



Miljø- og  
Fødevareministeriet  
Miljøstyrelsen

# Det Åndbare Hus

## Afsluttende rapport

MUPP Rapport  
MST-141--00746

August 2019



Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Egen Vinding og Datter

Fotos: Egen Vinding og Datter

ISBN: [xxx]

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

# Indhold

<b>Forord</b>	<b>5</b>
<b>Konklusion</b>	<b>6</b>
<b>Sammenfatning</b>	<b>9</b>
<b>Summary and conclusion</b>	<b>14</b>
<b>1. Fase 1. Forundersøgelser og projektering</b>	<b>16</b>
1.1 Følgegruppe og formidling til pressen	16
1.2 Projektering	16
1.3 Undersøgelse af afgasning fra materialer, der skal anvendes til det åndbare hus	17
1.3.1 Træ	17
1.3.2 Maling	18
1.3.3 Ler/beton/gips	18
1.3.4 Linolie/voks	18
1.3.5 Møbler	18
1.3.6 Kontakter/armaturer mv.	18
1.3.7 Konklusioner	18
1.3.8 Kilder	19
1.4 Dokumentationsprogrammer	20
1.4.1 Samarbejdspartnere	20
1.4.2 Status for gennemførelse af dokumentationsprogrammer	20
1.5 Undersøgelse af afgasning fra materialer	20
1.5.1 Test og undersøgelse af egne og andre producenters produkter	20
1.6 Udvikling af spartelmasse og fugemasse	23
1.6.1 Test og undersøgelse af egne og andre producenters produkter	23
1.6.2 Forløb	23
1.6.3 Resultat	24
1.6.4 Konklusion	25
1.6.5 Samarbejdspartnere	25
<b>2. Fase 2. Huset bygges, samt nyt om formidling, LCA håndværkererfaring</b>	<b>26</b>
2.1 Formidling	26
2.2 Miljøegenskaber, LCA og CE-mærkning	27
2.3 Køb af grund og myndighedsbehandling	28
2.4 Ekstraarbejde med udvikling og tests	28
2.5 Håndværkerinterview	28
2.5.1 Interview om maling	29
2.5.2 Murerinterview	30
2.5.3 Tømrerinterview	30
2.5.4 Opsummering af ting vi kan gøre noget ved	30
<b>3. Fase 3. Test af hus uden beboere og formidling</b>	<b>31</b>
3.1 Test og målinger i Det Åndbare Hus uden beboere	31

3.1.1	Målinger af fugt	31
3.1.2	Målinger af tæthed	37
3.1.3	Afgasning fra materialerne	37
3.1.4	Fravær af andre stoffer	38
3.1.5	Uventede stoffer der bør undersøges nærmere	38
3.1.6	Problem med for lavt luftskifte	40
3.1.7	Hvad kan forklare disse måleresultater	41
3.1.8	Behov for videre undersøgelser	42
3.2	Radonmåling	42
3.3	Test og undersøgelser fra fase 2 – afsluttet i fase 3	42
3.3.1	Tryktest af lersten	43
3.3.2	CE-mærkning af vinduer	43
3.3.3	Miljøegenskaber og LCA	43
3.4	Følgegruppemøder og formidling	43
3.4.1	Følgegruppemøder	43
3.4.2	Formidling, presse og åbent hus	43
<b>4.</b>	<b>Perspektiver for fremtiden</b>	<b>44</b>
4.1	Formidling og udbredelse af erfaringer	44
4.2	Er der behov for yderligere undersøgelser?	44
4.3	Behov for justering af byggelovgivningen	46
<b>5.</b>	<b>Referencer</b>	<b>47</b>
<b>6.</b>	<b>Bilag</b>	<b>48</b>
6.1	Bilag 1 Projekttegninger	48
6.2	Bilag 2 TI: Det Åndbare Hus. Vurdering af fugtmålinger, 31.10.2018	48
6.3	Bilag 3 TI: 855743 Granbræt, 4.2.2019	48
6.4	Bilag 4 TI: Luftkvalitet i Det Åndbare Hus, 27.9.2018, version 2	48
6.5	Bilag 5 Realdania: Appendiks A til rapporten Sunde Boliger: Afgasning fra byggematerialer i No Tech, 2019	48
6.6	Bilag 6 DTU: Taif Adel Adnan Alazzawi: Inventory analysis of the Breathable House, 2016	48
6.7	Bilag 7 DTU: Taif Adel Adnan Alazzawi: The Breathable House, Inventory analysis, Defence of Bachelor thesis project, incl. corrections.	48
6.8	Bilag 8 TI: Luftkvalitet i Det Åndbare Hus, 6.6.2019	48
6.9	Bilag 9 Interviewguide til håndværkerinterview	48

# Forord

I dette projekt har vi - byggefirmaet Egen Vinding og Datter (EVD) - fået testet og dokumenteret byggeriet af Det Åndbare Hus, som er et diffusionsåbent testbyggeri. Projektet har fokus på at optimere et sundt indeklima og sikre et lavt energi- og ressourceforbrug, ved at vælge og udvikle byggematerialer ud fra principper for livscyklusvurdering (LCA), gode egenskaber til fugthåndtering og minimal afgang af skadelige kemiske stoffer.

Idéerne bag Det Åndbare Hus er udsprunget fra vores erfaring om, at behovet for ventilation er meget mindre i et åndbart hus, også når dette overholder tæthedskravene. Principperne for de diffusionsåbne konstruktioner handler om at sammensætte byggematerialerne på en måde, så fugten kan bevæge sig gennem hele konstruktionen, uden at der ophobes fugt eller opstår følgeproblemer af fugten. Materialerne kan samtidig fungere som en buffer, der kan optage og afgive fugt, og bidrager derved til et indeklima med en behagelig fugtbalance. Samlet set reduceres behovet for ventilation til håndtering af fugt væsentligt.

Der er dog fortsat et behov for ventilation til at sikre tilstrækkelig ilt, og udluftning af CO<sub>2</sub>, lugte fra madlavning og andre gøremål i huset, samt afgang fra materialer og indbo. Ved at vælge byggematerialer og indbo med ingen eller meget lille afgang af skadelige kemiske stoffer, er det Egen Vinding og Datters målsætning, og også vores erfaring, at man kan skabe et rigtig godt indeklima og et sundt arbejdsmiljø.

Projektet omfatter projektering og byggeri af et testhus bygget efter disse principper, test og dokumentation af de metoder og materialer, der indgår i huset, samt udvikling af enkelte byggematerialer, gennemførelse af en livscyklusvurdering af byggeriet, og en række tiltag til formidling af den opnåede viden. I denne afrapportering er der fulgt op systematisk i forhold til de aktiviteter, mål og succeskriterier, der er beskrevet i projektbeskrivelsen.

Den store interesse for projektet fra mange sider har bekræftet os i, at der er brug for sådanne miljø- og indeklimavenlige løsninger i byggeriet. Løsninger, hvor der tænkes i helheder og i gode lokale materialer, godt indeklima, godt arbejdsmiljø og bæredygtighed hele vejen rundt.

Projektet er støttet af MUDP under Miljøstyrelsen, og af Realdania og Den A. P. Møllerske Støttefond, en støtte der har gjort en forskel og som vi er meget taknemmelige for.

# Konklusion

I projektet har vi fået gennemført en række test af indeklima og fugthåndtering, samt foretaget en vurdering af miljøegenskaber, andre egenskaber og livscyklusvurdering af en række byggematerialer. Disse vurderinger har været grundlag for valg af byggematerialer i Det Åndbare Hus. Vi har desuden udviklet og testet flere af vores egne byggematerialer, som indgår i byggeriet.

I henhold til håndtering af fugt har vi anvendt en byggemetode med opbygning af diffusionsåbne konstruktioner, hvor de enkelte byggematerialer monteres med helt tæt kontakt. Derved sikrer vi reduceret overgangsmodstand sådan, at fugt kan bevæge sig igennem konstruktionen og ikke hober sig op og giver problemer. Her er vores konklusion jf. testresultaterne, at to af de tre ydervægskonstruktioner, der er anvendt i Det Åndbare Hus, indtil videre med den aktuelle indvendige fugtbelastning har kunnet håndtere den tilførte fugt godt.

Det var vores forventning ud fra tidligere erfaring, at en ydervægskonstruktion (og tagkonstruktion) med en diffusionsåbenhed ude og inde på 1:1 fungerer godt, trods det at TI m.fl. påpeger at 1:10 er teknisk fælleseje. Som vi forventede, har der ikke været problemer med fugt, der hvor ydervægskonstruktionen er næsten lige diffusionsåben inde som ude (type 1).

Det er derfor særligt den type ydervægskonstruktion (og tagkonstruktion) (type 2 og 3), der er karakteriseret ved, at dampdiffusionsmodstanden (Z-værdien) er meget højere på den kolde side end på den varme side i form af rupløjede brædder, der er interessant. Her er den inderste del af ydervægskonstruktionen, der består af gips- eller lerplader, ca. 10 gange så diffusionsåben som den yderste del.

Ydervægskonstruktionen blev afsluttet med beskyttelse mod vejrliget på 2 måder: 1) luftspalte og træbeklædning, (type 3) der efterlod de rupløjede brædder som varme i varmt vejr og kolde i koldt vejr, hvilket fører til kondens på bagsiden af de rupløjede brædder, og 2) tækkestrå lagt klos op ad de rupløjede brædder (type 2), og derved beskyttede de rupløjede brædder mod afkøling, med det resultat at der ikke kom kondens bag de rupløjede brædder på trods af deres høje Z-værdi. Denne konstruktion (type 2) håndterer på nuværende tidspunkt i denne test fugten uden problemer.

Ved den tredje type ydervægskonstruktion har der derimod vist sig problemer med ophobning af fugt. Netop her har vi udfordret konstruktionen allermest, idet diffusionstætheden er højere på ydersiden end på indersiden af klimaskærmen, og samtidig er den udvendigt monterede vindspærre ikke-isolerende. At vi oplever fugt her, giver os dog en interessant læring, der betyder, at vi ikke kan anbefale denne konstruktion i diffusionsåbne konstruktioner. Det har desuden bevirket, at vi allerede har igangsat yderligere undersøgelser af denne ydervægskonstruktion.

Når vi interesserer os for dette, er det fordi vi gerne vil have at konstruktionen er så åben som muligt både inderst og yderst for at kunne komme af med så meget fugt som muligt via diffusion. Vi er, ved at analysere resultaterne, desuden blevet opmærksomme på, at det måske ikke kun handler om hvilken del af væggen, der er mest diffusionsåben, men at andre faktorer som hvorvidt den yderste del af ydervæggen er isolerende eller den er kold, også kan spille ind. Måske spiller det også ind, om den yderste del af vægkonstruktionen er et træbræt med karrenes retning på tværs af dampens bevægelsesretning eller ej, da det sandsynligvis agerer anderledes i f.t. fugt end en Homatherm træfiberplade. Disse forhold vil vi gerne efterfølgende undersøge nærmere.

Testen af fugthåndtering i Det Åndbare Hus, i den periode hvor fugtmaskinen har kørt, (fra d. 27.1.2017 – d. 12.3. 2018), har samlet set vist, at diffusionsåbne konstruktioner bygget efter de bedste principper kan håndtere fugt i et omfang, der svarer til, at der bor og opholder sig 3-5 personer i huset. Det Åndbare Hus har et areal på 145 m<sup>2</sup>. Vores konklusion er derfor, at man vha. sådanne diffusionsåbne konstruktioner kan håndtere fugt svarende til mindst én person pr. 30 m<sup>2</sup>, uden at det giver problemer med fugt, råd og skimmel. Dette er vel at mærke uden brug af ventilation. Disse resultater skal følges over de kommende år, for at sikre at der heller ikke på sigt ophober sig fugt i konstruktionerne.

Når vi interesserer os for behovet for ventilation i f.t. fugt, er det for at få en mere præcis viden om, hvor meget ventilation, der er nødvendig for at sikre en sund bygning uden fugtproblemer. Man skal så tilføje ventilation, men ikke nødvendigvis ventilation drevet af ekstern energi, for at sikre en passende ilt / CO<sub>2</sub>-balance samt bortledning af afgangsgasser og akutte lugte fra køkken, toilet m.m. Det præcise behov for ventilation vil da afhænge af materialevalg, valg af indbo, samt adfærd.

I projekteringen af Det Åndbare Hus, har vi bestræbt os på at vælge byggematerialer med ingen eller lav afgang af uønskede stoffer. Vi har bl.a. undgået isothiazolinoner, der anvendes som konserveringsmiddel i maling, fugemasse, mv. og vi har forsøgt at undgå en række andre uønskede stoffer, som fortsat anvendes indenfor byggeriet.<sup>1</sup>

Målingerne af afgang i Det Åndbare Hus har på trods af dette vist, at der har været en uventet høj koncentration af flere uønskede stoffer i indeklimaet. Vi ved p.t. ikke præcist, hvor disse stoffer stammer fra. Vi ved at terpenerne stammer fra træ (mængden kan øges ved kombination af træ og linolie). Men vi er ikke p.t. sikre på, hvor de øvrige stoffer stammer fra. En mulig kilde kan være linolien, evt. linolie i sammenhæng med ler.

Vi har desværre ikke i projektet et entydigt sammenligningsgrundlag for afgang fra byggematerialer i andre nybyggede boliger, men vi kan se bl.a. af rapporten 'Uønsket kemi i bæredygtigt byggeri', at der er mange uønskede stoffer i byggematerialer, der bruges også til f.eks. svanemærket og DGNB certificeret byggeri. Da vi ikke har målt på alle disse stoffer i Det Åndbare Hus, kan vi ikke sige noget udtømmende om det. Dette uddybes nedenfor.

Vi har i forbindelse med udvælgelse af de materialer, der skulle indgå i Det Åndbare Hus, arbejdet med vurdering af en række byggematerialer og produkter, som gennemgås i rapporten, og vi har desuden udviklet på flere af vores egne byggematerialer i regi af projektet. Vi har f.eks. udviklet en spartelmasse baseret på linolieemulsionsmaling, som er anvendt i projektet. Vi har også forsøgt at udvikle en fugemasse, men det lykkedes ikke at udvikle en, der kan leve op til vores krav til miljø, LCA-principper og funktion. I stedet har vi vurderet de fugemasseprodukter, der er på markedet, og fundet en silikonebaseret fugemasse, vi fremadrettet vil foretrække at anvende. Men de fleste steder har vi i stedet arbejdet med konstruktive principper for tætning. Et enkelt sted (på glastårnet) har vi brugt silikone. Der er desuden brugt fugemasse på termovinduerne i glasskorstenen, der er leveret af en ekstern leverandør. Men denne afgasser ikke til indeklimaet og er dermed ikke et problem her.

Vi synes, at vi har opnået en række interessante resultater, som vi uddyber på de kommende sider, hvor vi også vil komme ind på, hvordan vi har formidlet viden om projektet, og metoder for de test og undersøgelser, der er gennemført i regi af projektet. Sluttelig har vi identificeret behov for flere undersøgelser fremadrettet.

---

<sup>1</sup> Se Miljøstyrelsen, 2016: Uønsket kemi i bæredygtigt byggeri <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/09/978-87-93529-11-3.pdf> og Miljøstyrelsen 2018: Kortlægning af kemiske stoffer i forbrugerprodukter <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/09/978-87-93710-77-1.pdf>





Det færdige hus – ude og inde, hvor legerulvet er taget i brug til leg



# Sammenfatning

Ved valg af byggematerialer til Det Åndbare Hus har vi lagt vægt på, at byggematerialerne er diffusionsåbne, har en lav afgasning af uønskede stoffer og er gode til at håndtere fugt, ligesom vi har screenet dem i f.t. LCA hensyn.

Der er desuden en række principper for, hvordan man skal opbygge en diffusionsåben konstruktion, som vi har forsøgt at tage højde for: Materialerne skal sammensættes rigtigt og monteres helt tæt op af hinanden, så fugten kan bevæge sig fra det ene materiale til det andet via diffusion. Diffusionsmodstanden i de enkelte materialer kan desuden have betydning, som det har vist sig i ydervægskonstruktion 3, se nedenfor.

Et væsentligt formål med dette projekt er at dokumentere, hvor meget fugt der kan passere gennem en konstruktion opbygget efter sådanne principper via diffusion ud gennem ydervæggen. Til at teste dette, har der i perioden 27.1.2017 – 12.3.2018 vha. en koldfordamper været tilført fugt svarende til, at en familie på 3-5 personer bor i huset. Testen er lavet under forhold, hvor der ikke var nogen form for ventilation i bygningen, hvilket i praksis ikke vil være tilfældet og som derfor må ses som en ekstrem situation.

Vi havde ved projektering af Det Åndbare Hus valgt tre forskellige ydervægskonstruktioner:

1. Gavlene, (syd og nord) er opført med stor diffusionsåbenhed ude (40 mm Homatherm træfiberplade) og inde (gips/ler – 2 x 13 mm gips) og samtidig er vindspærren ude isolerende.
2. Facader (øverste del) med stråbeklædning er opført med stor diffusionsåbenhed inde (gips/ler) men med lille ude (rupløjet granbræt, 2,5 cm), men her isolerer stråene, så temperaturen på granbrædderne holdes oppe og kondens forhindres.
3. Facader (nederste del) beklædt med thermoask og uden strå er opført med stor diffusionsåbenhed inde (gips/ler) men med lille ude (rupløjet granbræt 2,5 cm). Her bliver granbrædderne lige så kolde som udetemperaturen.

Testresultaterne viste, at der ikke er problemer med fugt, råd og skimmel, på nogen af de 32 målepunkter, der er placeret ved ydervægskonstruktion type 1 og 2, og hvoraf de 13 målepunkter, der er placeret yderst i isoleringen, især er i risikozonen for fugt. Vi vil dog følge også disse målepunkter fremadrettet, for at kunne dokumentere, om der på sigt skulle opstå problemer.

Ved den tredje type ydervægskonstruktion har der derimod vist sig problemer med ophobning af fugt. Dette skyldes formentlig, at den varme luft, der via diffusion bevæger sig gennem klimaskærmen, kondenserer når den møder den kolde vindspærre i form af rupløjede granbrædder. Her kan det forhold, at den udvendige diffusionsmodstand er måske 10 gange højere end den indvendige, også spille en rolle.

TI vurderede på et møde om testresultaterne d. 4.2.2019, at hvor den indvendige diffusionsmodstand i ydervægskonstruktion nummer 2 og 3 i Det Åndbare Hus er ca. 10 gange lavere end den udvendige, så skal det nærmere være omvendt. Dette har dog, jf. resultaterne ikke afgørende betydning, hvis der er en udvendig isolering udenpå vindspærren, som det er tilfældet i ydervægskonstruktion type 2. I ydervægstype 1, hvor diffusionsmodstanden er næsten ens udvendigt og indvendigt giver det heller ikke problemer. Men i ydervægskonstruktion type 3 giver det problemer. Dette vil vi gerne undersøge nærmere i forlængelse af dette projekt,

hvor vi også ønsker at undersøge andre faktorer, som f. eks. om det yderste element i klimaskærmen er en "pludselig" hindring for varm og fugtig luft, en hindring i form af høj Z-værdi kombineret med lejlighedsvis kulde på denne hindring. Den "pludselige" hindring kan være beton, brændte mursten eller et træbræt med karrenes retning på tværs af dampens bevægelsesretning.

Vi har således fået bekræftet, at diffusion kan løse behovet for at få fugten ud af huset 100 %, og at kun i den helt ekstreme situation, hvor vi har en ydervægskonstruktion, hvor forholdet mellem diffusionstæthed inde og ude er ca. 1:10 og ydervæggen samtidig er ikke-isolerende, giver det problemer. Dette er altså en konstruktion, vi ikke kan anbefale. Vi mener, at et forhold i diffusionstæthed på ca. 1:1 er passende, og stiller spørgsmål ved TI's anbefaling (og den generelt anerkendte tommelfingerregel) af, at forholdet skal være 10:1. Vi vil i det tilfælde være bekymret for, at hvis væggenes inderside er for tæt, så kan fugten ikke i tilstrækkeligt omfang komme ud. På samme måde mener vi, at en dampbremse på indersiden af klimaskærmen kan begrænse diffusionen. Dette vil med fordel kunne undersøges nærmere.

Håndtering af fugt er det væsentligste tema i dette projekt. Målinger af luftkvalitet er et andet væsentligt område, der også kan være afgørende for behov for ventilation og for indeklimaet.

Vi har i projekteringen af Det Åndbare Hus søgt at undgå en række byggematerialer og andre produkter, der bruges i byggeriet, som kan afgasse uønskede stoffer til indeklimaet. Det gælder f.eks. det stærkt allergifremkaldende konserveringsmiddel MI (eller MI beslægtede stoffer, også kaldet isothiazolinoner) og en række andre uønskede stoffer.

Da projektet ikke har omfattet sammenligning med afgang fra byggematerialer i andre nybyggerier i de test, Teknologisk Institut har udført i Det Åndbare Hus, har vi inddraget andre undersøgelser til at underbygge dette spørgsmål. F.eks. er der i en rapport fra Miljøstyrelsen lavet en risikoscreening af byggematerialer og produkter, der bruges i byggeriet. Der er fundet 49 stoffer, "som blev vurderet som klasse 3 stoffer (de røde) i én eller flere kategorier svarende til stoffer, der kan give miljø- eller sundhedsmæssige uønskede effekter i byggeri." Samme rapport skriver: "Maling og lak, bindemidler, fyldstoffer og byggematerialer er blandt de mest kritiske anvendelser, idet der heri findes det største antal forskellige uønskede stoffer" opsummeres det i rapporten "Uønsket kemi i bæredygtigt byggeri."<sup>2</sup> EVD har i projektet i høj grad haft fokus på netop disse /materialer.

De målinger, Teknologisk Institut har gennemført i Det Åndbare Hus har dog vist, at der alligevel er en uventet høj koncentration af alifatiske aldehyder, alkaner, terpener, organiske syrer og 'sum af andre Cyclo-/ iso-alkaner' i indeklimaet. Terpener stammer fra afgang fra træ, men vi ved endnu ikke præcist, hvor resten af disse stoffer stammer fra, en mulig kilde er linolien, en anden mulighed er måske køkkenelementerne eller limen i etagedækket. Vi kan udelukke, at de stammer fra linolieemulsionsmalingen eller den spartelmasse, der er baseret på linolieemulsion. Dette er undersøgt i forbindelse med indeklimatemærkning af linolieemulsionsmalingen (EVD Naturmaling) og bekræftet i en ny sammenlignende undersøgelse af den naturmaling, der er brugt i Det Åndbare Hus. Her er afgang af VOC fra linolieemulsionsmaling langt mindre end afgang fra alkydmaling, og der er ingen afgang af aldehyder.<sup>3</sup>

Derudover har det vist sig, at afgang af aldehyder og organiske syrer har været højere end forventet. Vi formoder, at disse primært stammer fra kombinationen af ler og linolie, som er anvendt på lergulvet. Efter en periode vil denne afgang aftage.

---

<sup>2</sup> Miljøstyrelsen, 2016: Uønsket kemi i bæredygtigt byggeri, s. 6

<sup>3</sup> Realdania: 2019 Appendix A: til rapporten Sunde Boliger: Afgang fra byggematerialer i No Tech

En 6. måling, der blev gennemført af Teknologisk Institut d. 13.5.2019 viser, at afgangningen af uønskede stoffer i indeklimaet i overensstemmelse med vores forventning nu er faldet til et acceptabelt niveau.<sup>4</sup>

For at afdække dette problem, vil vi gerne - i et kommende projekt - teste lergulv behandlet med linolie i et klimakammer. Dette er en byggemetode, der er store perspektiver i og som vi gerne vil arbejde med fremadrettet og som vi derfor synes er vigtig at teste. Limen i etagedækket blev desværre leveret forkert (en PU-lim i stedet for melamin-lim), men vi forventer ikke, at afgangningerne stammer herfra. Køkkenelementerne er lavet af en ekstern leverandør. Det er ikke lykkedes os at få en ny materialeprøve fra køkkenleverandøren i tide, inden de mulige interessante afgangninger var afgasset. Vi står altså tilbage med en problemstilling, der undrer os, og som vi ikke har fået afklaret i projektet.

I forbindelse med en ny rapport fra Realdania om afgangning fra byggematerialer er det påvist, at der i nogle tilfælde er en negativ kombinationseffekt f.eks. når linolie påføres fyrretræ eller linoiemaling påføres OSB-plade. Der er således i forlængelse af dette projekt behov for yderligere undersøgelse af sådanne kombinationseffekter, der måske kan være med til at gøre os klogere på, hvor disse afgangninger af uønskede stoffer i Det Åndbare Hus stammer fra.<sup>5</sup>

Et vigtigt resultat af projektet er desuden, at det samlede behov for ventilation i f.t. at undgå problemer med fugt kan dækkes uden anvendelse af mekanisk ventilation, idet fugten med de nuværende resultater i tilfredsstillende grad kan diffundere gennem klimaskærmen. Behovet for ventilation i f.t. tilstedeværelse af uønskede stoffer i indeklimaet, er derimod ikke dokumenteret i dette projekt, da der i måleperioden pga. en misforståelse desværre ikke har været tilstrækkelig ventilation. Derfor kan vi på nuværende tidspunkt kun konkludere, i f.t. ventilationens betydning for afgangningerne, at der er behov for mere ventilation end der har været i måleperioden, hvor huset har været lukket af pga. fugtmålingerne.

Vores idé med projektet var at undersøge, hvorvidt behovet for ventilation kan dækkes via passiv ventilation f.eks. med almindelig udluftning via døre, vinduer samt med foropvarmet luft gennem ventilationsvinduer og ventilations skorstenen, der har udtrækskanaler drevet af termisk opdrift. Dette er dokumenteret for så vidt angår fugt, men desværre ikke vedrørende afgangning af uønskede stoffer.

Vi mener derfor, at der er behov for at justere Bygningsreglementets krav til luftskifte i bygninger til beboelse, der i dag er på min. 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup>. Dette kan med fordel i stedet stilles som funktionskrav, med krav til ilt/CO<sub>2</sub> balancen, og til at lugte og afgangning fra byggematerialer og indbo kan komme ud. Hertil kan føjes funktionskrav om samlet energiforbrug i drift og anlæg, og indlejret energi i bygningen. Testresultaterne i dette projekt viser, at det ikke er nødvendigt at ventilere for at sikre, at fugten kommer ud af boligen, hvis man opererer med diffusionsåbne konstruktioner. I stedet kunne der sættes krav til, at man holder en fugtighed på 40-60 RF om vinteren og på op til ca. 70 eller måske 75 om sommeren.

Samlet set kan vi endvidere konkludere, at byggemetoder og valg af byggematerialer i Det Åndbare Hus har en række væsentlige fordele i f.t. påvirkning af det ydre miljø, indeklimaet og arbejdsmiljøet. Det handler f.eks. om at undgå MI og MI lignende stoffer, og om at vi ved at bruge et produkt som naturmaling opnår en afgangning af VOC, der er meget lavere end fra akrylmaling, samt at vi har opnået en tilfredsstillende luftfugtighed. Vi har dog samtidig fået ny

---

<sup>4</sup> Se bilag 8

<sup>5</sup> Realdania, 2019: Appendix A til rapporten Sunde Boliger: Afgasning fra byggematerialer i No Tech



viden om afgang fra nogle af disse byggematerialer<sup>6</sup>, som vi ikke havde forventet og som der er brug for at se nærmere på.

Vi har gennemgået en række byggematerialer og udvalgt / udviklet disse mhp. at finde de bedste metoder og materialer. Vores forhåndsvurdering peger således på, at byggematerialer som træ, ler, cellulosebaserede isoleringsmaterialer som hør, hamp, papiruld og træfiberisolering / træfiberplader har lav påvirkning på såvel klima og miljø som indeklima og arbejdsmiljø. Hertil kommer, at de organiske materialer, træ, papirisolering osv. bidrager til at forsinke drivhuseffekten via lagring af CO<sub>2</sub> i byggeriet.<sup>7</sup>

Vi har som led i projektet udviklet en spartelmasse, som også er anvendt i byggeriet af Det Åndbare Hus. Denne performer, som vi ønsker det, på alle parametre inkl. miljøhensyn. Den har endda den fordel, at der typisk kun skal spartles en gang, fordi den udvider sig lidt under tørring. Det er også lykkedes at udvikle spartelmassen i en kvalitet egnet til sprøjtemaskinen. Men det er ikke lykkedes at korte tørretid ned, hvilket vi fortsat arbejder på at optimere.

Derimod har vi foreløbig måttet opgive at udvikle en fugemasse. Vi har i stedet identificeret en silikone fugemasse (Danaseal Contractor 552), som det bedste valg, til de få steder vi ønsker at anvende fugemasse. Som alternativ metode til at opnå tæthed har vi anvendt konstruktive principper som f.eks. at placere gipspladerne forskudt.

Vi har som led i projektet udviklet et ventilationsvindue og en ventilationsskorsten, der bidrager til den passive ventilation og forsyner indeklimaet med frisk foropvarmet luft.

Vi har endvidere i projektet truffet aftale om levering af lokalt dyrket Miscantus til etablering af stråtag og stråvægge, og samarbejdet med Jørgen Kaarup fra Stråtagkontoret i forhold til viden og formidling om stråtage, og med Jens Helt om levering af lerplader og Sten Møller om udvikling af røgvasker som forberedelse til indsættelse af træpillefyr.

Vi har i forbindelse med projektet udført en række interviews, dels om erfaringer om lergulve, specifikt om badeværelsesgulve af ler. Disse erfaringer har indgået i projekteringen. Desuden har vi lavet interviews med håndværkere, malermestre, tømrere og murere om hvor de ser udfordringer i forhold til at udvikle og udbrede bæredygtige metoder i byggeriet. Disse har peget på en række behov bl.a. for udvikling af vådrumsløsninger med ugiftige materialer, logistikoptimering i f.t. tørretider og egenskaber ved f.eks. spartelmasse til brug i sprøjtemaskine mv. Disse har ligeledes indgået i projektet og opsummeres i afsnit 2.

Endelig har vi fået udarbejdet en Livscyklus vurdering (LCA) af Det Åndbare Hus via et samarbejde med DTU. Resultatet viser, at klimapåvirkningen fra Det Åndbare Hus er på 3,23 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup>/år, mens et referencehus har en klimapåvirkning på 7,32 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup>/år.<sup>8</sup> Vi er dog efterfølgende blevet opmærksomme på, at metoderne for beregning af LCA er under udvikling og at flere faktorer i den udførte analyse ikke er så præcise, som vi kunne ønske det. Vi håber derfor at kunne gå dybere ned i dette, og regne på effekter på klima og miljø i et byggeri som Det Åndbare Hus set i livscyklusperspektiv i forlængelse af dette projekt.

Byggematerialernes holdbarhed er en afgørende faktor ved beregning af deres bæredygtighed og her er bl.a. EVD vinduet interessant, idet det er fremstillet af kernetræ og har en garanteret holdbarhed på 25 år men en erfaret holdbarhed på 100 år er således også et element, der trækker den rigtige vej i en LCA vurdering af Det Åndbare Hus.

---

<sup>6</sup> Se bilag 5

<sup>7</sup> Se f.eks. SBI: Bygningers indlejrede energi og miljøpåvirkninger, 2017 <https://www.lcabyg.dk/unprotected-publication/3> og <https://www.trae.dk/leksikon/lagring-af-co2-i-traeprodukter/>

<sup>8</sup> Se bilag 7

Der har været stor interesse for projektet og byggeriet af Det Åndbare Hus. Ca. 2800 interesserede besøgende har set og hørt om byggeriet, og der har været mange artikler, omtale på internet medier og flere indslag på TV.

I perioden fra maj 2018 til maj 2019 har vi fortsat målt på fugt og afganginger, mens en familie har boet i huset og levet et almindeligt hverdagsliv. Dette er led i et forløb støttet af Realdania som vi kalder Det Åndbare Hus 2.

Fremadrettet vurderer vi endvidere, at der er behov for følgende undersøgelser:

1. Test af lergulv behandlet med linolie i et klimakammer, dels hvor gulvet behandles 3 dage i træk og dels hvor det behandles 3 gange med 14 dage imellem. Derved vil vi kunne se om der er forskel i afgangstiden og vurdere, om det er hensigtsmæssigt, at kunden evt. først flytter ind efter en periode, hvor der kan ske en afgangning til et ønskeligt niveau.
2. Andre har allerede lavet test af træ / linolie og træfiber og linolie. Der kan være behov for at gå yderligere i dybden med forskellige materiale kombinationer, da der har vist sig en række uventede effekter af de test, der er lavet p.t.
3. Test af evt. alternativer, der kan substituere linolien.
4. Opfølgende fugtmålinger for Det Åndbare Hus i 1-2 sæsoner mere, herunder etablering af 2-3 ekstra målepunkter placeret i ydervægge med konstruktionsprincip nr. 3, altså facader beklædt med thermoask og uden strå, og opført med stor diffusionsåbenhed inde (gips/ler) men med lille ude (rupløjet gran). Dette er allerede iværksat.
5. Erstatning af det rupløjede bræt i ydervægskonstruktion nr. 3 med en anden vindspærre som f.eks. en banevare. Dette er allerede iværksat.
6. Opfølgende fugtmålinger relateret til diffusion i f.t. andre faktorer som hvorvidt den yderste del af ydervæggen er isolerende eller den er kold, og hvorvidt det spiller ind om den yderste del af vægkonstruktionen er et træbræt med karrenes retning på tværs af dampens bevægelsesretning eller ej, da det sandsynligvis agerer anderledes i f.t. fugt end en Homatherm træfiberplade.
7. Der er i forlængelse af dette projekt også behov for at finde frem til mere præcist, hvor meget ventilation, der er passende i relation til andre udfordringer, som ilt / CO<sub>2</sub>, radon, afgangning og lugte. Nogle af disse ting indgår i projektet Tæt Væg som vi har fået delvis finansiering til fra MUDP og som vi arbejder på at opnå fuld finansiering til snarest.
8. Den såkaldte tommelfingerregel om forholdet mellem Z-værdier inde og ude på 1:10 bør testes med forskelligt materialevalg, og med forskellig kombination i f.t. Z værdier inde og ude, samt i kombination med andre faktorer som hvorvidt den yderste del af konstruktionen er isolerende eller kold, og i hvilket omfang materialet i det yderste element i klimaskærmen er en "pludselig" hindring for varm og fugtig luft, en hindring i form af høj Z-værdi kombineret med lejlighedsvis kulde på denne hindring. Den "pludselige" hindring kan være beton, brændte mursten eller et træbræt, hvor karrenes retning går på tværs af dampens bevægelsesretning.
9. I hvilket omfang vil en dampbremse på indersiden af klimaskærmen begrænse diffusionen?

# Summary and conclusion

The Breathable House is a test building open for diffusion of humidity, developed and built by the Danish company Egen Vinding og Datter ApS (EVD). Our intention with the project is to optimize a healthy indoor climate and ensure low consumption of energy and resources, by choosing and developing building materials based on principles as life cycle assessment (LCA), good properties for humidity handling and minimal degassing of harmful chemical substances.

According to humidity handling, we have used a constructive principle of diffusability of humidity, and the building materials are mounted with no-distance proximity thus we ensure reduced transition resistance so that humidity can pass through the construction preventing accumulation of moisture. Our conclusion due to the test results is, that two of the three outer wall structures used in the Breathable House, with the actual internal humidity load until now have been able to handle the supplied humidity sufficiently.

An important objective in this project is to document how much humidity can pass through a structure built according to these principles via diffusion. To test this an evaporator has provided humidity equivalent to a family of 3-5 people living in the house, in the period 27.1.2017 – 12.3.2018. This test was made under conditions where there was no ventilation in the building, which is not a normal condition and must therefore be regarded as an extreme situation.

When designing the Breathable House, we chose three different outer wall constructions:

1. The gables, (south and north) are constructed with high diffusability (40 mm Homatherm wood fiber board) and (plaster / clay - 2 x 13 mm plaster). The wind barrier (wood fiber) is insulated.
2. Facades (upper part) with thatch covering are built with high diffusability on the inside part (plaster / clay) but with low diffusability on the outside board, 2.5 cm). Thatch insulate such that the temperature on the spruce boards is kept up and condensation is prevented.
3. Facades (lower part) covered with thermo wood (ash tree) and without thatch are constructed with high diffusability on the inside (plaster / clay) but with small diffusability on the outside (board 2.5 cm). Here the spruce boards become as equally cold as the outside temperature.

Construction type 1 and 2 currently handles the humidity without problems in this test. Our expectation from previous experience, which is confirmed here, is that an outer wall construction with a diffusability outside and inside of 1: 1 works well, even though 1:10 as recommended as technically common knowledge.

But in construction type 3 problems with humidity accumulating have been found. Here in fact we have challenged the construction most, since the diffusability is lower on the outside than on the inside of the construction, and at the same time the externally mounted wind barrier is non-insulating. The finding of moisture here, however, gives us an interesting learning. It means that we cannot recommend this construction, and we have already initiated further studies on this external wall construction.

We take an interest in this, because we want constructions to be as open as possible both inside and outside, in order to get rid of as much humidity as possible via diffusion. We have also become aware, by analyzing the results, that it may not only be about which part of the wall is the most diffusion-open, but other factors, e.g. whether the outer part of the outer wall is subject to cooling from cold whether or not.

Humidity handling is the main theme of this project. Air quality is another important area, which can also be essential for the extend of ventilation and for the indoor climate.



In designing the Breathable House, we have strived to choose building materials with no or low degassing of harmful chemical substances. E.g. we have avoided isothiazolinones which are used as preservatives in paint, etc. and we have tried to avoid other harmful chemical substances, still used in the construction industry.

The measurements of degassing in the Breathable House have, despite this, shown that there has been an unexpectedly high concentration of several harmful substances (aliphatic aldehyde, alkanes, terpenes, organic acids and 'sum of other cyclo-/ iso-alkanes') in the indoor climate. We are pt. not sure from where exactly these substances have derived. We know that the terpenes originate from wood (the amount can be increased by combining wood and linseed oil), but we are not in the current situation sure where the other substances have derived from. One possible source may be linseed oil, maybe in conjunction with clay. The last measurement on 13 May 2016, shows that the degassing of undesirable substances in the indoor climate in accordance with our expectations has now fallen to an acceptable level.

Unfortunately, in the project we do not have a unique basis for comparison of degassing from building materials in other newly built homes, but as we can see in specified reports, many harmful substances are still found in building materials, also for example materials under Swan label and DGNB certified constructions. Since we have not measured all these substances in the Breathable House, we cannot say anything exhaustive about it. This is elaborated below, where also life cycle assessment and other issues in the project like interviews with craftsmen, details on building materials and media work is reported.



Et kig på 1. sal i Det Åndbare Hus, hvor lys fra solskorstenen kommer ned midt på reposede mellem de to gavlværelser

# 1. Fase 1. Forundersøgelser og projektering

## 1.1 Følgegruppe og formidling til pressen

Projektets følgegruppe blev nedsat fra starten i begyndelsen af 2014 med repræsentanter for Miljøstyrelsen, Ingeniørforeningen, Miljømærkning Danmark og Foreningen Bæredygtige Byer og Bygninger, samt repræsentanter for EVD, og med Signe Kromann-Rasmussen fra Miljøstyrelsen som formand. Gruppen blev i december 2014 suppleret med repræsentanter for Realdania og Den A.P. Møllerske Støttefond, der via deres tilsagn om støtte har været med til at sikre den samlede finansiering af projektet. for følgegruppen. Der har været afholdt i alt seks følgegruppemøder (d. 21.2. og d. 26.8. 2014, d. 21.1.2015, d. 14.1.2016, d. 7.1.2017 og d. 4.6.2018), og følgegruppen har bidraget løbende med gode spørgsmål, faglige input og konstruktiv sparring.

Vi har udsendt pressemeddelelser i forbindelse med alle væsentlige aktiviteter, herunder ved tilsagn om medfinansiering fra hhv. Realdania og Den A.P. Møllerske Støttefond hhv. d. 29.10. og d. 18.12.2014. Nyheder om Det Åndbare Hus er desuden blevet formidlet på Egen Vinding og Datters hjemmeside og Facebook side, samt i et særligt nyhedsbrev om projektet, der er målrettet fagfolk og samarbejdspartnere.

## 1.2 Projektering

Projektering af huset blev gennemført planmæssigt, se projektmateriale i bilag 1. Projekteringen bygger på nedenstående undersøgelse af byggematerialer i f.t. afgangning (se pkt. 2.2) og test og undersøgelse af egne og andre producenters materialer (se pkt. 2.3).

Det er lykkedes at finde egnede materialer i f.t. afgangning, åndbarhed og miljøprofil / livscyklusvurdering generelt. Vi har dog til vores store overraskelse i forbindelse med test af indeklima og luftkvalitet identificeret en udfordring med afgangning af alifatiske aldehyder, som vi formoder stammer fra linolien, der skal undersøges nærmere og af alkaner, terpener og organiske syrer, som vi formoder bl.a. stammer fra kombinationen af linolie og ler, samt fra træ. Vi kan udelukke at disse stoffer stammer fra linolieemulsionsmalingen, der er testet for dette og som har en lav afgangning, der efter 10 timer er faldet til et niveau, der kan godkendes jf. indeklimamærkningen.

Vi vil gerne knytte følgende kommentarer til projekteringen: når man er i så ukendt land, med en række udviklingsprocesser i et byggeri, er det ekstra vigtigt at være i god tid og spørge ekstra grundigt ind til produkterne hos leverandørerne.

F.eks. de præfabrikerede spærrammer og et etagedæk af massivt træ. Selvom leverandøren var blevet sat ind i formålet med byggeriet og efter anmodning og lang tids venten har fremsendt dokumentation af, hvad der er i deres produkter, så modtog vi alligevel spærrammer med mineraluld og etagedæk med en anden lim end beskrevet i deres dokumentation (på 25 sider). Vi måtte skille spærrammerne og udtage mineralulden, sende den på deponi, indlægge bomuldsisolering og samle spærene igen.

Limen i dækket viste sig at være en PU-lim i stedet for melamin-lim. Den vil ikke give os afgangsmæssige problemer i huset, men den har en dårligere livscyklusprofil.

Et tredje eksempel er terrænisolering, hvor vi valgte et glasskumsgranulat fra Technopor, der ved hjælp af en teknologi, hvor de skummer knust glas op, har udviklet et mineralsk isoleringsmateriale, hvor de kan genbruge planglas til terrænisolering. Materialet fungerer fint, men det viste sig at blive noget dyrere end først beregnet.

Vi har desuden i projektet arbejdet med at udvikle et ventilationsvindue, en ventilationskorsten og forberedt for etablering af et træpillefyr med en røgvasker. Sådanne udviklingsprojekter skal spille sammen med projekteringen, og det tager ekstra tid. Det har også været en ekstra udfordring at projektere huset med et lergulv, som vi først sent i processen kendte den eksakte tykkelse af, fordi vi havde sat os for inden endelig projektering at samle erfaringer fra alle kendte producenter af lergulve. Endelig har samarbejdsaftaler med producenter fra to andre MUDP projekter (stråtag og lerplader) kostet lidt ekstra tid og penge.

Disse erfaringer med projektering er vigtige lærepenge til fremtidige projekter. De har været medvirkende årsager til forsinkelser, der dog primært skyldes årsager i Egen Vinding og Datter og har ikke noget med projektet at gøre.

### **1.3 Undersøgelse af afgangning fra materialer, der skal anvendes til det åndbare hus**

Vi har inden projektstart og dermed inden valg af materialer gennemgået alternative byggematerialer, se nedenfor, og vi har udviklet en spartelmasse og forsøgt at udvikle en fugemasse (se pkt. 1.6).

#### **1.3.1 Træ**

Dette projekt blev gennemført for at øge den begrænsede viden om emissioner fra træ og træbaserede materialer til indendørs anvendelse, samt for at udarbejde et forslag til en model til vurdering af emissioner fra disse materialer.

Koncentrationer af de kemiske stoffer, der blev kvantificeret ved klimakammermåling, blev omregnet til koncentrationer, som personer udsættes for i indeluften ved hjælp af standardrumbetragtninger.

Træ betragtes generelt som et miljømæssigt fordelagtigt materiale set i et bredt miljøperspektiv, omend gennemførte undersøgelser sjældent omfatter materiale- eller stofemissioner ud over formaldehyd.

Projektarbejdet, der alene omfattede emission fra træ og træbaserede produkter til brugsmiljøet, giver ikke grundlag for vægtning af emissioner i forhold til andre materialetyper, eller vægtning af emission i relation til andre indeklimafaktorer.

Relativt lave indeklimakoncentrationer ses for massiv ask, bøg og eg ved beregning ved en materialebelastning på  $0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$  svarende til f.eks. et gulv eller et bord og seks stole. Massiv fyr gav betragteligt større emissioner end de andre prøvede massive træarter.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Miljøstyrelsen 1999: Emission af flygtige organiske forbindelser fra træ, træbaserede materialer, møbler og inventar, <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/1999/87-7909-499-6/html/helepubl.htm>



Et lille træhus beklædt med a-pinen- og 3-careen-rig ubehandlet fyr på gulv, loft og alle fire vægge er et eksempel, der kan resultere i relativt høje inde- klimakoncentrationer, der kan henføres til emissioner fra træ. Højere koncentrationer kan indtræffe, hvis huset er nybygget af frisk træ, og hvis det af en eller anden årsag er gjort relativt lufttæt med et lavt luftskifte til følge.

### **1.3.2 Maling**

Vandfortyndbar plastmaling indeholder bl.a. monopropylenglykol og hexanol, der hjælper til at danne malingsfilmen og salmiakspiritus til pH-regulering. Det store problem med vandfortyndbar plastmaling er imidlertid konserveringsmidlet MI, et problem der bliver forstærket af reglen om reducerede oplysningskrav, hvor mange voldsomme kemikalier ikke skal deklareres forudsat at de overholder tilknyttede mængdebegrænsninger og brugere står uden mulighed for at forholde sig til det, de køber.

Vores eget udviklede alternativ vil leve op til to principper: enkelhed i recepturet (indholdsdeklarationen), som skal fuldeklarerer. Vi deklarerer alle indgående stoffer, også stoffer der er tilstede i lille mængde, og ingen problematiske stoffer. Derfor er f.eks. MI substitueret med Natrium Benzoat eller – som det var tilfældet i Det Åndbare Hus, hvor malingen var ukonserveret da den var produceret til umiddelbar anvendelse. Dertil er malingen indeklimatemærket.

Spartelmasser er generelt bygget op på samme måde som maling.

Der er to typer fugemasse, acryl fugemasse, med stort set de samme problemer som vandfortyndbar plastmaling og silikonebaseret fugemasse, hvis indeklimateproblem er af mere overskuelig karakter: det fraspalter eddikesyre, der har en meget frastødende lugt, men ellers er uproblematisk på det indeklimateæssige plan.

### **1.3.3 Ler/beton/gips**

Som så meget andet mineralsk materiale har ler og beton en mindre radonafgasning. Beton bliver derudover produceret under anvendelse af diverse additiver: Plastifikanter, acceleratoer, inhibitorer, mv., som i forskellig grad migrerer ud til overfladen. Gips har ingen afgangning.

### **1.3.4 Linolie/voks**

På gulvoverfladen har vi brugt linolieoverfladebehandling. Linolie er kendt for afgangning af f.eks. aldehyder under hærkning. Oliens reaktion på træet i møbler og etagedæk er kendt. Vi er dog ikke bekendt med hvordan oliehærkningen evt. vil blive påvirket af lerets alkaliske miljø.

### **1.3.5 Møbler**

Skabe og lignende vil blive lavet af fyrretræ og malet med linoliemaling eller linoliebehandlet.

### **1.3.6 Kontakter/armaturer mv.**

Kontakter, armaturer, rør, dørhåndtag og lignende applikationer, vil vi sige, er generelt i bagatelområdet, mht. eksponeret overflade, på den ene side set, og på den anden side set, materialer af uproblematisk karakter.

### **1.3.7 Konklusioner**

Vi har primært valgt at bruge egne materialer i områder, der påvirker indeklimateet, og det er materialer der under test, og efterfølgende er beskrevet i formidlingsdelen af projektet.

Ud over egne produkter vil vi anvende træ, gips, stål og sten, hvor vi har beskrevet træ og gips som uproblematisk, og vi betragter stål og sten som naturligt uproblematisk.

### 1.3.8 Kilder

1. Emission af flygtige organiske forbindelser fra træ, træbaserede materialer, møbler og inventar. Rådet vedrørende genanvendelse og renere teknologi. September 1997.

<https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/1999/87-7909-499-6/html/helepubl.htm>

2. Beton: Helge Hansen, Teknologisk Institut 72203827,

3. Ler: geologisk institut Knud Erik Klint 20555248



Følere er monteret mange steder i konstruktionen



Stråtaget under udførelse



Vådtrum og teknikrum er muret op i lersten midt i bygningen



Etagedække af træ

## 1.4 Dokumentationsprogrammer

### 1.4.1 Samarbejdspartnere

Der er etableret samarbejdsaftaler med Teknologisk Institut og DTU omkring gennemførelse af de nødvendige tests og målinger, samt livscyklusanalyser. Vi har desuden indgået aftale med House Arkitekter om projektering, med Søren Vodder om levering af Miscantus og etablering af stråtag og stråvægge, med Jørgen Kaarup fra Stråtagskontoret om samarbejde og formidling om stråtage, med Jens Helt om levering af lerplader og Sten Møller om udvikling af røgvaske som forberedelse til indsættelse af træpillefyr. Endelig har vi lavet aftale med Jette Hagensen om formidling, afrapportering, udførelse af interviews m.v. og med Jens Refsgaard og Jacob Friberg om digital formidling.

Samarbejdet har givet anledning til en række justeringer af projektet undervejs, f.eks. har der vist sig en mulighed for at udføre livscyklus vurderinger i et samarbejde mellem vore egne folk og studerende fra DTU, og det vil billiggøre denne del af projektet. Samtidig har det vist sig, at der er brug for at gennemføre flere målinger i måleprogrammet for fugt og afgang, og at der hertil er brug for mere og meget dyrere hardware. Som følge af dette, har vi efter aftale med Miljøstyrelsen flyttet lidt rundt på nogle af midlerne.

### 1.4.2 Status for gennemførelse af dokumentationsprogrammer

Vi har indsamlet erfaringer om lergulve, specifikt om badeværelsesgulve af ler fra en række parter: Sten Møller fra Friland, Fornyset Energi i Stenlille og Bjarne Wichstrøm på Sydfyn. Disse erfaringer har indgået i projekteringen, ligesom statik og styrkeprøvninger er gennemført.

## 1.5 Undersøgelse af afgang fra materialer

### 1.5.1 Test og undersøgelse af egne og andre producenters produkter

#### Isolering

Vi har i mange år brugt papiruld, hørud og hamp til isolering, og netop disse isoleringstypers håndtering af kondens og fugt er kernen i vores koncept: Det åndbare hus. Fugten kan diffundere i denne isolering, og komme væk fra bygningen, mens fugten bliver fikseret i mineralske isoleringstyper, med overvejende risiko for at beskadige bygning og isoleringsevne. Og mens mineralsk isolering skal til deponi efter brugsfasen, så kan de cellulosebaserede isoleringstyper bruges til mange ting bagefter, men i sidste instans gå i forbrændingen. De har endvidere den fordel at de lagrer CO<sub>2</sub> i bygningens levetid – på samme måde som træ i bygninger fungerer som et CO<sub>2</sub> lager og dermed bidrager til forsinkelse af udledning af CO<sub>2</sub>.

#### Lersten

Byggematerialer af ler: lersten, lermørtel, lerpuds og lerplader, bliver fremstillet af moræneler, en råvare, der er ubegrænsede mængder af i Danmark. Produktionen er langt mindre energi-krævende end sammenlignelige produkter, og det eneste, der indgår i produktionen, er opgraved rent ler, tørring/vand og energi. Byggeri med ler giver samtidig en stor masse i bygningen, som henholdsvis kan fungere som varme- og fugtbuffer, og henholdsvis medvirker til et godt lyd miljø.



## Vinduer

Den gængse standard for vinduer er, at de er produceret af hurtigt voksende fyr, og dermed træ, som nemt kan optage vand. De er typisk malet med plastmaling, der ikke giver beskyttelse af træet mod vand. Plastmalingen revner, fordi træet under malingen giver sig, men malingen kan ikke optage bevægelserne, og tillader regnvand at komme ind i træet, såvel som at det vand der kommer ind i træet fra beboelsen, havner bag malingen og ikke kan komme væk. Af samme årsag har vinduesproducenter generelt en garanti på 5 år, forudsat at man går sine vinduer efter en gang om året og reparerer revnerne.

EVD vinduet er produceret af langsomt voksende fyr, og har derfor større modstand mod vandskade. Derudover maler vi med linoliemaling. Det betyder at det yderste lag af træet, under malingen, er beskyttet af linolien i malingen mod vandindtrængning, hvis der skulle komme en revne i malingen. Det giver holdbare vinduer som vi yder 25 års garanti på, og som kun skal behandles hvert 5. år henholdsvis bare med olie den ene gang og linoliemaling den næste gang.

## Gips som væg- og loftsbeklædning

Gips har hidtil i store træk været et oparbejdet affaldsprodukt fra energiproducenterne. Svovlet fra kul ender som sulfatdelen af gipsen, da røgen fra kraftværkerne ledes igennem et kalkfilter. Der har i en årrække været store mængder gips til rådighed fra kulfyrede værker. I takt med at disse i stigende grad bliver erstattet af vedvarende energikilder, er virksomheder som f.eks. Knauf A/S i Hobro, der producerer gipsplader, gået over til i højere grad at importere naturgips. Der er ikke bemærket tvivlsomme stoffer i produktionen af gips eller afgasning fra gips.

## OSB plader

OSB plader har en afgasning, både som værende træ, men også pga. at det er limet. Begge dele er behandlet i "Emission af flygtige organiske forbindelser fra træ, træbaserede materialer, møbler og inventar" og det erklæres, at "det ikke er derfra at indeklimaproblemer stammer". Da OSB pladerne vil blive brugt i konstruktionen, og ikke ind imod boligområdet, er der ikke problemer med afgasning.

## Lerplader

Lerplader af moræneler vil vi bruge visse steder i beboelsen som et pilotforsøg for en substitution af gipsplader. Moræneler har flere fordele: det er en ikke-fornybar ressource, der findes i store mængder, det er diffusionsåbent og samtidig lukket for konvektion, og det er fugtdynamisk og varmedynamisk i højere grad end gips, hvor der vil være en ganske stor overgangsmodstand fra plade til plade. Samtidig er varmfylden i lerpladerne større end varmfylden i gipspladerne.

## Plastfolie

Vi vil bruge strimler af polyethylen i umiddelbar nærhed til samlinger, hvor man almindeligvis vil bruge fugemasse, som en af de konstruktive løsninger til substitution af fugemasse. Der er ingen relevant afgasning fra den type folie.

## Fugemasse

Vi prøvede at udvikle en fugemasse selv, hvilket faldt negativt ud. Vi har undersøgt markedet for fugemasser for at finde den, der bedst lever op til vore krav om minimeret afgasning og

bedst oplysningsniveau på indholdsdeklarationen, og vurderer at det bedste valg p.t. er en silikone baseret fugemasse: Danaseal Contractor pf 552.

## **Betonfundament**

Beton er ikke bare mineralske bindere og fyldstoffer, men også organiske hjælpestoffer. Hjælpestofferne er højmolekylære og giver derfor ikke anledning til afgasning. På nogle planer er beton uproblematisk og på nogle planer kunne vi tænke os at erstatte med andre produkter. Energi- og ressourceproblematikken er ét aspekt, og forurening et andet, som får os til at kigge efter erstatninger for beton.

## **Kalkfundament**

Vi så derfor efter kalk som erstatning for beton. Desværre er hærdningsprocessen afhængig af CO<sub>2</sub>, hvis tilgængelighed er forsvindende i den centrale del af fundamentet, så det er opgivet.

## **Opgraderet EPS**

Vi har overvejet at bruge EPS plader som isolering under terrændækket, da det ud over isolering tilfører gulvet en stor bæreevne. Ud over EPS-plader overvejede vi at afprøve nedknust EPS fra møbelindpakning, og komprimere det som isolering under terrændæk. Der ville være en ressourcebesparelse fremfor at køre det i forbrændingen og bruge nyfremstillede formstøbte EPS-plader.

## **Strå, -tegl, -tagpap, -stål, -aluminiumstag**

Vi har haft øjnene rettet imod et stråtag af miscantus strå. En LCA har vist, at stråtaget er det mest klimavenlige tag af alle. Vi har på samme tid fået tækkemateriale, medvirket til bevarelse af grundvandet og inddraget endnu et MUDP-projekt, og det er jo ikke så ringe endda. Ved siden af dette har vi kigget på tegl, diverse tagmembraner som f.eks. tagpap, samt stål og aluminium, men vi fandt ikke at de på nogen afgørende måde distancerede sig fra hinanden, hverken på LCA eller andre faktorer, så vi har holdt fast i valget af stråtag. Og har brandsikret stråtaget ved at lægge det ned på granbrædderne, og har målt at der ikke er fugtphobning i stråene, selvom der ikke er ventilation til undersiden af stråene.

## **Maling**

Vandfortyndbare malinger er alle, bortset fra vores egen maling, konserveret med det problematiske MI/isothiazolinoner, og lever derfor ikke op til de hensigter vi har om mindre problematiske stoffer, bl.a. biocider, i vores projekt. Samtidig indeholder plastmalinger generelt også f.eks. monopropylenglykol og hexanol, samt salmiakspiritus.

Men i modsætning til vores maling, der er fulddeklareret, så er andre malinger på markedet kun deklareret efter EU's begrænsede krav, så kunderne ikke ved, hvad de tager med hjem i boligen.

Så fordi vores egen maling er konserveret med et mindre problematisk biocid, (der er opført i bilag I i Biocidforordningen), så er det den, der indgår i projektet. Den naturmaling der er anvendt i Det Åndbare Hus indeholder således slet ikke konserveringsmiddel idet den er produceret umiddelbart inden anvendelse.

## Tadelakt

Vi har set efter en overfladebehandling, til områder i badeværelset som vil være udsat for vandstænk, og er der kommet frem til at overveje tadelakt, der er et mineralsk produkt med stor vandbestandighed.

## 1.6 Udvikling af spartelmasse og fugemasse

### 1.6.1 Test og undersøgelse af egne og andre producenters produkter

Der er i dag mange typer / fabrikater af spartelmasse på markedet, men de er generelt udviklet uden tilstrækkeligt hensyn til slutbrugerens sundhed. Derfor ønsker vi at udvikle produkter, der tager vidtgående hensyn til både miljø og sundhed, og som samtidig har høje standarder i f.t. til funktion, kvalitet og holdbarhed. Vi er bl.a. motiveret af positive tilbagemeldinger fra kunder, der trives med at arbejde med, trives med at arbejde med, og at bo og arbejde i de bygninger og at bo og arbejde i de bygninger, der er malet med vores moderne malingsprodukter og som ikke får gener, i form af f.eks. allergi og træthed, som de oplever med andre malingsprodukter.

Vi stillede følgende kriterier op for en ny spartel- og fugemasse:

#### **Spartelmassen skal:**

1. Være nem at påføre
2. Have en god vedhæftning
3. Være enkel at efterbehandle
4. Være hurtig til at tørre af hensyn til proces flow
5. Have lav eller ingen afgangning.
6. Være enkel i indholdsdeklarationen for at undgå kemibelastningen af vores hjem.

Disse kriterier opfylder vores maling allerede, og de samme kriterier ønsker vi generelt at lægge til grund for vores øvrige produkter.

#### **Fugemassen:**

Også for fugemassen har vi ovennævnte kriterier og supplerer med at den hærdede fuges skal kunne optage bevægelser i de bygningsdele, som fugemassen skal forbinde, og at fleksibiliteten skal være til stede i minimum 2 år.

### 1.6.2 Forløb

Undervejs har vi talt med fagfolk. Vi interviewede dem om deres fag, deres metoder, deres arbejdsrytme og deres ønsker til en ny spartelmasse og fugemasse. Deres ønsker er, som beskrevet ovenfor, produkter man ikke får gener af.

Vi har brugt de samme principper for sammensætning af spartelmasse og fugemasse, som vi har lagt til grund for udviklingen af vores maling, og vi har i høj grad anvendt de samme materialer, da vi har rigtig gode erfaringer med disse, både teknisk og med hensyn til kundetilfredshed.

Spartelmassen: Her var vi ude at søge efter relevante råvarer, der skulle hjælpe os til at opfylde behovene for at kunne producere en spartelmasse. Her var specielt tilslagsmaterialet "sandet", en udfordring, da materialet både skal være slibbart og hårdt. Vi fandt, efter forsøg med talkum og diverse karbonater, noget porøst sand, som havde de rette egenskaber, sammen med, som sagt, de gamle travere af materialer, som vi hev af stalden. Det resulterede i

en spartelmasse med alle de ønskede egenskaber, dog var tørretiden længere end på tilsvarende produkter på markedet. Efter at vi mente, vi var nået frem til et godt produkt, har vi alligevel udviklet videre på spartelmassen, så den nu også kan fungere som sprøjtespartelmasse.

Før vi sendte spartelmassen i praktisk prøvning hos nedenfor nævnte samarbejdspartnere, havde vi en længere proces med mange gipsplader og mange variationer af spartelmasse i samarbejde med Teknisk Skole Holbæk, før vi lagde os fast på en udgave, som viste gode egenskaber. Den gik vi ud til samarbejdspartnerne med, til prøvning i praktiske opgaver. Efter et par justeringer har tilfredsheden været stor og vi ser den opgave som løst.

Vi holder dog øje med mulighederne for forbedringer, og ser allerede muligheder for at forbedre tørretiden som den ene og muligheden af at lave en fin- og en grov- spartel, som den anden forbedringsmulighed pt.

Fugemassen: Der lagde vi ud på samme måde med at se på hvad vi havde i forvejen i vores maling. Vi lavede en række forsøg, hvor vi brugte forskellige typer linolie, egentlig på måder der tangerer kit, men de faldt altid elendigt ud. Vi har derfor prøvet med andre bindere. Sådan en som acryl, der er vandbaseret, røg ud allerede i undersøgelsesfasen, da det bare i den grad indeholder miljø- og sundhedsskadelige stoffer, som vi ikke ønsker at bringe ud til brugere.

På samme måde røg polyurethan-bindere, der i sig selv er uønskværdige, også ud. Tilbage var der silikonebindere, hvor vi prøvede forskellige typer fra tre forskellige leverandører. Silikone er i sig selv et udmærket produkt, idet det dog under hærningen afgasser eddikesyre, der i de aktuelle mængder ikke er skadeligt, men dog lugter ubehageligt. Men når vi testede effektiviteten, var den ringe. Adskillige hjælpestoffer sorterede vi på forhånd fra, tin f.eks. Vi har prøvet med mange alternative hjælpestoffer, men ingen af dem viste de fornødne egenskaber eller den fornødne stabilitet. Det var én lang tour de fatal.

Vi prøvede derefter en citronsyreester som binder. Den viste faktisk gode takter inden for flere egenskaber, men over tid viste den sig også ustabil.

Vi har derfor ikke haft fugemasse i test hos praktikerne, og vi har de facto opgivet at gå den vej. Vi arbejder i stedet ud fra at udvikle konstruktionsmæssige løsninger, som ganske givet vil dække det gængse forbrug i et byggeri.

For den lille del, hvor konstruktionsmæssige løsninger ikke kan dække, har vi scannet markedet for at finde den fugemasse, vi bedst kan stå inde for, og bruge den der. Vi er foreløbig landet på den silikonebaserede fugemasse: Danaseal Contractor 552.

### **1.6.3 Resultat**

Vi har fået udviklet en spartelmasse, der opfylder succeskriterierne, bortset fra ét, nemlig tørretiden.

Vi har også set fordelene i praksistesten, hvor der opstod et spørgsmål om muligheden af at lave en sprøjte kvalitet. Dette lykkedes vi så også med at udvikle.

Fugemassen derimod var en skuffelse.

Spartelmassen: Selvom produktet kaldes sandspartel, så dur det ikke at tilsætte almindeligt sand, da spartelmassen skal slibes. Så valg af tilslagsmateriale er afgørende. Spartelmasse



skal være nemt at påføre, have en god vedhæftning og sammenhængskraft og være nemt at slibe, efter at have tørret hurtigt op.

Det resultat vi har opnået er:

#### **Spartelmassen:**

1. Nem at påføre, da det kun kræver én påføring, takket være den hærdende olie der forhindrer udtørringssvind, fordi olien udvider sig en lille smule ved tørring.
2. God vedhæftning, igen takket være olien, hvis overfladespænding sørger for god kontakt til underlaget.
3. Evnen til at blive slebet er fremragende takket være det tilslagsmateriale, vi fandt frem til efter forskellige prøver.
4. Tørretiden derimod, vinder vi ikke på, der ligger vi efter de andre på markedet. Men tørretiden er acceptabel, taget i betragtning at der generelt kun skal behandles én gang. Desuden har vi et par ideer til at reducere tørretiden, som vi arbejder videre med.
5. I teorien, og vel også i praksis, vil afgangningen fra spartelmassen være mindre end afgangningen fra vores maling, hvor indeklimatestificeringen viser aldehydafgasning lige over detektionsgrænsen i 10 timer, og derefter kan der ikke detekteres nogen afgangning. Afgasningen kommer fra olieindholdet i malingen, og det relative olieindhold er mindre i spartelmassen, derfor forudsætter vi en mindre afgangning fra spartelmassen end fra malingen.
6. Vi opnåede også enkelhed i recepturet, da vi har taget pigmentet ud, pigment i en spartelmasse er ikke relevant, og tilføjet et fyldstof, og tilpasset blandingsforholdene til den nye opgave.

**Fugemassen:** Som beskrevet i "2 Forløb" var vi ude i mange retninger, og løb ind i, indtil videre, uoverstigelige hindringer for dette produkt med flere forskellige funktionskrav. Men vi har ikke lagt det i mølposen. Vi vender tilbage når muligheder melder sig. I mellemtiden, som sagt, så satser vi på at løse mange af de naturlige opgaver for en fugemasse med konstruktionsmæssige indsatser.

### **1.6.4 Konklusion**

Konklusionen kan klares kort: spartelmassen blev udviklet succesfuldt, endda i en udgave det typisk kun skal spartles med en gang, fordi den udvider sig lidt under tørring; vi lykkedes også med at udvikle en spartelmasse i sprøjte kvalitet; men det lykkedes ikke at udvikle en tilfredsstillende fugemasse.

### **1.6.5 Samarbejdspartnere**

Maler Tobias Wennergren, Favrbvej 41, 4654 Faxe Ladeplads, tlf. 31 10 15 40  
Maler Torben Lund Nielsen, Moseholmene 1, 2610 Rødovre, tlf. 26 21 23 03  
Teknisk Skole Holbæk, Absalonsvej 14 - 20 4300 Holbæk, tlf. 59 45 51 00  
Fællesskabet Makværket, Teglværksvej 30, 4420 Regstrup, tlf. 38 34 84 80  
EVD entreprise, Haslevvej 81, 4100 Ringsted tlf. 57 61 77 01

## 2. Fase 2. Huset bygges, samt nyt om formidling, LCA håndværkererfaring

### 2.1 Formidling

Vi havde en fin dag med første spadestik d. 6.3.2015. Arrangementet startede kl. 14 hvor borgmester i Ringsted Henrik Hvidesten gravede for og projektleder Lars Jørgensen samt arkitekt Søren Blicher, fra House Arkitekter fortalte om projektet til de fremmødte ca. 40 personer.

D. 11.-12. april 2015 holdt Landsforeningen Økologisk Byggeri sit årsmøde hos Egen Vinding og Datter. Der var flere hundrede besøgende i løbet af de to dage og der var rundvisninger i Det Åndbare Hus og workshops om bl.a. maling og ventilation, så denne dag blev en masse viden spredt og diskuteret og nye netværk blev etableret på kryds og tværs. Daværende Klima-, Energi- og Bygningsminister Rasmus Helveg Petersen holdt tale og blev vist rundt i byggeriet, som han gav sin store opbakning til. Det var anden gang ministeren besøgte virksomheden.

Vi har haft flere rundvisninger i løbet af foråret 2015, bl.a. for netværket InnoByg, og for en specielt inviteret gruppe af byggefolk.

Jf. arbejdsplan 6 er der udsendt pressemeddelelse om første spadestik og der var artikler i Ringsted Dagblad, samt på flere digitale nyhedssider. Ringsted Dagblad har skrevet udførlige artikler om Det Åndbare Hus flere gange.

I juli blev der bragt en fin artikel om projektet i tidsskriftet Tæk (s. 12) <http://straatagetskon-tor.dk/wp-content/uploads/2013/05/TaeK-2-2015.pdf> hvor der var særligt fokus på det flotte og imponerende stråtag. Vi er desuden blevet interviewet til artikler i bl.a. Teknikeren og Mester og Svend, samt filmet til TV2 Øst. Se mere her: <https://egenvinding.dk/node/169>

Vi har udgivet i alt 13 nyhedsbreve om Det Åndbare Hus med 13 temaer. I hvert nyhedsbrev har der været et tema (6 + 7 dog i samme nyhedsbrev), samt en opdatering, invitation til mærkedage mv. Nr. 12 og 13 handler begge primært om den familie der nu er flyttet ind i huset.

Temaerne er:

1. Principperne: Et åndbart hus uden problematisk afgang
2. En åndbar og vindtæt ydervæg
3. Spartelmasse og fugemasse
4. Stråtag og stråvægge samt Miscantus (elefantgræs)
5. Arkitektur og projektering
6. EVD Vinduet
7. Technopor – isolering af genbrugsglas
8. Naturmaling
9. Lersten og lerpuds
10. Isolering
11. Målinger i Det Åndbare Hus
12. Ventilation og afgang
13. Indflyttere til Det Åndbare Hus – både i nyhedsbrev nr. 12 og 13

Nyhedsbrevene kan ses på <http://egenvinding.dk>

Vi har desuden løbende skrevet om projektet på Facebook og postet foto og links mv., opdateret hjemmesiden og dokumenteret byggeriet med fotos. Det Åndbare Hus er desuden udgangspunkt for en undervisningsportal målrettet til erhvervsskolerne om bæredygtigt byggeri – se <http://bæredygtigtbyggeri.dk/>

## 2.2 Miljøegenskaber, LCA og CE-mærkning

Vi har afsluttet CE-mærkning af vinduerne, og vi har udarbejdet miljødatablade på flg. produkter: Naturmaling, lersten, vinduer og isolering af hør/hamp.

Vi havde planlagt at lave en række livscyklusvurderinger af forskellige materialer, men har i samarbejde med DTU valgt i stedet at lave en livscyklusvurdering på hele huset. Analysen er udarbejdet som led i et Bachelor projekt, og er baseret på en metode for livscyklusvurdering af enfamiliehuse, hvor alle ressourcer der indgår i byggeriet opgøres for hhv. udvendige og indvendige byggematerialer, samt transport og vinduer.

Analysen forudsætter, at huset har en levetid på 50 år. Dernæst beregnes effekten på fem forskellige parametre: Menneskers sundhed, klima (udledning af drivhusgasser målt i kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup>/år), økosystem kvalitet, ressourceforbrug og vandforbrug. Endelig er der lavet en sammenligning med et referencehus og i den afsluttende præsentation af projektet også med andre alternative / bæredygtige enfamiliehuse.

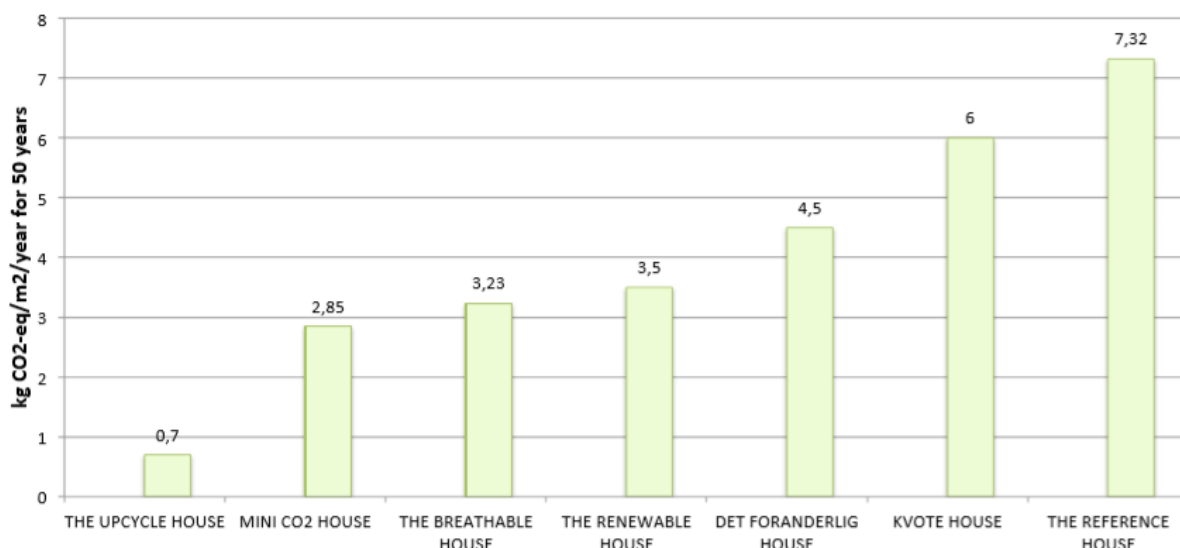
Men det viste sig desværre, at der var nogle problemer med CO<sub>2</sub> beregningen, som betød at rapporten viste et forkert resultat. Det viste sig bl.a. at handle om en regnefejl i f.t. klimaeffekt af geotekstilen. Det resultat, rapporten kommer frem til, er således ikke korrekt, idet det fremgår af rapporten, at Det Åndbare Hus i opførelsesfasen har en påvirkning på klimaet, der svarer til 6,32 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup>/år, mens et konventionelt referencehus har jf. bilag 6 en påvirkning på 7,4 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup>/år. Dette nævnes her, da denne første rapport er vedlagt som bilag.

Der er senere i forbindelse med eksaminationen lavet en præsentation af projektet, hvor rettelser i beregningerne er indarbejdet. Her kommer den studerende frem til at klimapåvirkningen fra Det Åndbare Hus er på 3,23 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup>/år, mens referencehuset jf. bilag 7 har en klimapåvirkning på 7,32<sup>10</sup> kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup>/år. Der er desuden lavet sammenligning med andre byggerier, som figuren<sup>11</sup> viser:

---

<sup>10</sup> Vi kan ikke forklare hvorfor der er en forskel på referencehuset på 0,08 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup>/år men betragter det som en afrundingsfejl. Her har vi blot citeret kilden

<sup>11</sup> Kilde: Bilag 7 s. 12



Det har dog efterfølgende også vist sig, at der er en række faktorer, der ikke er særligt præcise, hvilket skyldes, at beregningsværktøjet ikke er så færdigudviklet. SBI har i mellemtiden udviklet et værktøj til beregning af livscyklusanalyse, som dog også fortsat er under udvikling.

Vi håber i nær fremtid at kunne lave mere præcise beregninger af LCA for Det Åndbare Hus, der bl.a. kan omfatte den positive effekt af at bruge lokale materialer, som f.eks. lerjord, der kun er transporteret fra en kilometer fra byggepladsen.

Flere af de materialer vi har brugt i Det Åndbare Hus er ikke gængse byggematerialer og der ligger derfor ikke retvisende data for disse. Vi mener også at man skal indregne den lagring af CO<sub>2</sub> man opnår ved at bruge træ, papirisolering mm. i byggeriet.

## 2.3 Køb af grund og myndighedsbehandling

Byggeriet er etableret på egen grund, så køb blev ikke aktuelt. Der er givet landzone tilladelse og byggetilladelse, og grunden er byggemodnet. Husets areal er udvidet til 145 m<sup>2</sup>. Byggeriet er gennemført planmæssigt og var klar til indvielse i september 2015.

## 2.4 Ekstraarbejde med udvikling og tests

Vi har lavet en kanalføring i gulvet til ledninger og trukket ledninger rundt i spær-facaderammer og alle kabler er trukket til et skab, etableret med adgang udefra til at aflæse målinger udefra, så dette kan gøres i måleperioden uden at bryde lufttætheden af huset. Målerskabet er lavet så det passer ind i facaden.

## 2.5 Håndværkerinterview

Vi har gennemført fire individuelle interview med malere / malermestre, to med forhandlere af maling samt to interview med hhv. to tømrere (en svend og en lærling) og to murere (en svend og en lærling). Formålet med disse var at indsamle håndværker erfaringer med de anvendte byggemetoder og materialer.

Interviewene blev gennemført som halvstrukturerede interviews efter "Tragtmodellen". Interviewpersonerne var ikke tilfældigt udvalgt (stikprøve), men udvalgt ud fra deres baggrund,

fordi de skønnes at være særligt værdifulde kilder. Se bilag 9. Hovedpointer fra interview opsummeres her:

## **2.5.1 Interview om maling**

Vi fik flg. input vi kan handle på:

### **Udvikling af maling**

Kan EVD udvikle en maling med glans, nogle kunder ønsker dette og overfladen er stærkere (glans 7 til væg)

"Det vil være godt med en højere glans til udsatte områder med behov for en mere robust maling."

En bedre dækkevne ville være godt.

Konsistensen var varierende / viskositeten ikke helt homogen.

Undersøg om det slider på sprøjteanlæg / fingre – hvad kan gøres ved det (evt. til instruks)

Naturmaling ta'r mere imod skidt og fingeraftryk i de første uger indtil det er hærdet helt, tørretid er OK, men efterhærdning ta'r tid.

### **Spartelmasse**

Spartelmasse kan være svær at slibe, man skal lære den at kende – kan der gøres noget?

### **Formidling og markedsføring**

Lav et stort indeklimatemærke på spanden og skriv "Ren maling – intet andet".

Kommunikér at naturmaling ikke indeholder citrusolie eller andet med risiko for allergi og miljø.

Malingen skal ud i de store butikker.

Markedsfør til institutioner.

Kan vi få flere malermestre til at foreslå kunderne at bruge naturmaling på en skånsom måde, hvor de anbefaler det og nævner indeklimatemærket.

Kontakt til Tekniske Skoler?

Prisen er ca. dobbelt så høj 400 kr. for 10 liter naturmaling i f.t. 200 kr. for 10 liter Nordsjö – et Sadolin kvalitetsprodukt. Men prisen svarer til prisen på andre kvalitetsprodukter f.eks. Dyrups svanemærkede maling.

Pointe til markedsføring: Det virker bedre f.eks. i en fugtig kælder, da det er diffusionsåbent.

En opdatering om fordele f.eks. til allergikere på skrift vil være fint.

### **Andre ideer**

Test malingen i et børneværelse – vurder resultatet efter et år.



Kan vi gøre noget for at medarbejderne kan vænne sig til produkterne?

Kan vi gøre noget ved prisen – er det billigere at male med grunder og dernæst maling?

## **2.5.2 Murerinterview**

Vi gennemførte et fælles interview med to murere, en svend og en lærling. Der blev peget på en række problematikker, som vi tager med i det videre arbejde. De væsentligste er:

### **Materialer og metoder**

Behov for udvikling af vådrumsløsninger med ugiftige materialer.

Behov for at arbejde med logistikoptimering i f.t. tørretider.

Nedskrive tommelfingerregler f.eks. for mørtel / overlevering af viden / indsamling af viden også fra udlandet.

### **Udbredelse, kendskab og viden**

Der er stor mangel på viden og inspiration om økologisk byggeri i uddannelserne. Forslag:

Kontakt til skoler? Tilbyde oplæg om økologisk byggeri som en fast del af pensum på Tekniske skoler men også på arkitekt- konstruktør og ingeniøruddannelserne (evt. søge midler til det i samarbejde med LØB men også pege på det over for Miljøstyrelsen og ministeren?)

Opsummere viden fra DÅH til UV materiale

Artikler i fagforeningsblade og kontakt til BJMF – evt. som interview med håndværkere

## **2.5.3 Tømrerinterview**

Vi gennemførte et fælles interview med to tømrere, en svend og en lærling.

## **2.5.4 Opsummering af ting vi kan gøre noget ved**

Behov for bedre logistik og planlægning f.eks. ved montering af præfabrikerede elementer.

Kontakt til skolerne – start med KTS Nørrebro (f.eks. arrangere ekskursioner til DÅH og måske Oles hus, Bøgevej 9 i Roskilde)

Få formidlet resultater til beslutningstagere om ændring af Bygningsreglementet så det bliver lettere at bygge uden dampspærre.

Realkredit er betænkelige ved byggeri uden dampspærre – er der et problem vi kan gøre noget ved?

# 3. Fase 3. Test af hus uden beboere og formidling

## 3.1 Test og målinger i Det Åndbare Hus uden beboere

Efter at Det Åndbare Hus var færdigbygget, målte Teknologisk Institut luftkvaliteten i flere omgange og fugt i konstruktionerne over en længere testperiode. Perioden var planlagt til 12 måneder, så testprogrammet kunne køre over alle årstider. Men projektet er desværre blevet forsinket. Årsager hertil skyldes omstændigheder i Egen Vinding og Datters øvrige virke og ikke projektet. Det har betydet, at vi har gennemført målinger i en længere periode, fra november 2015, og frem til foråret 2019. Vi håber at kunne fortsætte måleprogrammet i hvert fald frem til sommeren 2019 og forhåbentlig 1-2 år yderligere.

I efteråret 2016 lavede vi en Blowerdoor test, hvor husets tæthed blev afprøvet. Her blev huset, der også hidtil havde været lukket af for ventilation, tætnet yderligere. Vinduer, døre (nøglehuller) og ventilationsskorsten blev stoppet til og sikret mod åbning. Derved blev eneste af fugtningsmulighed gennem klimaskærmen.

For at kunne måle på fugtbalancen i huset uden ventilation opretholdt vi denne tæthed og undlod at ventilere. Der var således kun ventileret ved en relativ lille infiltration gennem utætheder. Vi har således ikke ventileret med forceret eller naturlig ventilation i perioden fra november 2015 og frem til 1.6.2018. Vi målte i denne periode på fugt i konstruktionerne, uden aktiv tilførsel af fugt. Fra 27. januar 2018 tilførte vi (med en koldfordamper) den fugt, der var nødvendig for at holde fugtniveauet på 50% RF. Dette var i praksis mellem 7 og 10 liter væske, der blev tilført dagligt.

Måleprogrammet omhandlede forskellige indeklimatiske faktorer som fugt, radon og en række kemiske stoffer. Det forhold, at huset ikke blev ventileret af hensyn til fugtmålingerne, kan imod hensigten have haft betydning for resultaterne af målingerne af afgang af kemiske stoffer.

Til Byggeri og anlæg, har således påpeget, at som følge af manglende udluftning kan det desværre ikke udelukkes, at den begrænsede udluftning kan have forlænget perioden, hvor der er målt høje værdier af uønskede stoffer.

### 3.1.1 Målinger af fugt

Vi har udført målingerne af fugt i Det Åndbare Hus i samarbejde med Teknologisk Institut, Byggeri og Anlæg, Bygninger & Miljø. De har analyseret datasæt og udarbejdet rapporten 'Det Åndbare Hus. Vurdering af fugtmålinger' fra d. 27.9.2018. Rapporten viser måleresultater for registreringer i konstruktionerne, henholdsvis temperatur og relativ luftfugtighed i perioden 1.11.2015 – 14.5.2018, samt træfugtmålinger fra 14.11.2015 til 4.5.2018.

Teknologisk Institut har leveret udstyr til trådløs måling af temperatur og relativ luftfugtighed over tag- og ydervægskonstruktionernes tværsnit, men de har ikke foretaget besigtigelse af bygningen eller opsat måleudstyr. Det er EVD, der har monteret og aflæst målerne, og rapporten er baseret på dialog samt oplysninger og data fra EVD, der har fremsendt de behandlede data til Teknologisk Institut elektronisk.

I praksis er målingerne blevet udført således: Huset er blevet konditioneret med fugt til 50 % relativ fugtighed, svarende til et ideelt indeklima (40-45% RF om vinteren og 60-65% om sommeren). Fugten er registreret hver anden time af dataloggere (33 stk.), der er monteret mange steder i konstruktionen, og som registreres i computeren via radiomodtager. Der er også til sammenligning etableret målepunkter for fugt og temperatur i indeklimaet og udenfor. Desuden måles der træfugt en gang om ugen via træfugtmålerne (også 33 stk.). Disse kan aflæses direkte i målerskabet, som er placeret udvendigt på bygningen.

Som ovenfor nævnt var huset i hele perioden lukket helt af, således at den eneste affugtningsmulighed var gennem klimaskærmen. Det betyder, at der har været en ekstrem situation i huset, idet der ikke har været nogen form for ventilation, som der ellers altid vil være i en bolig, enten via døre og vinduer, og/eller via ventilationssystemer. Aftrækskanalerne i huset har været lukket til - med et reduceret luftskifte til følge helt frem til 1.6.2018, hvor de blev åbnet i forbindelse med indflytning i huset, der skete pr. 1.5.2018.

De første to vintre har der ikke været tilført fugt. Derfor har bevægelserne af fugt i konstruktionen i denne periode afspejlet bevægelser i fugten udendørs. Vi havde forventet at kunne indsætte fugtmaskinen tidligere, men af forskellige årsager blev dette forsinket. Det betyder, at den fugt, der er målt i denne periode som forventeligt blot afspejler udeforholdene med en vis forsinkelse.

Den tredje vinter (2017) er fugttilskuddet på niveau som dimensioneret, (7-10 liter/døgn, afhængig af hvad der skal til for at opretholde 50% RF) og resultater fra dette år er derfor det vigtigste datamateriale, der kan dokumentere fugtbevægelse gennem den diffusionsåbne konstruktion. Der var oprindelig planlagt målinger i 12 måneder, og dette er på denne måde gennemført.

Som ydervægge og tagkonstruktion er der afprøvet 3 forskellige typer klimaskærm. Alle typer er isoleret med enten papirisolering eller isolering af hør eller hamp. (De to materials fugtegenskaber er stort set ens). Uden på isoleringen går stråtaget nogle steder ned og indgår i den yderste del af væggen. Sådanne stråvægge har gode erfaringer med fra Holland. Stråvæggen lægges uden på et lag af rupløjede brædder, som strået monteres tæt op mod.

Andre steder er ydervæggen afsluttet med en træfiberplade (Homatherm) eller med et lag upløjede brædder og herpå er lagt en ydre facadebeklædning med thermoask. Her er der et mellemrum mellem pladen og beklædningen, hvor fugt fra konstruktionen kan ventileres væk. Isoleringstykkelsen er alle steder i alt 410 mm. Hertil kommer isoleringsværdien af træfiberplade og strå. Indvendig er væggene beklædt med et lag gips og et lag lerpuds, og nogle steder med en lerplade eller to lag gips, samt naturmaling.

Det kan opsummeres som tre grundtyper af ydervægskonstruktioner:

1. Gavlene, (syd og nord) er opført med stor diffusionsåbenhed ude (Homatherm træfiberplader, 40 mm der har en dampdiffusionsmodstand på ca. 1,1) og inde (gips/ler. (To lag gips af 13 mm har jf. producenten Knauf en dampdiffusionsmodstand på samlet 1,26)). Samtidig er vindspærren ude isolerende, idet den er lavet af træfiber (Homatherm plade).
2. Facader med stråbeklædning er opført med stor diffusionsåbenhed inde (gips/ler) men med lille ude (rupløjet gran), men her isolerer stråene, så temperaturen på granbrædderne holdes oppe.
3. Facader uden strå er opført med stor diffusionsåbenhed inde (gips/ler) men med lille ude (rupløjet gran) og her bliver granbrædderne lige så kolde som udetemperaturen.

Vi er opmærksomme på at det er 'teknisk fælleseje' at man anbefaler et forhold på diffusionsåbenhed ude og inde på 1:10. Vores forventning var dog ud fra tidligere erfaringer at 1:1 ville fungere godt, og da vi ønsker at fremme diffusionen ved at skabe størst mulig diffusionsåbenhed både inde og ude har vi ønsket at teste dette.

Samtidig har vi 3 forskellige situationer, som vi har målt / måler på:

1. Ingen ventilation og ingen fugt-tilførsel. (1.11.2015- 27.1.2017)
2. Ingen ventilation, men fugttilførsel (op til 10 liter/døgn) (27.1.2017 – 12.3.2018)
3. Familie lever i huset med normal fugtproduktion og ventilation ved kogeplader og bad/toilet samt ventilationsvinduer og ventilationsmulighed fra døre/vinduer og udluftningsskorsten.(1.5.2018 -)

Vi har endnu ikke resultaterne fra den tredje periode, hvor en familie bor i huset.

Under situation 1, uden ventilation og uden fugttilførsel, viser testresultaterne at fugtniveauet i konstruktionerne holder sig indenfor det anbefalede niveau for træfugt på max 15-18 vægt-% i alle tre konstruktioner.

I situation 2, hvor der ikke er ventilation men er en fugttilførsel på op til 10 liter / døgn, viser testresultaterne, at fugtniveauet stadig holder sig indenfor de anbefalede niveauer for træfugt på max 15-18 vægt-% i de to første ydervægskonstruktioner, hvor 32 (heraf 13 i yderkanten af ydervæggen) af de 33 målepunkter er placeret.

Der er dog et enkelt målepunkt, der har vist høje værdier for træfugt, specielt i den 3. vinter. Dette målepunkt er placeret på østsiden af huset, på en ydervæg, hvor der ikke er yderligere isolering udenpå det rupløjede bræt, der tjener som vindspærre, umiddelbart under facadebeklædningen. Det svarer til ydervægskonstruktion nummer 3. Dette ene målepunkt har således afdækket en svaghed i konstruktionen i Det Åndbare Hus, som vi ikke havde forudset. Så på sæt og vis var det vældig godt, at der var placeret et målepunkt netop her.

Testresultaterne viser altså, at forskellige typer af ydervægge agerer forskelligt i f.t. kondensering af fugt, i hvert fald når vi laver en ekstrem belastning med at pumpe fugt ind i en bygning uden ventilation.

Det har så vist sig, at når den yderste flade (vindspærren) er kold (ikke isolerende) og forholdsvis diffusionstæt (inde/ude: 1:10) og når vi udsætter huset for den ret ekstreme påvirkning, hvor vi tilfører fugt uden at der er ventilation i bygningen, så kan der opstå problemer med fugt og efterfølgende skimmelsvamp. Det er et vigtigt resultat, som umiddelbart fører til den erfaring, at når vi har vindspærre i form af en kold og diffusionstæt flade som f.eks. rupløjede brædder som yderste / næst-yderste lag, så skal denne beklædes med isolering (som i ydervægskonstruktion type 2). Alternativt skal der i stedet anvendes en vindspærre med højere isoleringsværdi og/eller en diffusionsåben vindspærre, som f.eks. en Homatherm plade, som vi har monteret på gavlene, hvor der ikke har vist sig problemer med fugt (ydervægskonstruktion type 1). Der er altså et muligt problem, hvis temperaturen på dette sted bliver for lav, idet fugten så kan kondensere og forårsage skimmelsvamp. Dette uddybes nedenfor.

Mht. den ekstreme situation i huset, i perioden hvor der var indsat fugtmaskine og der ikke har været nogen form for ventilation, som der ellers altid vil være i en bolig, og forholdet mellem tæthed af inder- og yderside har været hhv. 1:1 og 1:10, kan vi se, at både ydervægskonstruk-

tion 1 og 2 fungerer fint. Vi kan dog endnu ikke med sikkerhed fastslå, hvilken betydning ventilation vil have i f.t. fugtsituationen i en diffusionsåben konstruktion. I praksis vil der jo altid være ventilation i en bolig, og vi ser frem til at få data også for dette, efter et år, hvor huset er beboet af en familie, der lever et almindeligt liv i huset fra 1.5.2018 og frem til sommeren 2019. Disse data vil vi på anbefaling fra TI ikke udtage nu, men først i sommeren 2019, når hele årets fugtbevægelser og eventuelle ophobninger i konstruktionen er registreret.

Det har altså vist sig, at der ikke er problemer med fugt, råd og skimmel, på nogen af de 32 måle-punkter, heraf 13 som især er i risikozonen for fugt, der er placeret ved ydervægskonstruktion type 1 og 2. Det viser således, at disse konstruktionsprincipper i Det Åndbare Hus med godt resultat kan håndtere fugt på op til 10 l/dag. Med den viden vi har i dag, kan vi således anbefale disse to ydervægskonstruktioner, mens vi ikke kan anbefale ydervægskonstruktion nr. 3.

De 10 liter fugt pr. dag svarer til den mængde fugt, der typisk produceres af en familie på 3-5 personer.<sup>12</sup> Dette er endog resultatet uden nogen form for ventilation. Disse foreløbige resultater viser således, at disse principper for diffusionsåbne konstruktioner tillader, at fugt svarende til det, som en familie på 3-5 personer producerer ved almindelig levevis, kan passere igennem konstruktionen.

Resultatet af disse målinger (år 3 fra sommer 2017 til sommer 2018) kan altså opsummeres således: To af de tre ydervægskonstruktioner, der er anvendt i Det Åndbare Hus, har håndteret den tilførte fugt godt. Det gælder det mere forventelige i type 1, hvor forholdet mellem Z-værdier på indersiden og ydersiden af konstruktionen er ca. 1:1 og ydersiden samtidig er isolerende. Og det gælder for type 2, hvor forholdet er ca. 1:10 og ydersiden er yderligere isoleret med strå. Dette er mere overraskende og giver os en interessant læring. Den tredje ydervægskonstruktion, hvor der ikke er monteret isolering udvendigt udenpå den kolde vindspærre, der består af et lag af rupløjede brædder, og hvor den udvendige diffusionsmodstand er højere end den indvendige, har der derimod vist problemer med ophobning af fugt.

Vi vil i det følgende gå i dybden med de detaljerede data fra TI's rapport. Denne påpeger i høj grad de svagheder i konstruktionen, som også er nævnt ovenfor. Rapporten fokuserer således i sin anbefaling på, at der er et enkelt målepunkt, hvor træfugten er højere end anbefalet og hvor TI vurderer, at der kan opstå fugtskader på sigt.

TI beskriver indledende, at formålet med målingerne og dermed baggrunden for rapporten er: "Der ønskes en optegning af fugtvariationen i konstruktionen. Til dette er der de forskellige steder blevet installeret udstyr til registrering af temperatur og relativ luftfugtighed samt træfugt. Ydermere udføres der beregninger til bestemmelse af fugttransporten gennem konstruktionen. På baggrund af målte fugtniveauer udføres vurdering af risiko for evt. fugtskader i konstruktionen."

Citat s. 5 i rapporten

TI's vurdering er, jf. dialog på møde d. 4.2.2019, at op til 15 -18 % træfugt svarende til 75% RF er uproblematisk i vinterhalvåret, mens værdier på 18 -20 % træfugt, svarende til 85-90% RF er kritisk. Træfugt over det kritiske niveau er registreret flere gange ved målepunkt EVD30, der er placeret på ydervægskonstruktion nr. 3, altså med stor diffusionsåbenhed inde (gips/lør) men med lille ude (rupløjet gran) og uden isolering udvendigt uden på vindspærren.

---

<sup>12</sup> Bolius: 1 person producerer 2 l fugt/dag fra personen + 2 l /dag fra aktiviteter som vask osv. - dvs. 4 l i alt. Energitjenesten: en familie på 4-5 personer producerer 8,5 l væske pr. dag. Vores konklusion: Op til 10 liter pr. dag svarer til fugtproduktion fra 3-5 personer.



TI skriver:

"De målte værdier for træfugt ved henholdsvis undertag og vindspærre ligger omkring de 11-15 vægt-%, hvor målepunkterne ved den indvendige beklædning generelt ligger under 10 vægt-%. For målepunkt 30, i Figur 21, ses der en væsentlig højere værdi på generelt 20 vægt-% i vinterperioderne, dog med højere værdi i vinteren 17/18."

citat fra s. 24 i rapporten

TI rejser i forlængelse heraf spørgsmålet, om situationen på længere sigt vil udvikle sig negativt, så der kan opstå problemer med fugt. De vurderer desuden, at indeklimaet i Det Åndbare Hus de første to vintre ikke viser et retvisende billede. EVD medgiver, at det ikke var hensigtsmæssigt med denne forsinkelse, der som sagt skyldes forhold, der ikke vedrører projektet. TI påpeger:

"Ud fra Figur 8, Figur 11 og Tabel 2 kan det ses, at fugttilskuddet til indeklimaet har været begrænset i de første to vintre, hvormed det først er i vinteren 2017/18, at der har været et fugttilskud på størrelsesorden med det dimensionerede. Dermed vurderes det, at de første to år i måleperioden ikke kan lægges til grund for vurdering af konstruktionernes robusthed. Der ses tydeligt højere værdier for den relative luftfugtighed i samtlige konstruktioner for vinteren 2017/18 i forhold til de første to vintre. Det samme kan ses i Figur 17, hvor MRD-indekset<sup>13</sup> er stigende fra starten af vinterperioden fra 1. oktober 2017 og frem. Det kan dermed vurderes, at fugtbelastningen til indeklimaet har en effekt på fugtvandringen ud i konstruktionerne."

Citat fra s. 25 i rapporten

TI påpeger videre, at dette målepunkt, EVD30, tyder på at fugt kan blive et problem over tid, og anbefaler undersøgelse ved destruktiv besigtigelse:

"Der er et målepunkt, EVD30, som generelt ligger med højere værdi for både relativ luftfugtighed og træfugt end de resterende punkter. Temperaturen i dette punkt er generelt lavere end de resterende punkter, se Figur 21 og Figur 28. Dette målepunkt er placeret midt på øst-facaden, dvs. den del uden elefantgræs som udvendig beklædning. Der er i Figur 31 vist forskellen mellem udetemperaturen og målepunkt EVD28, EVD30 samt EVD32. Det fremgår, at der i vinterhalvåret er større forskel mellem udetemperaturen og EVD28 samt EVD32 på 4-6 °C, hvor der for EVD30 kun er en forskel på 1-2 °C. Det vurderes dermed, at den udvendige beklædning med elefantgræs har en isolerende effekt på henholdsvis undertag og vindspærre."

Citat fra s. 25 i rapporten

Det er altså de dele af konstruktionen, der ikke er beskyttet af en udvendig isolering i form af elefantgræs/strå eller isolering med træfiberplade (Homatherm), som TI anbefaler særlig opmærksomhed på. TI peger i forlængelse heraf på, at diffusionsmodstanden i den indvendige beklædning er betydeligt lavere (ca. 10 gange) end de rupløjede brædder, som er anvendt til undertag og vindspærre i facaderne. De anbefaler, at dette forhold nærmere skal være omvendt – med størst diffusionsmodstand i den indvendige beklædning.

Men ydervægskonstruktion nr. 1, hvor der er monteret en Homathermplade udvendigt og gips indvendigt viser at Homathermpladen på 40 mm er ca. lige så diffusionsåben som to gipsplader – og der er ikke nogen problemer med fugt i denne konstruktion.

---

<sup>13</sup> MRD (Mould Resistance Design) er en model, der vurderer risikoen for mikrobiologisk vækst, når klimaet varierer

TI vurderer desuden:

"Ydermere er det Teknologisk Instituts vurdering, at der – hvor fugtniveauet midt på den østvendte facade og dermed også den nederste del af begge facaderne, hvor der ikke er elefantgræs – er en høj risiko for fugtrelaterede skader i form af skimmelsvampevækst og trænedbrydende svampe. En risiko, som kan øges over tid. "

citat fra rapporten s. 26.

Samtidig vurderer TI, at de dele af facaden, der er beklædt med henholdsvis Homatherm og elefantgræs, der udgør en udvendig efterisolering, ikke er ligeså udsat for fugt. Dette fører til Teknologisk Instituts konklusion:

"På baggrund af konstruktionsbeskrivelsen, de målte data og ovenstående analyse er det Teknologisk Instituts konklusion, at der på trods af det begrænsede fugttilskud og den begrænsede fugtbelastning af indeklimaet kan være en høj risiko for fugtrelaterede skader ved undertag og vindspærre, specielt i områder uden udvendig monteret elefantgræs eller Homatherm som vindspærre. Det er derfor Teknologisk Instituts anbefaling, at der foretages en destruktiv besigtigelse af disse områder. "

Citat fra s. 27 i rapporten

Egen Vinding og Datter har d. 4.2.2019 foretaget en sådan foreløbig destruktiv besigtigelse. Denne viste ikke synlige tegn på fugt eller skimmelsvamp ved målepunktet EVD30. Men en prøve af det rupløjede bræt, der har været monteret udenpå målepunktet, er blevet analyseret for skimmelsvamp af TI, se bilag 3 855743: Granbræt. Jf. denne analyse var der massiv forekomst af såvel sporer, som hyfer/mycelier/vækst.

Dette er opsigtsvækkende og vigtig viden, som betyder at vi må konkludere, at der er problemer med ophobning af fugt ved denne type ydervægskonstruktion (type 3). Dette skyldes formentlig, at den varme luft, der via diffusion bevæger sig gennem klimaskærmen, kondenserer når den møder den kolde vindspærre i form af rupløjede granbrædder. Her kan det forhold, at den udvendige diffusionsmodstand er måske 10 gange højere end den indvendige, også spille en rolle.

Vi konstaterer, at hvis der var et sted, hvor konstruktionen var mest udfordret, og der kunne vise sig problemer med fugt, så var det her. Dette er en vigtig læring fra evaluering af konstruktionen af Det Åndbare Hus: Da der ikke er fundet fugt på andre målepunkter, er det vores konklusion, at årsagen skal findes i, at vindspærren her er udført som en kold flade af rupløjede brædder uden yderligere isolering udvendigt. Dette vil vi følge fremadrettet, hvor vi desuden ønsker at lave ekstra målepunkter på den øst- og vestvendte facade på de steder, hvor der ikke er isoleret med strå yderst. De ekstra målepunkter skal blandt andet bruges til at afdække om problemet er generelt, og til at afprøve forskellige løsninger.

EVD konkluderer på baggrund heraf, at det ser ud til, at fugt i størrelsesordenen op til 10 l/dag kan flyttes via diffusion gennem konstruktionen. Derved kan diffusionsåbne konstruktioner bidrage til at mindske behovet for ventilation. Der er dog behov for at følge udviklingen i Det Åndbare Hus over en længere årrække for at dokumentere situationen, dels når en familie bor i huset og der foregår almindelig ventilation gennem åbning af døre og vinduer, samt brug af aftrækskanaler og ventilationsskorsten, dels ændringer over tid, f.eks. ændringer i isoleringsværdi af beklædning med elefantgræs.

Der er behov for at følge risikoen for fugt især i de dele af facaden, der ikke er beskyttet af udvendig isolering i form af elefantgræs eller træfiber isolering, men også i det hele taget. EVD ønsker at fortsætte med målinger, herunder montering af ekstra målepunkter i disse dele af

konstruktionen. Endelig er der grund til at revurdere og evt. undersøge brug af indvendig beklædning med lavere diffusionsmodstand end i det udvendige materiale nærmere. Vi mener således der er behov for at undersøge følgende temaer:

1. Den såkaldte tommelfingerregel om forholdet mellem Z-værdier inde og ude på 1:10 bør testes med forskelligt materialevalg, og med forskellig kombination i f.t. Z værdier inde og ude, samt i kombination med andre faktorer som hvorvidt den yderste del af konstruktionen er isolerende eller kold, og i hvilket omfang materialet i det yderste element i klimaskærmen er en "pludselig" hindring for varm og fugtig luft, en hindring i form af høj Z-værdi kombineret med lejlighedsvis kulde på denne hindring. Den "pludselige" hindring kan være beton, brændte mursten eller et træbræt, hvor karrenes retning går på tværs af dampens bevægelsesretning.

2. I hvilket omfang vil en dampbremse på indersiden af klimaskærmen begrænse diffusionen?

### 3.1.2 Målinger af tæthed

Vi har desuden fået foretaget en Blowerdoor test af Det Åndbare Hus. Testen blev foretaget i efteråret 2016 og viser, at tætheden i Det Åndbare Hus er på 0,8 l/s pr. m<sup>2</sup> og dermed overholder kravet i BR 2015 (max. 1 l/s pr. m<sup>2</sup>). Vi har opnået dette uden anvendelse af fugemasser, udover lidt til glasskorstenen, og uden anvendelse af dampspærre og dampbremse. I stedet har vi tætnet med konstruktive metoder, f.eks. ved at montere gipspladerne forskudt. Vi har desuden tapet gipssamlingerne i de indvendige hjørner.

### 3.1.3 Afgasning fra materialerne

Teknologisk Institut har også målt på luftkvaliteten i Det Åndbare Hus. De samlede resultater findes i rapporten "Luftkvalitet i Det Åndbare Hus" dateret d. 27.9.2018. Rapporten omhandler målinger af indeklimaet i Det Åndbare Hus i perioden 9.11. 2015 - 20.11.2017. TI har dels målt på lugt, hvilket sker ved sensoriske målinger, hvor der udtages en luftprøve og et panel på 20 personer derefter vurderer lugten. De har desuden målt på indholdet af en række kemiske stoffer ved en række målepunkter i selve huset. Herved har vi fået viden om luftkvaliteten i huset ift. afgasning af flygtige organiske forbindelser som f.eks. aldehyder. Der er dog et spørgsmål om luftskiftet i huset, der har været lavere end forventet, som betyder at nedenstående resultater desværre ikke kan anses for helt retvisende.

Det skal indledende slås fast, at EVDs hensigt er at bygge huse, som mennesker ikke tager skade af at bo i. Fra mange byggematerialer er der i dag problemer med afgasning af -uønskede stoffer, der gælder bl.a. kemiske fugemasser akrylmaling, gulvbelægning og bindemidler.<sup>14</sup> I Det Åndbare Hus har vi valgt byggematerialerne ud fra bl.a. et kriterie om, at disse forventedes at afgive lave eller ingen afgasninger. Målingerne viser dog, at der er nogle uventede problemer med forholdsvis høje afgasninger af alifatiske aldehyder, alkaner, terpener, organiske syrer og 'sum af andre Cyclo-/ iso-alkaner' Vi formoder at disse afgasninger stammer fra bl.a. træ, linolie og muligvis kombinationen af linolie og ler, samt linolie og træ.

Parallelt med målingerne i Det Åndbare Hus er der fundet høje værdier for afgasning fra naturmaterialer som linolie og træ i en undersøgelse i forbindelse med Realdanias projekt Sunde boliger, der tyder på, at der er behov for at undersøge dette nærmere. Se nedenfor i afsnit 3.1.5 om behov for yderligere undersøgelser.

<sup>14</sup> Se Miljøstyrelsen, 2016: Uønsket kemi i bæredygtigt byggeri <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/09/978-87-93529-11-3.pdf> og Miljøstyrelsen 2018: Kortlægning af kemiske stoffer i forbrugerprodukter <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/09/978-87-93710-77-1.pdf> samt Realdania: Sunde boliger Appendix A, 2019, se bilag 5

### 3.1.4 Fravær af andre stoffer

Vi har screenet de byggematerialer, der er anvendt i Det Åndbare Hus for at undgå uønskede stoffer, og det var derfor forventet, at indholdet heraf ville være lavt. Vi har bl.a. undgået konserveringsmidler baseret på isothiazolinoner (MCI, MI, BIT mv.) der er allergifremkaldende og som man finder i f.eks. akrylmaling og andre vandbaserede produkter.

Da der ikke er taget højde for sammenligning med afgangning fra byggematerialer i andre byggerier i de test Teknologisk Institut har udført i Det Åndbare Hus, har vi forsøgt at supplere med andre undersøgelser til at underbygge dette. En risikoscreening af byggematerialer og produkter, der bruges i byggeriet, har således vist, at der blev fundet 49 stoffer, "som blev vurderet som klasse 3 stoffer (de røde) i én eller flere kategorier svarende til stoffer, der kan give miljø- eller sundhedsmæssige uønskede effekter i byggeri." Samme kilde påpeger, at "Maling og lak, bindemidler, fyldstoffer og byggematerialer er blandt de mest kritiske anvendelser, idet der heri findes det største antal forskellige uønskede stoffer." Dette opsummeres i rapporten "Uønsket kemi i bæredygtigt byggeri."<sup>15</sup>

Vi har i projektet bl.a. haft fokus på maling, og på at undgå fugemasse og andre produkter med indhold af uønskede stoffer. En sammenlignende undersøgelse af den naturmaling, der er brugt i Det Åndbare Hus, og en konventionel akrylmaling viser således, at indholdet af TVOC C6-C16 er væsentligt lavere i naturmaling. Hverken akrylmalingen eller linoliemalingen havde aldehydafgasninger. Samme rapport viser også, at der i nogle tilfælde er en negativ kombinationseffekt f.eks. når linolie påføres fyrretræ eller linoliemaling påføres OSB-plade.<sup>16</sup> Disse kombinationseffekter er meget interessante, og kan måske være med til at forklare resultaterne i Det Åndbare Hus. Vi vil efterfølgende meget gerne bidrage til at undersøge dette nærmere.

### 3.1.5 Uventede stoffer der bør undersøges nærmere

Målingerne i Det Åndbare Hus har således helt uventet vist, at der er en meget høj koncentration af alifatiske aldehyder i indeklimaet. Vi ved ikke med sikkerhed, hvor disse stoffer stammer fra. En mulig kilde som TI påpeger er linolien, og en anden mulighed kunne være køkken-elementerne eller limen i etagedækket.

Der er også fundet formaldehyd, som er det eneste stof, der i Danmark findes en anbefalet grænseværdi for i indeklimaet. De målte koncentrationer i Det Åndbare Hus ligger dog under grænseværdien og bør jf. Teknologisk Institut ikke give problemer.

Der er desuden fundet en afgangning af aldehyder og organiske syrer, som er flygtige organiske forbindelser, der bemærkes ved deres lugt og irritative egenskaber. Da der ikke findes grænseværdier eller retningslinjer for andre stoffer end formaldehyd i Danmark, har TI foretaget vurderingerne på baggrund af tyske vejledninger for indeklimakvalitet.

Endelig er der fundet meget høje værdier for bicykliske terpener. TI påpeger, at disse kan stamme fra fyrretræ. Der er anvendt fyrretræ til de massive elementer, der udgør den 20 cm tykke massive etageadskillelse, som både omfatter loft i stueetagen og gulv på 1. sal, samt trappe, halvægge på 1. sal, mv.

De sensoriske tests viste, at lugten i første omgang blev vurderet som uacceptabel. Det handler formentlig om lugten af linolie, som var meget kraftig i de første måneder. Efter en måned

<sup>15</sup> Miljøstyrelsen, 2016: Uønsket kemi i bæredygtigt byggeri, s. 6

<sup>16</sup> Realdania: Appendix A til rapporten Sunde Boliger: Afgangning fra byggematerialer i No Tech, 2019

(fra d. 9.11. – 9.12.2015) var lugten jf. disse tests dog faldet til et acceptabelt niveau, og opfylder kravet fra Dansk Indeklima Mærkning.

TI vurderer på s. 10 i rapporten samlet set indholdet af flygtige organiske forbindelser (TVOC) som problematisk:

"På baggrund af den seneste måling vurderer vi, at huset ikke er egnet til længerevarende ophold som f.eks. beboelse, da der er risiko for, at personer kan opleve helbreds-mæssige gener ved længerevarende ophold i huset under de konstaterede forhold. Det er primært forekomst af aldehyder, terpener, organiske syre og sum af andre Cyclo-/iso-alkaner i høje koncentrationer samt den samlede koncentration (TVOC), som ligger til grund for denne vurdering. Det skal dog bemærkes, at en forøgelse af luftskiftet til et niveau svarende til krav i Bygningsreglement fra 2015 (BR2015), vil reducere koncentrationen af kemiske stoffer i rumluften. Det er uvist om et øget luftskifte vil kunne forbedre luftkvaliteten tilstrækkeligt."

Rapporten skriver videre om disse målinger på s. 9:

"Koncentrationen af acetaldehyd overskred under 1. måling de tyske sundhedsmyndigheders anbefalede værdi på 100 µg/m<sup>3</sup> med målte koncentrationer 130 og 142 µg/m<sup>3</sup> på hhv. stueeta-gen og 1. salen. Koncentrationen af acetaldehyd faldt dog til under den anbefalede værdi ved de sidste målinger. Ved 5. måling blev den laveste koncentration målt på 28 µg/m<sup>3</sup>. Stoffet er mistænkt for at være kræftfremkaldende i henhold til IARC (International Agency for Research on Cancer).

Koncentrationen af C9-C14 iso-alkaner lå væsentlig over den anbefalede værdi på 200 µg/m<sup>3</sup> indtil den sidste måling, hvor koncentrationen var faldet til 161 µg/m<sup>3</sup>.

Summen af mættede, acykliske, alifatiske, C4-C11 aldehyder lå ved de første målinger meget højt og med en samlet koncentration på 221 µg/m<sup>3</sup> ved den sidste måling er den anbefalede værdi på 100 µg/m<sup>3</sup> fortsat overskredet. Linolieprodukter er kendt for at kunne afgasse høje koncentrationer af mættede aldehyder, og det vurderes derfor, at linolieprodukterne er en væsentlig kilde til de fundne koncentrationer.

Summen af bicykliske terpener er stort set uændret i måleperioden, og koncentrationen ved sidste måling (5. måling) lå på 466 µg/m<sup>3</sup>, hvilket ligger langt over den anbefalede værdi på 200 µg/m<sup>3</sup>. Fyrretræ er kendt for at kunne afgasse høje koncentrationer af terpener.

Den samlede koncentration af VOC (TVOC) overskrider de tyske sundhedsmyndigheders anbefalede værdier ved samtlige målinger. Ifølge Teknologisk Institut og de tyske sundhedsmyndigheder anses summen af koncentrationer af kemiske stoffer (TVOC) på over 1000 µg/m<sup>3</sup> for værende problematiske, og over 3000 µg/m<sup>3</sup> for meget problematisk. Den anbefalede TVOC-værdier på 3000 µg/m<sup>3</sup> bør ikke overskrides i rum beregnet til længere tids ophold. TVOC-koncentrationen ved sidste måling (5. måling) på 4431 µg/m<sup>3</sup> er selv efter to år fortsat langt over 3000 µg/m<sup>3</sup>.

En stor andel af TVOC-koncentrationen kommer af den høje sum af andre iso/cyklo alkaner, som stort set er uændret hen over perioden på 2 år. Desuden er summen af terpener ligeledes uændret i perioden. "

Det skal dog understreges, at ingen af disse resultater overskrider danske vejledninger eller lovgivning.



Men hvis man sammenholder med de anbefalede værdier i Tyskland, så er der en række overskridelser af de anbefalede værdier. Det er uventet at disse overskridelser er så markante og det giver anledning til at påpege et behov for yderligere undersøgelser.

En 6. måling, der blev gennemført af Teknologisk Institut d. 13.5.2019 viser, at afgangningen af uønskede stoffer i indeklimaet i overensstemmelse med vores forventning nu er faldet til et acceptabelt niveau.<sup>17</sup> TI konkluderer:

"Samlet vurdering: På baggrund af den seneste måling vurderer vi, jf. de tyske myndigheders vejledende værdier, at huset nu er egnet til længerevarende ophold som fx beboelse, og at der ikke længere er øget risiko for, at personer kan opleve helbredsmæssige gener ved længerevarende ophold i huset.

Tidligere var det primært forekomst af aldehyder, terpen, organiske syrer og cyclo/isoalkaner i høje koncentrationer samt den samlede koncentration (TVOC), som lå til grund for at huset, jf. de tyske myndigheders vejledende værdier, ikke kunne anbefales til længerevarende ophold som fx beboelse. Det vurderes at det er et øget luftskifte samt en med tiden reduceret afgangning som er årsagen til de lavere koncentrationer ved sidste måling.

Teknologisk Institut, 6.6.2019: Luftkvalitet i Det Åndbare Hus" s. 11

I forbindelse med Det Åndbare Hus er det fremadrettet interessant at undersøge, dels hvordan det forholder sig i andet nybyggeri, som et sammenligningsgrundlag, dels at overveje og undersøge, hvad der er årsagen til de høje værdier for VOC, der er fundet i indeklimaet i Det Åndbare Hus.

### 3.1.6 Problem med for lavt luftskifte

Luftskiftet har i en del af perioden desværre været for lavt. På s. 4 i TIs rapport 'Luftkvalitet i Det Åndbare Hus' (bilag 4) påpeges således:

"Luftskiftet blev under sidste måling målt til at være langt under kravet i Bygningsreglement fra 2015 (BR2015)."

TI har målt luftskiftet to gange under hhv. 1. og 5. måling. Første måling viste et luftskifte på  $0,4 \text{ h}^{-1}$ , som blev vurderet som OK, mens anden måling viste et luftskifte på  $0,1 \text{ h}^{-1}$ , der er meget lavt. Kravet til luftskifte i bygninger til beboelse er i dag på min.  $0,3 \text{ l/s pr. m}^2$ . (BR2018) ( $\text{h}^{-1}$  svarer til  $\text{l/s pr. m}^2$ ). Det er ikke påvist, hvor længe luftskiftet har været så lavt, da der ikke er lavet luftskiftemåling mellem 1. og 5. måling.

Tilstedeværelsen af uønskede stoffer er ikke forårsaget af det lave luftskifte, men er forårsaget af materialeafgasning. Manglende ventilation kan være årsagen til, at tilstedeværelsen repræsenteres som høje koncentrationer.

Mht. udluftning har det undervejs i projektet været EVDs opfattelse, at denne skulle være minimal for at skabe en ekstrem situation – så vi kunne måle på en 'worst case situation' i f.t. at måle på, hvor meget fugt, der kan diffundere ud gennem klimaskærmen, når der ikke er ventilation i bygningen. Derfor var alle aftrækskanaler og ventilationsåbninger lukket til fra måleperiodens start pr. 1.11.2015. D. 9.11.2015 blev luftskiftet målt til  $0,4 \text{ h}^{-1}$ , og vurderet som OK. Vi har derfor ikke øget udluftningen, før der ved 5. måling d. 20. november 2017 blev konstateret

---

<sup>17</sup> Se bilag 8

et meget lavt luftskifte på 0,1 h<sup>-1</sup>. TI har efterfølgende kommenteret, at de ikke har været bekendt med denne opfattelse.

Aftrækskanaler og alle ventilationsåbner var således proppet til i hele periode – frem til 1.6.2018 af hensyn til fugtmålingerne. Det er selvsagt ikke en situation, der almindeligvis vil forekomme, og det er derfor uheldigt i f.t. at kunne sammenligne mængden af afganginger i Det Åndbare Hus med afganginger i et benchmark hus.

### 3.1.7 Hvad kan forklare disse måleresultater

Den første luftkvalitetsmåling d. 9.11.2015 anses for at være et worst case scenarie. På det tidspunkt havde gulvet i stueetagen været færdigbehandlet med linolie i en uge. Teknikrum, bad og glashus var endnu ikke færdigbehandlet og dørene til disse rum blev holdt lukkede. Der er udtaget luftprøve både i stueetagen og på 1. sal.

Resultaterne af denne måling er interessant, da den viser hvilke stoffer og dermed hvilke problemstillinger, der er i indeklimaet i huset. EVD formoder, at de afganginger, der er fundet her, primært stammer fra kombinationen af ler og linolie, som er anvendt på lergulvet, samt fra afganging fra træ. Dette var ventet, men afgangingens varighed er længere og kraftigere end forventet.

En hypotese er, at afgangingen af aldehyder kan være højere, når linolie anvendes på ler, da leren virker som en inhibitor, der forlænger hærdningsperioden, i f.t. hærdning når linolie bruges på træværk. Vores hypotese er således at der skal gå længere tid, måske 2-3 uger mellem hver lag linolie, der lægges på lergulvet, for ikke at lukke et lag uhærdet olie inde, som vil fortsætte afganging i længere tid. Vores forventning på forhånd var, at kurven for afganging ville falde hurtigt og derefter flade ud – og i løbet af 28 dage ville afgangingen fra linolien være uproblematisk. Det var tilfældet mht. lugt, men mht. indhold af flygtige organiske forbindelser har det taget længere tid. Hertil kommer at de høje afganginger af terpener kan skyldes afganging fra fyrretræ, der er anvendt dels i den 20 cm tykke etageadskillelse dels til trappe, halv-vægge på 1. sal mv. Endelig formoder vi, at det lave luftskifte er en medvirkende årsag til de høje værdier for afganginger.

En ny undersøgelse fra Realdania projekt 'Sunde boliger' har vist tilsvarende resultater. De har ved efterfølgende undersøgelser af fyrretræ behandlet med linolie fundet at (s. 6):

"...Det ses tydeligt, at kombinationen medfører langt flere flygtige organiske stoffer. VOC'erne er gjort op i specifikke værdier. Stoffer som 2-Butenal og Limonen ser ud til at blive forsegleet fuldt eller i nogen grad. Andre stoffer, som 2-Pentenal og 1-Butanol, kunne ikke måles i træ eller linolie hver for sig, men blev målt ved kombination (markeret NY KEMI). Nogle stoffer blev forstærket op mod en faktor 5,5 (Hexanal). Samlet set forekom der en stigning i både VOC'er og aldehyder på henholdsvis 20% og 24%, så vi ser altså en negativ kombinationseffekt. ..."

Ved test i klimakammer af en OSB plade behandlet med linoliemaling, fandt de (s. 7):

"Linoliemaling og OSB-Plade blev indledningsvist testet hver for sig og efterfølgende i kombination. Resultaterne i nedenstående tabel ligner i nogen grad det man så ovenfor ved træliste af fyrretræ + linolie. Ved kombination forekommer en masse processer som resulterer i både forsegling, forstærkning og ny kemi. Det understreges igen, at der i nedenstående tabel er tale om specifikke afganginger. Det er de færreste af stofferne som fortsætter afgangingen uændret. Linoliemalingen er generelt meget lidt afgassende i forhold til målbare VOC'er i intervallet C6-C16. De flygtige organiske stoffer, som kunne registreres ved måling af linoliemalingens afganginger alene, er alle lavere eller helt forsvundet ved kombination. Til gengæld er nogle

stoffer, såsom pentanal, hexanal, heptanal samt flere af aldehyderne fra OSB-pladen forstærket ved kombination. Det generelle billede viser en nedgang i samlede afganginger fra de to materialer, men desværre også en del uforudsete kombinationseffekter som kan have sundhedsmæssige konsekvenser i rette mængder. ” Se den fulde undersøgelse i bilag 5

### 3.1.8 Behov for videre undersøgelser

Dette projekt viser således i sammenhæng med projektet ”Sunde boliger” at der er behov for yderligere undersøgelser af afganging fra linolie og ikke mindst linolie i sammenhæng med andre materialer. Udover træ og træfiber, vil det være interessant i forlængelse af dette projekt at teste lergulv behandlet med linolie i et klimakammer.

Vi mener bl.a., at der er behov for følgende undersøgelser:

1. Test af lergulv behandlet med linolie i et klimakammer, dels hvor gulvet behandles 3 dage i træk og dels hvor det behandles 3 gange med 14 dage imellem. Derved vil vi kunne se om der er forskel i afgangingstiden og vurdere, om det er hensigtsmæssigt, at kunden evt. først flytter ind efter en periode hvor der kan ske en afganging til et ønskeligt niveau.
2. Andre har allerede lavet test af træ / linolie og træfiber og linolie. Der kan være behov for at gå yderligere i dybden med forskellige materiale kombinationer, da der har vist sig en række uventede effekter af de test, der er lavet p.t.
3. Opfølgende fugtmålinger for Det Åndbare Hus i 1-2 sæsoner mere, herunder etablering af 2-3 ekstra målepunkter placeret i ydervægge med konstruktionsprincip nr. 3, altså facader beklædt med thermoask og uden strå, og opført med stor diffusionsåbenhed inde (gips/ler) men med lille ude (rupløjet gran). Dette er allerede iværksat.
4. Erstatning af det rupløjede bræt i ydervægskonstruktion nr. 3 med en anden vindspærre. Dette er allerede iværksat.
5. Der er i forlængelse af dette projekt også behov for at finde frem til mere præcist, hvor meget ventilation, der er passende i relation til andre udfordringer, som ilt / CO<sub>2</sub>, radon, afganging og lugte. Nogle af disse ting indgår i projektet Tæt Væg som vi har fået delvis finansiering til fra MUDP og arbejder på at opnå fuld finansiering til snarest.

## 3.2 Radonmåling

Det er hængt radon tællere op i huset, som skal være der i 3 måneder. Disse giver en måling af radonniveauet i f.t. om radonspærren har den ønskede effekt. Udover egne indeklimamålinger har TI lavet radonmålinger, der sammenligner huse med naturlig passiv ventilation i f.t. huse med aktiv ventilation. Disse viser, at der ikke er problemer med radon i Det Åndbare Hus, og at huse med naturlig passiv ventilation kan være lige så effektiv i f.t. radon som aktiv ventilation.

Da der er mere ler i Det Åndbare Hus end i huse generelt, har vi overvejet også at måle på radon-isotopen Radon 222, der er et henfaldsprodukt af Torium. Herved ville vi kunne få noget at vide om, hvad det betyder, at man bygger ler ind i boligen. Men da halveringstiden af Radon 222 kun er 3,5 minut, og mængden af ler er begrænset (85-90 % af materialet er sand) har vi vurderet at det ikke er relevant.

## 3.3 Test og undersøgelser fra fase 2 – afsluttet i fase 3

### **3.3.1 Tryktest af lersten**

Vi har testet trykstyrken af vores lersten og fundet at denne er dobbelt så stor som Leca sten og gasbeton.

### **3.3.2 CE-mærkning af vinduer**

Vi har gennemført CE-mærkning af vores EVD Vindue.

### **3.3.3 Miljøegenskaber og LCA**

Vi havde planlagt at lave en gennemgang af miljøegenskaber og lave en LCA for følgende produkter: Naturmaling, lersten, vinduer, hør/hamp isolering. Efter dialog med DTU har vi valgt i stedet at lave en LCA af hele huset. En sådan LCA er gennemført af en studerende, men der var et problem bl.a. med CO<sub>2</sub> beregningen. Der er kommet rettelsesblad til dette men der er fortsat en række data som vi ikke finder tilstrækkeligt præcise og informerende. Da SBI i mellemtiden har udviklet et beregningsprogram LCA Byg har vi besluttet også at gennemføre en LCA vurdering på baggrund af de bedste tilgængelige data. Det vil vi arbejde videre med i forlængelse af dette projekt.

## **3.4 Følgegruppemøder og formidling**

### **3.4.1 Følgegruppemøder**

Vi har holdt seks gode følgegruppemøder. D. 21. februar og d. 26. august 2014, d. 21. januar 2015, d. 14. januar 2016, og d. 7. januar 2017, hvor følgegruppen var på rundvisning i Det Åndbare Hus, og bl.a. diskuterede indeklimamålingerne. Et afsluttende følgegruppemøde blev holdt d. 4.6.2018. Vi havde kun planlagt 3, men det har været værdifuldt for os at få direkte respons fra de gode folk i følgegruppen og vi ville gerne følge dette samarbejde helt til dørs.

### **3.4.2 Formidling, presse og åbent hus**

Vi har entereret med to unge kommunikationsfolk Jens Refsgaard og Jacob Friberg om at lave en spændende digital formidling af projektet. Den digitale side [www.detandbarehus.dk](http://www.detandbarehus.dk) var klar i forbindelse med indvielsen af huset. Denne formidlingsform er aftalt med følgegruppen, som alternativ til en trykt publikation og er blevet suppleret af foreløbig 13 nyhedsbreve.

Det Åndbare Hus blev indviet med maner d. 17.9.2015 med op mod 100 besøgende og med taler fra Dansk Byggeri, Realdania, Miljøstyrelsen, borgmesteren i Ringsted og os selv - Egen Vinding og Datter. Vi gjorde en del ud af pressearbejdet med flere pressemeddelelser og kontakter og fik en hel del omtale i forbindelse med indvielsen, herunder artikler i Ingeniøren, Bolius, Fagligt Fokus (BJMF), Dagbladet Ringsted – flere gange, Landsforeningens Økologisk Byggeris Nyhedsbrev, Realdanias hjemmeside (flere gange) A. P. Møllers hjemmeside, og på en række andre hjemmesider. Hertil kommer artikler på andre tidspunkter i forløbet bl.a. i Erhvervshåndbogen Grøn lov og praksis, Bygtek m.fl. – se også <https://egenvinding.dk/>

Vi har også fået omtale i regional TV på TV2 Øst flere gange, og Det Åndbare Hus er blevet omtalt på landsdækkende TV d. 4.10.2017 i programmet Hammerslag som et fagligt indslag med fokus på stråtaget, og d. 3.8.2018 hvor den familie, der er flyttet ind i Det Åndbare Hus, var med i God Aften Danmark.

Der har været kontakt til øvrige projekter under Program for Grøn Teknologi via netværksmøder og vi har fortalt om Det Åndbare Hus ved en række arrangementer bl.a. Building Green messen i 2014, 2015, 2016 2017 og 2018, på Landsforeningen Økologisk Byggeris årsmøde

2015, Dyrskuet i Roskilde 2015 m.fl. samt ved talrige rundvisninger, workshops, åbent hus mv. i Det Åndbare Hus. Der har været besøg fra bl.a. tegnestuer, boligselskaber, studerende, private bygherrer, kommunale medarbejdere, politikere, lærere og elever fra erhvervsskoler, arkitektskoler i ind- og udland, og foreninger som Rotary Roskilde, Sootimisterne Vestsjælland og Lolland Falster, Innobyg netværket, Realdania, Logik Klubben mv. Der har også været mange besøgende fra udlandet, bl.a. Tyskland, USA, England, Norge, Sverige, Italien, Spanien og Chile. Vores vurderer er, at der har været ca. 2800 besøgende i huset ind til dato, og der er fortsat mange henvendelser og stor interesse for at se og høre om projektet.

Vi har vi haft omkring 100 rundvisninger i huset, bl.a. var 43 lærere fra erhvervsskolerne på besøg og havde efterfølgende en workshop om undervisningsmateriale om principperne i byggeriet. Vi har også haft en hel del udenlandske besøgende bl.a. fra Tyskland, USA, England, Norge, Sverige, Italien, Spanien og Chile. Der kommer fortsat mange henvendelser fra bl.a. fagfolk, studerende, kommunale medarbejdere, politikere og privatpersoner, der gerne vil bygge huse.

Vi har holdt workshops med en gruppe håndværkere, da gulvet blev lavet og da vi lavede ventilationsskorstenen, samt om de øvrige ventilationsløsninger som ventilationsvinduer. Vi har også deltaget i flere konferencer om indeklima i regi af CISBO og på Buidling Green, hvor vi flere gange har holdt oplæg om Det Åndbare Hus. Et af disse kan findes på Youtube, hvor der også ligger film fra indvielsen af huset, se f.eks. her: [link](#) Vi har også lavet to små foldere, der er blevet delt ud bl.a. ved netværksmøder i regi af CISBO og ved indvielsen af Det Åndbare Hus. Vi er på trapperne med en publikation der opsummerer projektets resultater.

Erfaringerne fra Det Åndbare Hus har desuden været udgangspunkt for en ny undervisningsportal til erhvervsskolerne 'Bæredygtige alternativer i byggeriet' – se undervisningsportal her: <https://egenvinding.dk/>

En gang om måneden har vi holdt åbent hus – og dette gør vi forsat den første fredag i hver måned, hvor alle er velkomne til at komme og se huset.

## 4. Perspektiver for fremtiden

### 4.1 Formidling og udbredelse af erfaringer

De foreliggende resultater er allerede blevet formidlet via en omfattende formidlingsindsats. Det er vores håb og intention at vi kan fortsætte denne dialog med branchen, bygherrer og boligere, og at det vil føre til vækst i antallet af byggerier, der baserer sig på principper om diffusionsåbne konstruktioner og byggematerialer med minimal afgang – og som samtidig er lægger vægt på principper om livscyklusvurdering og ambitiøse hensyn til energi, miljø, sundhed, indeklima og arbejdsmiljø.

### 4.2 Er der behov for yderligere undersøgelser?

Vi har i projektet fået bekræftet en række af vores hypoteser om, hvordan fugt kan diffundere gennem en diffusionsåben konstruktion, og hvordan afgangningen til indeklimaet er fra forskellige byggematerialer. Vi er dog også blevet opmærksom på nogle udfordringer, som vi mener, der er behov for at arbejde videre med at teste og måle på.



Fugt rapporten fra TI peger på, at der på længere sigt måske vil kunne opstå problemer med fugt i konstruktionen, især i de dele af facaden, hvor der ikke er isoleret udvendigt med elefantgræs/strå eller træfiberisolering (Homatherm).

Ti's folk på sagen har desuden mundtligt påpeget, at der kan ske ændringer i fugtsituationen, hvis elefantgræsset ældes, der betyder, at det vil være vigtigt at måle også her over en længere periode.

Ti's anbefaling er derfor at indbygge flere målere i facaden, på de steder hvor der hverken er elefantgræs eller Homatherm – f.eks. ved at placere en ny måler nederst på østsiden og en nederst på vestsiden, samt en ekstra måler ved målepunkt EVD30, og følge disse over en år-række.

Ti anbefaler ligeledes at aflæse alle dataloggere igen i sensommeren 2019 så vi har et fyldestgørende billede af et år fra sommer til sommer.

Endelig anbefaler de at undersøge bevægelser og variation i ophobning af fugt over 7-8 år i alt for at blive klogere på risici for fugt i diffusionsåbne konstruktioner.

Dette kan med fordel suppleres med en fugtteknisk simulering som TI kan gennemføre på baggrund af de hidtil målte resultater.

Luft rapporten fra TI peger desuden på at der er behov for yderligere målinger. En sådan er gennemført d. 13.5.2019 og vi afventer p.t. resultaterne.

I forlængelse af dette ser vi et behov for at undersøge en række forhold nærmere.

I relation til fugt vurderer vi p.t. at der er behov for:

1. Opfølgende fugtmålinger for Det Åndbare Hus i 1-2 sæsoner mere, herunder etablering af 2-3 ekstra målepunkter placeret i ydervægge med konstruktionsprincip nr. 3, altså facader beklædt med thermoask og uden strå, og opført med stor diffusionsåbenhed inde (gips/ler) men med lille ude (rupløjet gran). Dette er allerede iværksat.
2. Erstatning af det rupløjede bræt i ydervægskonstruktion nr. 3 med en anden vindspærre som f.eks. en banevare. Dette er allerede iværksat.
3. Opfølgende fugtmålinger relateret til diffusion i f.t. andre faktorer som hvorvidt den yderste del af ydervæggen er isolerende eller den er kold, og hvorvidt det spiller ind om den yderste del af vægkonstruktionen er et træbræt med karrenes retning på tværs af dampens bevægelsesretning eller ej, da det sandsynligvis agerer anderledes i f.t. fugt end en Homatherm træfiberplade.
4. Der er i forlængelse af dette projekt også behov for at finde frem til mere præcist, hvor meget ventilation, der er passende i relation til andre udfordringer, som ilt / CO<sub>2</sub>, radon, afgang og lugte. Nogle af disse ting indgår i projektet Indvendig isolering, som vi har fået delvis finansiering til fra MUDP og som vi arbejder på at opnå fuld finansiering til snarest.
5. Den såkaldte tommelfingerregel om forholdet mellem Z-værdier inde og ude på 1:10 bør testes med forskelligt materialevalg, og med forskellig kombination i f.t. Z værdier inde og ude, samt i kombination med andre faktorer som hvorvidt den yderste del af konstruktionen er isolerende eller kold, og i hvilket omfang materialet i det yderste element i klimaskærmen er en "pludselig" hindring for varm og fugtig luft, en hindring i form af høj

Z-værdi kombineret med lejlighedsvis kulde på denne hindring. Den "pludselige" hindring kan være beton, brændte mursten eller et træbræt, hvor karrenes retning går på tværs af dampens bevægelsesretning.

6. I hvilket omfang vil en dampbremse på indersiden af klimaskærmen begrænse diffusionen?

Vedrørende afgang og lugt i Det Åndbare Hus vil vi gerne måle over en lidt længere periode og specielt måle på afgang og lugt fra lergulve, herunder:

1. Sammenhæng mellem ler og linolie, herunder test af lergulv behandlet med linolie i et klimakammer, dels hvor gulvet behandles 3 dage i træk og dels hvor det behandles 3 gange med 14 dage imellem. Derved vil vi kunne se om der er forskel i afgangstiden og vurdere, om det er hensigtsmæssigt, at kunden evt. først flytter ind efter en periode, hvor der kan ske en afgang til et ønskeligt niveau.
2. Test af træ behandlet med linolie i et klimakammer. Andre har dog allerede lavet test af træ /linolie og træfiber og linolie. Der kan være behov for at gå yderligere i dybden med forskellige materiale kombinationer, da der har vist sig en række uventede effekter af de test, der er lavet p.t.
3. Test af evt. alternativer, der kan substituere linolien.

Endelig er der i forlængelse af dette projekt behov for at finde frem til mere præcist, hvor meget ventilation, der er passende i relation til andre udfordringer, som ilt / CO<sub>2</sub>, radon, afgang og lugt. Nogle af disse ting indgår i projektet Tæt Væg som vi har fået delvis finansiering til fra MUDP og som vi arbejder på at opnå fuld finansiering til snarest.

Desuden vil vi gerne teste en røgvasker, der er planlagt som del af varmforsyningen i Det Åndbare Hus og som der er lavet forberedelser til i projektering og byggeri af huset.

Inspireret af resultaterne fra Det Åndbare Hus er vi allerede i gang med nye projekter om:

Indvending isolering af en diffusionstæt konstruktion (har opnået tilskud fra MUDP, vi afventer svar vedr. medfinansiering)

Videreudvikling af Moderne byggeri med ler, der omhandler tre nye produktlinjer: Pudsemørtel, Ler-letblokke og Finishlag til lergulv (har opnået tilskud fra MUDP, vi afventer svar vedr. medfinansiering)

### **4.3 Behov for justering af byggelovgivningen**

Bygningsreglementet stiller i dag krav om et luftskifte, som i praksis ikke kan klares med ikke-forceret ventilation. Kravet (2018) er, at der er et luftskifte på min. 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup> i bygninger til beboelse.

Hvis man i praksis ikke kan opfylde behovet for ventilation (til at håndtere fugt og til at tilvejebringe et fordelagtigt forhold vedrørende ilt CO<sub>2</sub> og uønskede stoffer) ved at bruge diffusionsåbne konstruktioner og ikke-forceret ventilation, fungerer det reelt som et krav om anvendelse af forceret (mekanisk) ventilation.

Målinger (Blowerdoor test) fra efteråret 2016 viser, at tætheden i Det Åndbare Hus er på 0,8 l/s pr. m<sup>2</sup> og dermed overholder kravet i BR 2018. Men resultatet sætter fokus på, at den tidligere varslede stramning af krav til tæthed i BR2020 på 0,5 l/s pr. m<sup>2</sup> ville være for stramt i relation til diffusionsåbne konstruktioner. Vi er derfor glade for at dette er taget af bordet og at tæthedskravet på 1 l/s pr. m<sup>2</sup> fastholdes.

Målinger fra Det Åndbare Hus viser desuden, at 7-10 liter vand pr. døgn bortledes fra indeklimaet via diffusion og de små utætheder, der trods alt stadig er med en tæthed på 0,8 l/s pr. m<sup>2</sup>.

I stedet for et absolut krav til luftskifte kunne BR stille funktionskrav til indeklimaets luftkvalitet og egenskaber som luftfugtighed, CO<sub>2</sub> indhold i luften og luftens indhold af generende og skadelige stoffer. Det ville gøre det muligt at skabe og fastholde et godt indeklima, når der bygges med materialer og konstruktioner, der er gode til at håndtere fugt og som er åbne for diffusion.

Det er vigtigt, at den fugt som beboerne i et hus producerer, kommer ud af huset uden at skabe fugtproblemer og skimmel og råd i indeklimaet og i konstruktionerne. Det er også vigtigt, at der ikke er for meget CO<sub>2</sub> i luften i en bolig, og at afgang fra bygning og inventar og lugte fra mad, toilet og lignende ventileres ud.

Vores ønske og anbefaling er derfor på baggrund af resultaterne i dette projekt, at indføre et funktionskrav, der skal handle om, at der skal skabes tilstrækkelig ventilation i et hus til, at det ikke giver problemer i indeklimaet. Det skal altså præciseres, at der ikke må være for meget fugt, men heller ikke for lidt fugt – da dette er u hensigtsmæssigt for indeklimaet og giver problemer med udtørring af menneskers slimhinder såvel som materialer, f.eks. gulve og inventar. Det skal præciseres i funktionskravet, at den samlede løsning skal holde en relativ luftfugtighed på ca. 40-60 % - evt. max. 65%.

Det kan med fordel præciseres, at der ikke er krav om et ventilationsanlæg, men at det skal kunne dokumenteres, at niveauet af den relative fugtprocent er passende, altså 40-45 % om vinteren og under 60-65 % – måske endda 70 % - om sommeren. Der kan også laves præcisering om et maksimalt niveau af CO<sub>2</sub> og en anbefaling om generel udluftning.

## 5. Referencer

Referencer er anført under de relevante afsnit samt i fodnoter.

## **6. Bilag**

- 6.1 Bilag 1 Projekttegninger**
- 6.2 Bilag 2 TI: Det Åndbare Hus. Vurdering af fugtmålinger, 31.10.2018**
- 6.3 Bilag 3 TI: 855743 Granbræt, 4.2.2019**
- 6.4 Bilag 4 TI: Luftkvalitet i Det Åndbare Hus, 27.9.2018, version 2**
- 6.5 Bilag 5 Realdania: Appendiks A til rapporten Sunde Boliger: Afgasning fra byggematerialer i No Tech, 2019**
- 6.6 Bilag 6 DTU: Taif Adel Adnan Alazzawi: Inventory analysis of the Breathable House, 2016**
- 6.7 Bilag 7 DTU: Taif Adel Adnan Alazzawi: The Breathable House, Inventory analysis, Defence of Bachelor thesis project, incl. corrections.**
- 6.8 Bilag 8 TI: Luftkvalitet i Det Åndbare Hus, 6.6.2019**
- 6.9 Bilag 9 Interviewguide til håndværkerinterview**



## Det Åndbare Hus

Det Åndbare Hus er Egen Vinding og Datters bud på, hvordan man kan løse udfordringer med klima, miljø og sundhed inden for byggeriet på en sammenhængende måde. Vores mål er at sikre et godt indeklima og et godt arbejdsmiljø, og samtidig undgå brug af uønskede kemiske stoffer.

Idéerne bag Det Åndbare Hus er udsprunget af vores erfaring om, at behovet for ventilation er meget mindre i et åndbart (diffusionsåbent) hus, der overholder tæthedskravene. Der er dog fortsat behov for ventilation til at sikre tilstrækkelig ilt, udluftning af CO<sub>2</sub>, lugte fra madlavning og andre gøremål i huset, samt afgangning fra materialer og indbo.

Ved at vælge byggematerialer og indbo med ingen eller meget lille afgangning af skadelige kemiske stoffer, er det vores målsætning, at skabe et rigtig godt indeklima og et sundt arbejdsmiljø. Et væsentligt tema i projektet er således luftkvalitet, som vi har fået målt på med fokus på afgangning af uønskede stoffer.

Projektet omfatter projektering og byggeri af et testhus, test og dokumentation af de metoder og materialer, der indgår i huset, udvikling af enkelte byggematerialer, gennemførelse af en livscyklusvurdering af byggeriet, og en række tiltag til formidling af den opnåede viden.

Den store interesse for projektet fra mange sider har bekræftet os i, at der er brug for sådanne miljø- og indeklimavenlige løsninger i byggeriet. Løsninger, hvor der tænkes i helheder og i gode lokale materialer, godt indeklima, godt arbejdsmiljø og bæredygtighed hele vejen rundt.

Projektets resultater er tankevækkende og viser, at der stadig er meget at lære.



Miljøstyrelsen  
Haraldsgade 53  
2100 København Ø

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)