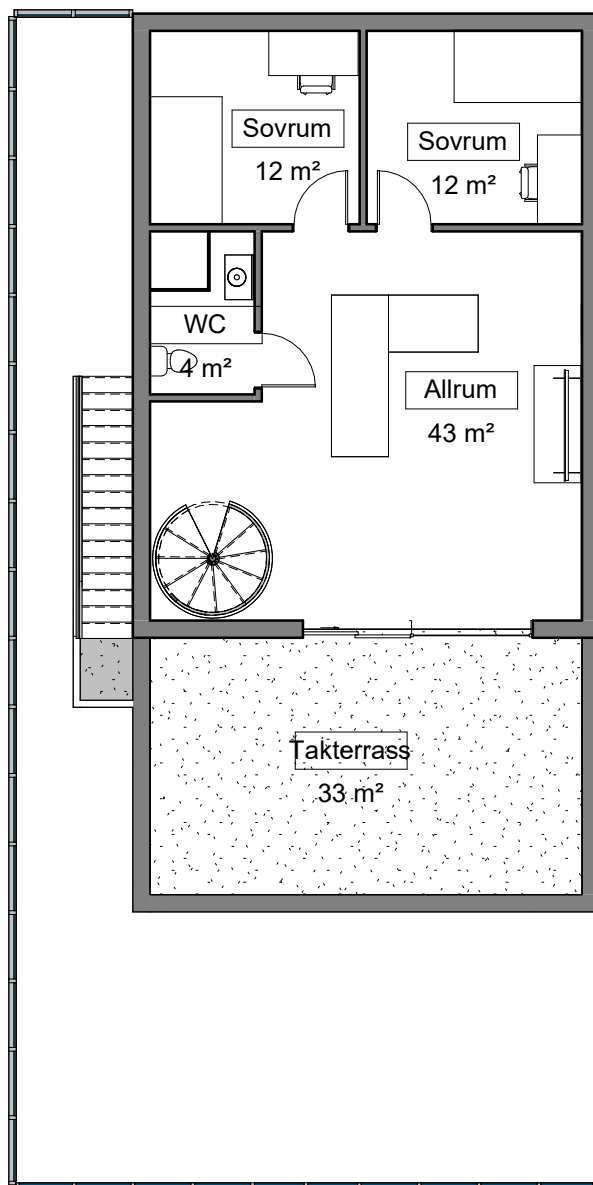


Bild 14: Planlösning våning 2 Ekohemmet.

5.1.2 Materialval

Eftersom solinstrålningen kommer vara en betydande faktor av inneklimatets temperatur behöver kärnhusets material vara väl anpassade för stora temperaturskillnader. Väggarna i huset är prefabricerade hampakalksväggar som gör huset till ett värmetrögt hus som kan buffra värmen. Med detta menas att värmen lagras i väggarna. Under dagen när det är varmt ute kommer väggarna att värmas upp och lagra energin till natten då utemperaturen sjunker, då kan väggarna sedan bidra till en högre innetemperatur. Så med ett växthus som har stora skillnader kompenseras temperaturskillnaderna med väggelement som är tröga och bidrar med en mer konstant innetemperatur.

Ytterväggarna som används kommer vara från Evia AB alternativ A vilket gör huset diffusionsöppet. Tanken är att den hygroskopiska hampakalken ska samspela med det fuktiga klimatet i växthuset. För vissa väggar med mycket rör- och kanalinstallationer används ett ytterligare skikt av skivmaterial.

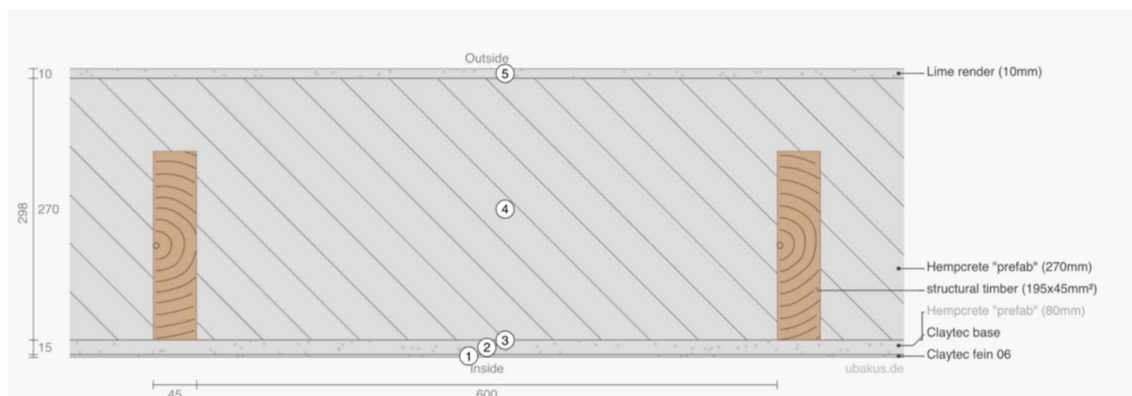


Bild 15: Väggalternativ A från Evia AB (Evia AB, u.å.).

5.1.3 Anslutningar

Nedan presenteras anslutningar till grundplattan i foamglas.

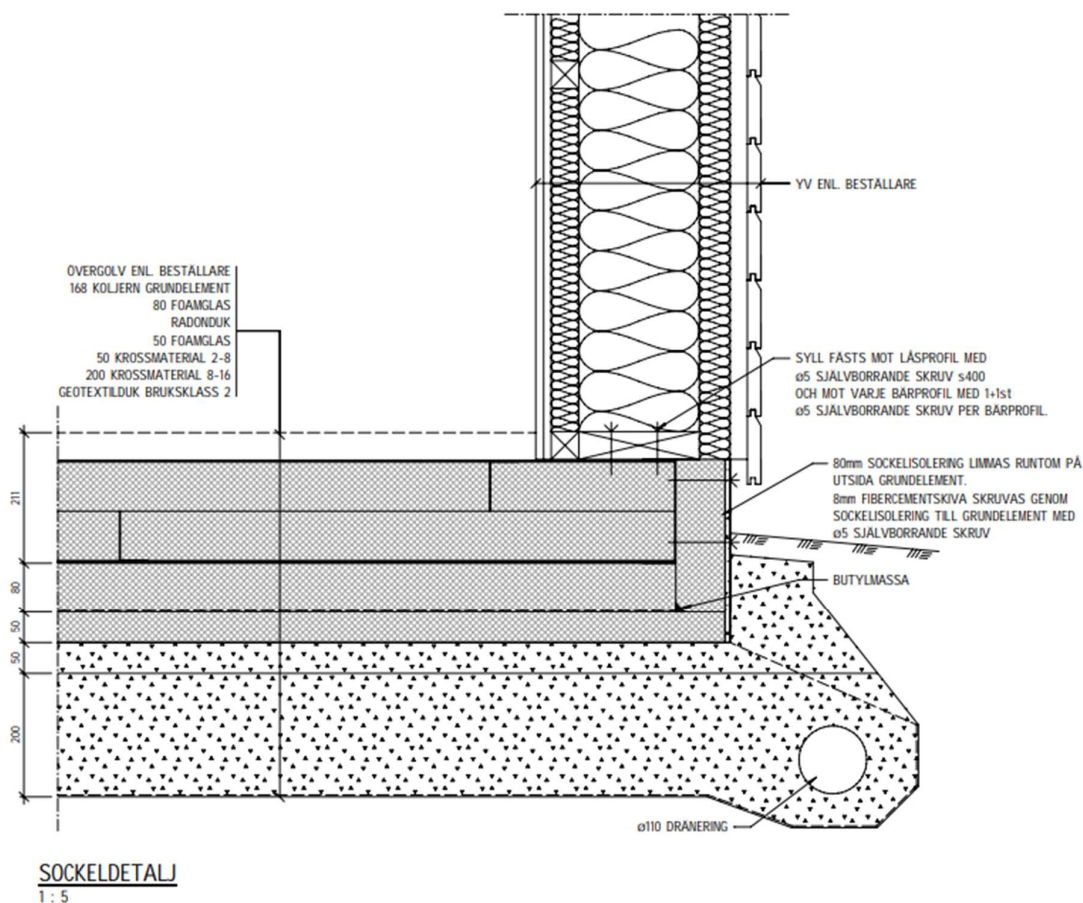


Bild 16: Detaljbild från Evia AB

Monteringen av grundplattan skiljer sig en del från en traditionell grundplatta i betong. Med foamglasplattorna krävs en jämn yta där man placerar alla rör i grusbädden innan utplacering av plattorna. På plattorna placeras en radonduk som fungerar som en självhäftande radon- och ångspärr. På detta placeras ytterligare ett lager av foamglas som bekläms med vinkelbeslag i kanterna.

Grund- och väggelement kan skilja sig mycket utifrån projekt men det finns några principer som är bra att följa. Till exempel som vid placering av ytterväggens isolering, den ska hamna i liv med grunden eller utanför kanten för att uppnå korrekt effekt. I metallen som löper runt foamglasen kan syllarna skruvas alternativt i plåtvinklar. När grunden är färdig kommer höjden vara 308mm exklusive golvuppbbyggnad.

5.1.4 Inneklimat

Klimatet i Ekohemmet är en viktig parameter som ger mycket möjligheter. För att skapa ett behagligt klimat även under sommartid behövs vissa åtgärder göras. En automatiserad vädringsbar nock medföljer i växthuskonstruktionen som reglerar de små temperaturförändringarna. Öppningsbara skjutpartier längs växthusets nedre del gör att växthusets temperatur hålls nere. De vädringsbara delarna kommer vara väldigt avgörande de mindre varma dagarna, men de dagar solen och utetemperaturen blir för svår att hantera kommer täckande soldukar att hjälpa till. Idag används lösningar då dukar placeras på insidan av växthuset. Den direkta solinstrålningen kommer då inte stråla direkt på en vilket är positivt. En nackdel med detta är att växthusets stomme värms upp vilket i sin tur leder värme in i växthuset (Wallin, 2010). En eventuell lösning till detta är att placera dukar på utsidan av växthuskonstruktionen på de mest utsatta delarna. Detta område är outforskat och det krävs mer forskning för att få önskat resultat. Klimatet i Ekohemmet är en viktig parameter som ger mycket möjligheter. För att skapa ett behagligt klimat även under sommartid behövs vissa åtgärder göras. En automatiserad vädringsbar nock medföljer i växthuskonstruktionen som reglerar de små temperaturförändringarna. Öppningsbara skjutpartier längs växthusets nedre del gör att växthusets temperatur hålls nere. De vädringsbara delarna kommer vara väldigt avgörande de mindre varma dagarna, men de dagar solen och utetemperaturen blir för svår att hantera kommer täckande soldukar att hjälpa till. Idag används lösningar då dukar placeras på insidan av växthuset. Den direkta solinstrålningen kommer då inte stråla direkt på en vilket är positivt. En nackdel med detta är att växthusets stomme värms upp vilket i sin tur leder värme in i växthuset (Wallin, 2010). En eventuell lösning till detta är att placera dukar på utsidan av växthuskonstruktionen på de mest utsatta delarna. Detta område är outforskat och det krävs mer forskning för att få önskat resultat.

5.1.5 Kostnad att bygga Ekohemmet

Ett estimerat pris på Ekohemmet har tagits fram för att ge en tydligare bild på vad det kan kosta att bygga mer hållbart och miljömedvetet. Siffrorna nedan är exklusive personalkostnader.

Tabell 13: Sammanställning av kostnader för Ekohemmet.

Väggar i hampakalk	1 000 000 kr
Tak	375 000 kr
Växthus inklusive vädringsbar nock	1 700 000 kr
Soldukar	300 000 kr
Skjutpartier	100 000 kr
Övrigt (fast installation, markarbete, grundplatta mm)	2 000 000 kr
Totalsumma	5 475 000 kr

Väggarna i hampakalk räknas efter ett pris på 3450 kr/m² där väggarean har beräknats till 234 m². Med säkerhetsmarginal väljs 1 000 000 kr. Taket utgår från samma prissättning som väggarna vilket ger 300 000 kr exklusive säkerhetsmarginal. Växthuset estimeras att kosta 1 700 000 kr utifrån studiebesök och vad befintliga projekt har betalat. Soldukarna och skjutpartiernas kostnad är en grov uppskattning och sätts till 300 000 kr respektive 100 000 kr.

5.1.6 Energiförbrukning för Ekohemmet

Vidare för att undersöka energiförbrukning för ekohemmet har beräkningar utförts. För att uppnå ett konkret svar har temperaturen i växthuset räknats ut med hjälp av kretsanalys, detta ligger till grund för vilken förbrukning Ekohemmet kan få. Temperaturen i växthuset kommer vara en avgörande faktor för storheten av värmeförluster genom klimatskalet. Förenklingar har gjorts där vi bortser från den tidiga morgonsolen på den östra sidan av fasaden.

Beräkning Tväxthus				
				Solintensitet Sommar
Indata:				Dag I0 [W/m2]= 1000
Areor	[m2]			Kväll I0 [W/m2]= 400
Växthustak	134			
Växthusvägg syd	66,15			U-värde [W/m2K]= 3,4
Växthusvägg väst	106			Temperatur inne [C]= 24
				Temperatur ute [C]= 25
Fall 1: Sommar mitt på dagen				Rse [m2K/W]= 0,04
cos(90)=	0			Use [W/m2K]= 25
Qtak [W]:	134000			Kse [W/K]= 3350
Qväggsyd [W]:	0			K2-glastak [W/K]= 455,6
Qväggväst [W]:	0			K2-glasvägg [W/K]= 585,31
Summa:	134000			Kvägg [W/K]= 43,2
				Teqtak= 65
				Tväxthus= 41,8
Fall 2: Sommarkväll				
cos(45)=	0,71	% täckt av sol		Temperatur inne [C]= 24
Qtak [W]:	23720	58		Temperatur ute [C]= 18
Qväggsyd [W]:	9355	50		Rse [m2K/W]= 0,04
Qväggväst [W]:	29981	100		Use [W/m2K]= 25
Summa:	63056			Kse [W/K]= 5426,9
				K2-glastak [W/K]= 455,6
				K2-glasvägg [W/K]= 585,31
				Area täckt av sol [m2]= 217,075
				Area i skugga [m2]= 89,075
				Kvägg [W/K]= 43,2
				Kskugga [W/K]= 302,86
				Ksol [W/K]= 738,06
				Teqväxthus= 29,6
				Tväxthus= 26,1

Bild 17: Beräkning av temperatur i växthuset (Excel).

Beräkningarna för fall 1 ger en temperatur i växthuset på 41,8°C vilket är en mycket hög temperatur, i detta klimat är bostaden inte hållbar att leva i. Detta fall är beräknat utifrån en sommardag där solinstrålningen är som högst på året och med utetemperatur som kan ses som ett relativt högt värde för platsen. Temperaturen inne i växthuset kan därför ses som ett extremvärde för vad som kan uppnås i Ekohemmet, och då är inte de byggnadstekniska lösningarna applicerade. Alltså ett helt stängt växthus och ingen skuggning av soldukar.

För fall 2 är temperaturen något lägre då det utgår från en sommarkväll. Temperaturen blir då 26,1°C och är närmre riktvärden för termisk komfort. Även i detta fall är de byggnadstekniska lösningarna inte applicerade så ytterligare justeringar är möjliga.

Växthustemperaturen räknas ut genom följande för båda fallen:

$$T_{\text{växthus}} = \frac{(T_{\text{tektak}} * K_{2\text{glastak}} + T_{\text{ute}} * K_{2\text{glasvägg}} + T_{\text{inne}} * K_{\text{vägg}})}{(K_{2\text{glastak}} + K_{2\text{glasvägg}} + K_{\text{vägg}})}$$

Där den ekvivalenta temperaturen för taket beräknas med hjälp av:

$$T_{\text{tektak}} = T_{\text{ute}} + \frac{Q_{\text{sol}}}{K_{\text{se}}}$$

När temperaturen för växthuset har beräknats kan värmeförlusterna genom klimatskalet tas fram.

Energiberäkning Eko hemmet						
	Vägg Norr	Vägg Öst	Vägg Syd	Vägg Väst		
Väggarea [m ²]	45	60	30	60		
U-vägg [W/m ² K]	0,21	0,21	0,21	0,21		
Fönsterarea [m ²]	5	7	20	7		
U-fönster [W/m ² K]	0,9	0,9	0,9	0,9		
Sommar	Inne	i växthus	Ute	Delta t (inne/växthus):	Delta t (inne/ute):	
med sol [*°C]	24	41,8	24	17,8	0	
Qväggar [W]	0	0	112,14	224,28		
Qfönster [W]	0	0	320,4	112,14	Qförlust [W]	768,96 (kylbehov)
utan sol [*°C]	24	24	24	0	0	
Qväggar [W]	0	0	0	0		
Qfönster [W]	0	0	0	0	Qförlust [W]	0 (inget kyl-/värmebehov)
Vår/Höst	inne	i växthus	ute	delta t (inne/växthus):	delta t (inne/ute):	
med sol [*°C]	18,52	25	10	6,48	-8,52	
Qväggar [W]	-80,514	-107,352	40,824	81,648		
Qfönster [W]	-38,34	-53,676	116,64	40,824	Qförlust [W]	0,054 (inget kyl-/värmebehov)
utan sol [*°C]	18	10	10	-8	-8	
Qväggar [W]	-75,6	-100,8	-50,4	-100,8		
Qfönster [W]	-36	-50,4	-144	-50,4	Qförlust [W]	-608,4 (värmebehov)
Vinter	inne	i växthus	ute	delta t (inne/växthus):	delta t (inne/ute):	
med sol [*°C]	18	18	2	0	-16	
Qväggar [W]	-151,2	-201,6	0	0		
Qfönster [W]	-72	-100,8	0	0	Qförlust [W]	-525,6 (värmebehov)
utan sol [*°C]	18	2	2	-16	-16	
Qväggar [W]	-151,2	-201,6	-100,8	-201,6		
Qfönster [W]	-72	-100,8	-288	-100,8	Qförlust [W]	-1216,8 (värmebehov)

Bild 18: Energiberäkning Eko hemmet.

Qförlust					
	Årstid	Sommar	Vår/Höst	Vinter	
	Värmeförlust [W]	320,4	-456,3	-1101,6	
	Värmeförlust [kW]	0,3204	-0,4563	-1,1016	
Qintern					
	Personer	0,4	0,4	0,4	[kW]
	Övrigt	0,2	0,2	0,2	[kW]
Qtot =	Qintern+Qförlust	0,9204	0,1437	-0,5016	[kW]
Antal timmar					
		Sommar	Höst	Vinter	Vår
	Antal timmar [h]	2190	2190	2190	2190
	Energibehov [kWh]	2015,7	314,7	-1098,5	314,703
	Summa	3743,6 kWh i energibehov pga värmeförluster			

Bild 19: Sammanställning av energibehov.

Energiberäkningen ovan är beräknat på värmeförlusterna för Ekohemmet över ett år. Där de olika årstiderna delas in på grund av skiftande utetemperatur. Den dimensionerande innetemperaturen sätts mellan 18-24°C. Vilket kan anses som ett brett spann men är nödvändiga för att nå önskat resultat. Värmeförlusterna är endast räknat på klimatskalets väggar och ytterligare värmeförluster kommer ske genom taket och lite genom grundplattan, därför kommer energibehovet vara något högre än det beräknade på 3743,6 kWh. För att estimeras ett mer exakt energibehov adderas 15% av det beräknade värdet. För ett tvåplanshus är inte taket lika avgörande för värmeläckage och 15% väljs som ett rimligt värde (Pettersson, 2019). Energibehovet blir således:

$$3743,6 \text{ kWh} * 1,15 = 4305,14 \text{ kWh}$$

Det framräknade energibehovet är enbart räknat på förluster genom klimatskalet. Det totala energibehovet innehåller mer parametrar som hushållsel och varmvatten. Men här jämför vi endast på de energibehov som kommer till följd av värmeförluster genom väggarna. De övriga parametrarna kan antas vara samma.

5.1.7 Ekohemmet som investering

Syftet med Ekohemmet är att ha en lägre energiförbrukning än en traditionell villa, fördelen med en lägre energiförbrukning kan kosta i investeringskostnader. I längden kan det komma att löna sig att göra investeringen. Detta avsnitt kommer att göra en beräkning på hur snabbt investeringen kommer vara lönsam utan de byggnadstekniska lösningarna.

Tabell 14: Jämförelse av kostnader.

Hustyp	Ekohemmet	Traditionell villa
Kostnad [kr]	5 500 000	4 000 000
Förbrukning/år [kWh]	4300	15 000
Årskostnad [kr]	8600	30 000
50 år totalt	5 930 000	5 500 000
70 år totalt	6 102 000	6 100 000
100 år totalt	6 360 000	7 000 000

Här spelar många parametrar en väldigt avgörande roll. Priset per kWh timme valdes till 2 kr då det genomsnittliga priset förra året låg på 1,50 kr (Wennberg, 2022). Att uppföra en villa med liknande standard och arkitektoniska uttryck är svårt och att anta ett pris på en sådan bostad är svårt. Här valdes 4 miljoner kronor i materialkostnader. Som vi ser i tabellen ovan så kan en vinst från Ekohemmet räknas på 70 år efter uppförandet av huset. Med rätt utformade byggnadstekniska lösningar antas att kylbehovet helt tas bort och kvar blir uppvärmningsbehov på höst/vår och vinter. Adderas kylbehoven ihop fås ca 1700 kWh. För att justera för värmeförluster genom taket adderas 15% vilket leder till ett värmebehov på ca 2000 kWh. Med denna förbrukning tjänar man ihop den initiala investeringen på 1 500 000 kr på cirka 58 år.

5.1.8 Visualiseringar

För att skapa attraktiva bilder att presentera för mottagaren har visualiseringar skapats. Genom datorprogram har Ekohemmet ritats upp och konstruerats. Modelleringsprogrammet som använts är Autodesk Revit och programmets egen renderingsfunktion har använts för att skapa visualiseringsbilder. För att skapa realistiska miljöer kring huset har extern hjälp tagits från Fiverr. Bilder från Fiverr visas i bilagor. Fiverr är en onlinemarknadsplats för frilandstjänster. Nedan presenteras resultat av visualiseringar.



Bild 20: Visualisering, Autodesk Revit.

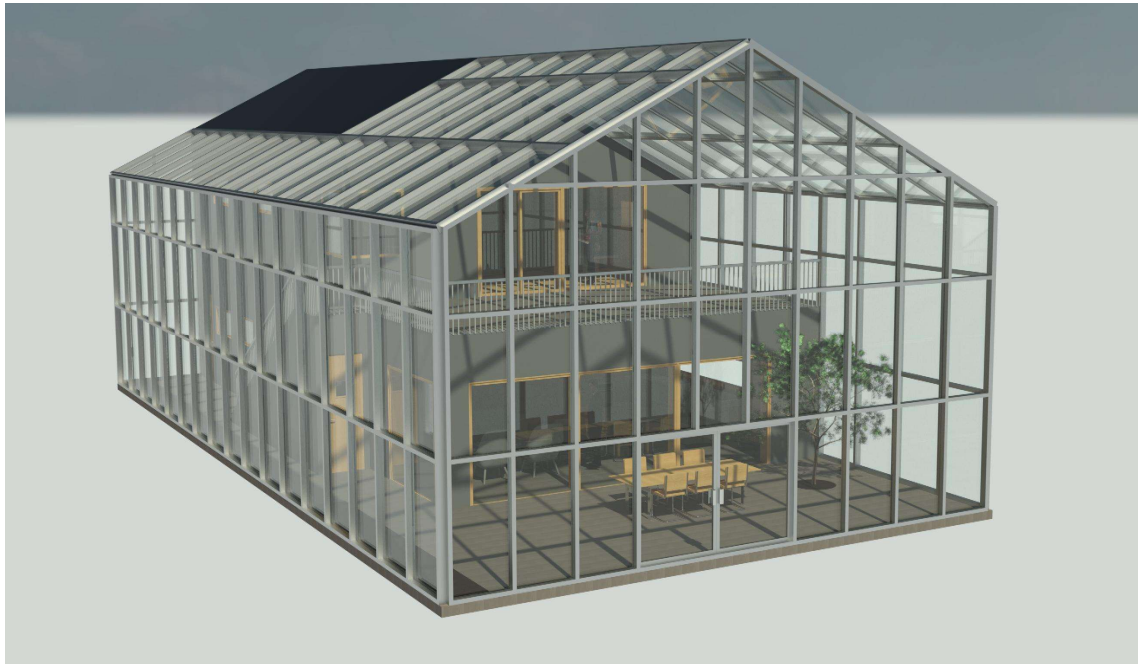


Bild 21: Rendering, Autodesk Revit.



Bild 22: Visualisering från syd, Autodesk Revit.



Bild 23: Visualisering från norr, Autodesk Revit.



Bild 24: Visualisering från väst, Autodesk Revit.

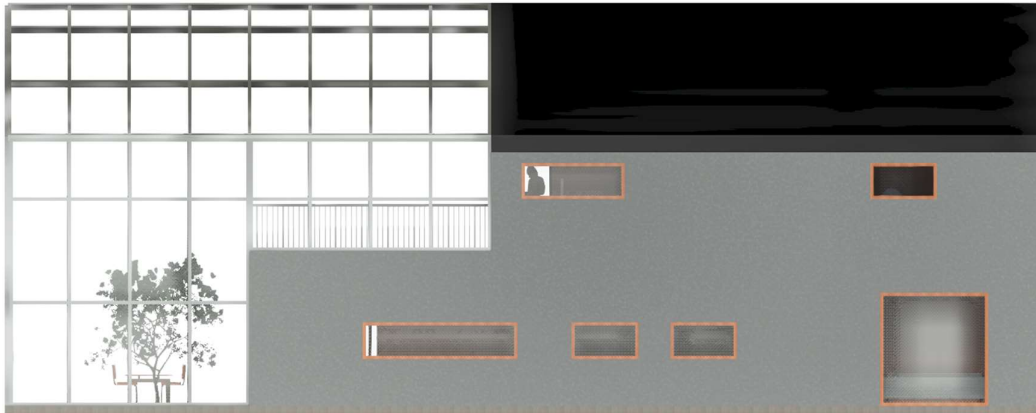


Bild 25: Visualisering från öst, Autodesk Revit.

5.2 Svar på frågeställningar

Som summering av resultatet konkretiseras svaret på frågeställningen. Nedan presenteras frågeställningarna igen med ett mer konkret svar.

1. Vilka byggnadsmaterial kan sänka driftskostnaden för småhus?
2. Vad finns det för byggnadstekniska lösningar som kan sänka driftskostnaden för småhus?

När man ser till byggnadsmaterial som ska sänka driftskostnaden är det svårt att hitta en definitiv lösning som ger ett säkert resultat. Materialen används i olika förhållanden beroende på husets geografiska placering vilket gör att vissa material passar bra i olika lägen. Därför är det av extra vikt att husets material bestäms efter vilka krav och förutsättningar som finns för huset. För Ekohemmet valdes den tröga hampakalken för att kompensera för de stora och snabbt växlande temperaturskillnaderna, med hjälp av rätt anpassning kan byggmaterialet sänka driftskostnaden, i detta fall är det hampakalken men detta kan skilja sig för andra projekt. Hampakalkens andra fördelar är inte något som rör rapportens frågeställningar men kan vara ett sätt att bygga mer miljövänliga hus om framställningsprocessen utvecklas vidare.

De byggnadstekniska lösningarna i form av det omslutande växthuset med luftadnock, skjutpartier i nedre del och soldukar är verktyg som kan sänka driftskostnaden för huset. På samma sätt som en människa anpassar klädsel efter temperaturen ska huset kunna göra detsamma. En traditionell villa har samma "klädsel" året runt och det är i stället uppvärmning eller kylning som justeras. Ekohemmet kan justera detta med byggnadstekniska lösningar och således sänka driftskostnaderna eftersom solens värme utnyttjas i större utsträckning.

6. Diskussion

Naturhus blir alltmer populära och konceptet blir mer och mer välkänt. I Sverige har det endast byggts av väldigt engagerade personer som är extremt pålästa kring ämnet, hos husägarna finns en passion för miljö och husbygge. Att bygga mer energieffektivt och hållbart är något som byggbranschen och vi människor bör strävar efter. Men för att göra detta och kunna göra det mer storskaligt behöver tillgänglig information göras mer lättillgängligt och konkret för allmänheten. Det miljövänliga alternativet måste bli mer attraktivt för att få spridning. Ekohemmet och dess tillhörande booklet kan ses som ett hjälpmedel för att göra detta.

Med hjälp av organiska och naturvänliga material kan hållbarhet uppnås. I Ekohemmet hittas miljömedvetna materialval och lösningar som utnyttjar naturens resurser i form av solljus. Resultatet ska agera som inspiration till människor som vill bygga mer miljövänligt samtidigt som man sänker energiförbrukningen och får en längre sommarperiod. Målet är att kunna komma hem en vår-/höstkväll och fortfarande kunna njuta av solens sista strålar i ett behagligt klimat i växthusdelen. Genom att ta bort den cirkulära bevattningsdelen, som det klassiska naturhuset använder sig av, från Ekohemmet möjliggörs en lättare massproduktion då platsspecifika förhållanden kan uteslutas i större utsträckning. För en ännu mer cirkulär lösning bör detta appliceras.

Att bygga Ekohemmet i storskalig produktion kan bli svårt i dagsläget. Då produktionen av industrihampa är så pass låg i Sverige idag så behöver dagens hampaskävor ofta importeras från Frankrike där produktionen är betydligt större. Den miljövänliga aspekten av Ekohemmet försvinner när man behöver frakta material långa sträckor med lastbil. För en komplett och mer önskad produktion bör hampan odlas lokalt. Men det finns goda förutsättningar för att utveckla produktionen.

Avslutningsvis kan sägas att mer erfarenhet behövs. En större faktabank med konkreta lösningar som personer kan lita sig mot är det som behövs för att implementera nya lösningar i en konservativ byggbransch. Det krävs en stor kraftansträngning i alla delar av byggsektorn för att branschen ska utvecklas i rätt riktning och detta arbete kan ses som en del av denna utveckling.

7. Litteraturförteckning

- (u.d.). Hämtat från [tailor-made.se](https://www.pinterest.se/pin/293859944445578997/):
<https://www.pinterest.se/pin/293859944445578997/>
- (den 28 4 2023). Hämtat från byggipedia.se:
<https://byggipedia.se/byggnadsfysik/fukt/byggmaterialens-fuktegenskaper/>
bauhaus.se. (5 2023). Hämtat från [bauhaus.se](https://www.bauhaus.se/cellplast-s80-600x1200x100-4-32m-6st-pk): <https://www.bauhaus.se/cellplast-s80-600x1200x100-4-32m-6st-pk>
- Bengtsson, P. (den 26 Februari 2023). Test Site Steninge. (J. N. Edvin Schulz, Intervjuare)
- Berggren, K. (2017). *Kalkens hemligheter*. Stockholm: Balkong förlag.
- Beyda, E. (den 15 3 2021). Hämtat från <https://blog.bluebeam.com/se/hempcrete-as-a-building-material/>
- Bokalders, V. (2017). *Byggnadsvårdsföreningen*. Hämtat från byggnadsvard.se:
<https://byggnadsvard.se/isoleringsmaterial-fran-a-till-w/>
- byggmax.se*. (5 2023). Hämtat från [byggmax.se](https://www.byggmax.se/stenullsskiva-paroc-solid#1257=54985): <https://www.byggmax.se/stenullsskiva-paroc-solid#1257=54985>
- Böcker, H., & Lind, P. (2019). *Industrihampa -hinder och drivkrafter för en utökad och kommersiell odling i Sverige*. Halmstad.
- Condair. (u.å). *Rekommenderad luftfuktighet*. Hämtat från En guide till ett bra inomhusklimat: <https://www.condair.se/halsa-och-optimalt-inomhusklimat-med-befuktning/rekommenderad-luftfuktighet-en-guide-till-det-goda-inomhusklimatet>
- Dhakal, U., Berardi, U., Gorgolewski, M., & Richman, R. (2017). *Hygrothermal performance of hempcrete for Ontario (Canada) buildings*. Toronto: Ryerson University.
- Edbladh, J., & Persson, J. (2018). *Hampakalk - En jämförelsestudie med avseende på brandegenskaper*. Lund: Lunds Universitet.
- Eliasson, H. (den 30 Mars 2023). Hampakalksväggar. (J. N. Edvin Schulz, Intervjuare)
- European Commission*. (u.d.). Hämtat från https://agriculture.ec.europa.eu/farming/crop-productions-and-plant-based-products/hemp_en
- EVEA. (2018). *DECLARATION SHEET ENVIRONMENTAL AND SANITARY*. Saint-Herblain: EVEA.
- Evia AB. (u.å). Översikt byggsystem Koljern & Hampakalk yttervägg 2023. *Broschyr Hampakalk & Koljern*. Kungsbacka, Halland, Sverige.
- Folkhälsomyndigheten. (den 19 Maj 2022). *Folkhälsomyndigheten*. Hämtat från Tillsynsvägledning om temperatur inomhus:
<https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/temperatur/>
- Gidlund, P. (den 17 2 2022). Hämtat från <https://jarnbyggfarg.se/hampakalk-ett-byggmaterial-pa-frammarsch/>
- Granmar, M. (2021). Detta är ett naturhus. i M. Granmar, *Naturhus* (s. 21). Stockholm: Natur & Kultur.
- Granmar, M. (2021). Uppvärmning, kyla och ventilation. i M. Granmar, *Naturhus* (ss. 54-55). Stockholm: Marie Granmar och Natur & Kultur.
- Haglund, J. (2010). *Värmeförlust genom platta på mark - en jämförelse av kantbalkar*. Linköping : Linköpings universitet.
- hampaförbundet.se*. (2018). Hämtat från <http://hampaforbundet.se/information-kunskap/vad-ar-hampa/>

- hempeyewear*. (den 28 1 2021). Hämtat från <https://hempeyewear.com/blogs/blog/the-history-of-hemp>
- Holmdahl, P. (den 12 5 2023). Göteborg, Västra Götaland , Sverige.
- Holmdahl, P. (2023). *House of Hemp*. Hämtat från houseofhemp.se:
<https://houseofhemp.se/fordelar-med-hampakalk-bygg-material/>
- Holmdahl, P. (u.d.). *Fördelar med hampakalk*. Hämtat från [houseofhemp](https://houseofhemp.se/en/fordelar-med-hampakalk-bygg-material/):
<https://houseofhemp.se/en/fordelar-med-hampakalk-bygg-material/>
- Jordbruksverket. (den 26 1 2023). Hämtat från
<https://jordbruksverket.se/stod/jordbruk-tradgard-och-rennaring/jordbruksmark/gardsstod/odla-hampa>
- Karlsson, A.-M. (den 1 8 2022). *Jordbruksverket*. Hämtat från [jordbruksverket.se](https://jordbruketisiffror.wordpress.com/2022/08/01/hampa-odlas-pa-litet-mer-an-220-hektar-ar-2022/):
<https://jordbruketisiffror.wordpress.com/2022/08/01/hampa-odlas-pa-litet-mer-an-220-hektar-ar-2022/>
- Kasimir, M. (den 16 Augusti 2019). *9 växter som ger bättre luft i alla rum*. Hämtat från allas: <https://www.allas.se/hushall/9-vaxter-som-ger-bättre-luft-i-alla-rum/143533>
- Knudsen, K. (den 17 Septemeber 2022). *Intoxikation och substansbruk*. Hämtat från Cannabis:
<https://www.internetmedicin.se/behandlingsoversikter/intoxikation/intoxikation-och-missbruk-cannabis/>
- Konsumenternas energimarknadsbyrå. (den 17 Maj 2023). *Normal elförbrukning och elkostnad för villa*. Hämtat från Energimarknadsbyrån:
<https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elkostnader/elforbrukning/normal-elforbrukning-och-elkostnad-for-villa/>
- k-rauta.se*. (5 2023). Hämtat från [k-rauta.se](https://www.byggmax.se/stenullsskiva-paroc-solid#1257=54985): <https://www.byggmax.se/stenullsskiva-paroc-solid#1257=54985>
- Laurence, D. M. (2010-2012). Hämtat från Weber-Tradical: <https://www.weber-tradical.com/>
- Lidström, J., & Ågren, S. (den 14 Mars 2023). Naturhus Torpadal. (J. Niemer, & E. Schulz, Intervjuare)
- Niemer, J., & Schulz, E. (2023). Bild tagen med egen kamera.
- Nyhlin, M. S. (den 7 December 2022). *Wingårdhs ritade Sveriges största hampakalkhus*. Hämtat från Hållbart Byggande: <https://hallbartbyggande.com/wingardhs-ritade-sveriges-storsta-hampakalkhus/>
- Pettersson, E. (den 23 Januari 2019). *Var läcker villor mest värme?* Hämtat från Privatekonomi & konsumentfrågor: <https://www.folkbladet.nu/2019-01-23/var-lacker-villor-mest-varme>
- Prowler, D. (den 19 December 2016). *Mold and Moisture Dynamics*. Hämtat från Whole Building Design Guide: <https://www.wbdg.org/resources/mold-and-moisture-dynamics>
- Sjöberg, A. (den 6 November 2015). *Omräkning av enheter*. Hämtat från Fuktcentrum: <https://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg-och-hjelpmedel/materialegenskaper/omraekning-av-enheter/>
- Stanwix, W., & Sparrow, A. (2014). A history of Hemp. i W. Stanwix, & A. Sparrow, *The Hempcrete Book* (ss. 16-18). Cambridge: Green Books.
- TV4 (Regissör). (2021). *Grand designs Sverige* [Film].
- TV4 (Regissör). (2023). *Grand Designs Sverige* [Film].
- Wallin, L. (2010). *House inside a glass house*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.

Wennberg, A. (den 21 December 2022). Hämtat från Energinyheter.se:
<https://www.energinyheter.se/20221221/28138/2022-rekordar-hogt-elpris>

8. Bilagor

Nedan följer bilagor, ett stöd för ytterligare förståelse för Ekohemmets utformning.

8.1 Booklet

EKOHEMMET



Nockhöjd: 7.8 m

Plan: 2

Antal rum: 4

EKOHEMMET

Boarea: 174 m²

Area i växthus: 78 m²

Takterrass: 33 m²

Tankarna bakom Ekohemmet

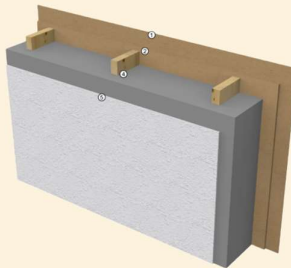
Syftet med Ekohemmet är att inspirera privatpersoner att bygga mer hållbart, därför har vi skapat en modern tappning på ett naturhus. Ett hus där driftkostnaden är lägre och människans komfort är i fokus. Med Ekohemmet kan du anpassa ditt egna inneklimat efter dina behov med hjälp av naturens krafter, den luftade taknocken, skjutpartier för vädning och soldukar gör att du själv bestämmer hur varmt du vill ha det inomhus. Medan dina grannar förhandlar nytt elavtal njuter du av en middag i växthusen en solig februarikväll.

Kärnhuset är isolerat med hampakalk som omsluts av ett växthus. Med hjälp av solenergi kommer vintersäsongen förkortas och sommaren ger dig ett klimat som är mer likt Italien. Med hjälp av denna extra solinstrålning kommer driftkostnaden vara lägre för dig som bor i Ekohemmet.

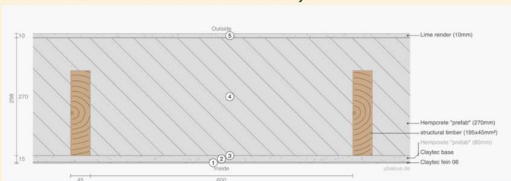


Hampakalk

- Koldioxidnegativt
- Biobaserat
- Energibesparande
- Hygroskopiskt
- Värmetrögt
- Brandbeständigt



Hampakalk är ett biobaserat isoleringsmaterial, resistent mot fukt och mögel, samt brandtåligt. Eftersom materialet både buffrar värme och fukt, hjälper det till att hålla en stabil och komfortabel samt hälsosam inomhusmiljö.

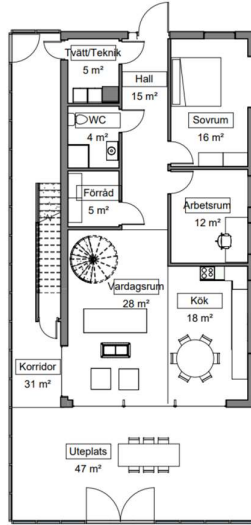


- Väggtjocklek: 320-380mm
- U-värde: 0,24-0,18 W/m²*K
- Pris: 3300-3600 kr/m²

EVA

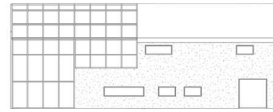
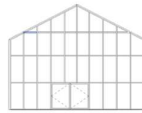
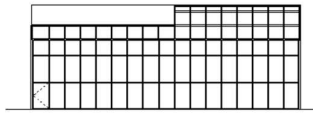
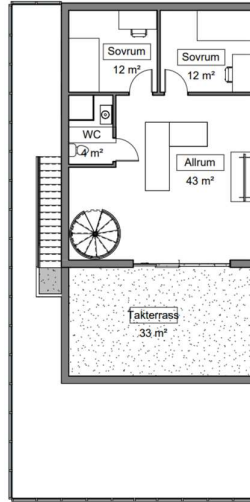
Våning 1

- Tvättrum i anslutning till växthus för att kunna hänga tvätt i växthuset.
- Sovrum mot norr.
- Förrådsutrymmen under utvändigt trappa.
- WC avskild från sociala ytor och nära sovrums/entré.
- Arbetsrum tillgängligt som eventuellt gästrum.
- Öppna sociala ytor.



Våning 2

- Avskilda sovrums för barn och ungdomar.
- WC nära sovrums.
- Allrum för aktiviteter och underhållning.
- Uteplats för utnyttjande av växthus.





8.2 Visualiseringar











INSTITUTIONEN FÖR
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se



CHALMERS