



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Det Åndbare Hus Afsluttende rapport

MUDP rapport

August 2019

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Egen Vinding og Datter

Fotos: Egen Vinding og Datter ISBN:

978-87-7038-100-0

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

Forord	5
Konklusion	6
Sammenfatning	9
Summary and conclusion	14
1. Fase 1. Forundersøgelser og projektering	16
1.1 Følgegruppe og formidling til pressen	16
1.2 Projektering	16
1.3 Undersøgelse af afgangning 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 afgangning 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
2. Fase 2. Huset bygges, samt nyt om formidling, LCA håndværkererfaring	26
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
3. Fase 3. Test af hus uden beboere og formidling	31
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 Afgangning 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
4.	Perspektiver for fremtiden	45
4.1	Formidling og udbredelse af erfaringer	45
4.2	Er der behov for yderligere undersøgelser?	45
4.3	Behov for justering af byggelovgivningen	47
5.	Referencer	48
6.	Bilag	50
	Bilag 1A	50
	Bilag 1B	51
	Bilag 1C	52
	Bilag 1D	53
	Bilag 1E	54
	Bilag 1F	55
	Bilag 1G	56
	Bilag 2 TI: Det Åndbare Hus. Vurdering af fugtmålinger, 31.10.2018	57
	Bilag 3 TI: 855743 Granbræt, 4.2.2019	72
	Bilag 4 TI: Luftkvalitet i Det Åndbare Hus, 27.9.2018, version 2	74
	Bilag 5 Realdania: Appendiks A til rapporten Sunde Boliger: Afgasning fra byggematerialer i No Tech, 2019	109
	Bilag 6 DTU: Taif Adel Adnan Alazzawi: Inventory analysis of the Breathable House, 2016	118
	Bilag 7 DTU: Taif Adel Adnan Alazzawi: The Breathable House, Inventory analysis, Defence of Bachelor thesis project, incl. corrections.	156
	Bilag 8 TI: Luftkvalitet i Det Åndbare Hus, 6.6.2019	169
	Bilag 9 Interviewguide til håndværkerinterview	186

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 CO₂, 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 m². Vores konklusion er derfor, at man vha. sådanne diffusionsåbne konstruktioner kan håndtere fugt svarende til mindst én person pr. 30 m², 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 / CO₂-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.¹

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.

¹ 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 lergulvet 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.

Til 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."² 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 indeklimamærkning 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.³

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.

² Miljøstyrelsen, 2016: Uønsket kemi i bæredygtigt byggeri, s. 6

³ Realdania: 2019 Appendix A: til rapporten Sunde Boliger: Afgasning 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.⁴

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 linoliemaling 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.⁵

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. m². Dette kan med fordel i stedet stilles som funktionskrav, med krav til ilt/CO₂ 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

⁴Se bilag 8

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

viden om afgangning fra nogle af disse byggematerialer⁶, 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 CO₂ i byggeriet.⁷

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 ventilations skorsten, 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 CO₂ eq./m²/år, mens et referencehus har en klimapåvirkning på 7,32 kg CO₂ eq./m²/år.⁸ 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.

⁶ Se bilag 5

⁷ 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/>

⁸ 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 / CO₂, 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 reposen 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 ventilationsskorsten 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 m²/m³ svarende til f.eks. et gulv eller et bord og seks stole. Massiv fyr gav betragteligt større emissioner end de andre prøvede massive træarter.⁹

⁹ 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 fulddeklareres. 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 indeklimateknet.

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 indeklimateknet er af mere overskuelig karakter: det fraspalter eddikesyre, der har en meget frastødende lugt, men ellers er uproblematisk på det indeklimatekne 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, accelerato- rer, 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 oliehærningen 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 indeklimaet, 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 træpillefy. 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, høruld 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 CO₂ i bygningens levetid – på samme måde som træ i bygninger fungerer som et CO₂ lager og dermed bidrager til forsinkelse af udledning af CO₂.

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 opgravet 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 afgangning fra gips.

OSB plader

OSB plader har en afgangning, 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 afgangning.

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 afgangning 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 afgangning 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 afgangning. 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 CO₂, 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 fuge 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 brugerne.

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 hærdningen 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 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 CO₂ eq./m²/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 CO₂ 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 CO₂ eq./m²/år, mens et konventionelt referencehus har jf. bilag 6 en påvirkning på 7,4 kg CO₂ eq./m²/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 CO₂ eq./m²/år, mens referencehuset jf. bilag 7 har en klimapåvirkning på 7,32¹⁰ kg CO₂ eq./m²/år. Der er desuden lavet sammenligning med andre byggerier, som figuren¹¹ viser:

¹⁰ Vi kan ikke forklare hvorfor der er en forskel på referencehuset på 0,08 kg CO₂ eq./m²/år men betragter det som en afrundingsfejl. Her har vi blot citeret kilden

¹¹ 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.

Fleere 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 CO₂ 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 m². 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 rupløjede 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 ruopløjede 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 forholdsvist 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. ruopløjede 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.¹² 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/ler) men med lille ude (rupløjet gran) og uden isolering udvendigt uden på vindspærren.

¹² 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-indekset¹³ 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 rufløjede 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.

¹³ 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 af-dække 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. m² og dermed overholder kravet i BR 2015 (max. 1 l/s pr. m²). 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.¹⁴ 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.

¹⁴ 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."¹⁵

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.¹⁶ 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 irriterende 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 terpen. 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, halvvægge 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

¹⁵ Miljøstyrelsen, 2016: Uønsket kemi i bæredygtigt byggeri, s. 6

¹⁶ Realdania: Appendix A til rapporten Sunde Boliger: Afgasning 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ med målte koncentrationer 130 og 142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på hhv. stueetagen 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ indtil den sidste måling, hvor koncentrationen var faldet til 161 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Summen af mættede, acykliske, alifatiske, C4-C11 aldehyder lå ved de første målinger meget højt og med en samlet koncentration på 221 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ved den sidste måling er den anbefalede værdi på 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket ligger langt over den anbefalede værdi på 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for værende problematiske, og over 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for meget problematisk. Den anbefalede TVOC-værdier på 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bør ikke overskrides i rum beregnet til længere tids ophold. TVOC-koncentrationen ved sidste måling (5. måling) på 4431 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ er selv efter to år fortsat langt over 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

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.¹⁷ 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) (h^{-1} svarer til 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

¹⁷ Se bilag 8

et meget lavt luftskifte på 0,1 h⁻¹. 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 afgangninger i Det Åndbare Hus med afgangninger 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 afgangninger, der er fundet her, primært stammer fra kombinationen af ler og linolie, som er anvendt på lergulvet, samt fra afgangning fra træ. Dette var ventet, men afgangningens varighed er længere og kraftigere end forventet.

En hypotese er, at afgangningen 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 afgangning i længere tid. Vores forventning på forhånd var, at kurven for afgangning ville falde hurtigt og derefter flade ud – og i løbet af 28 dage ville afgangningen 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 afgangninger af terpener kan skyldes afgangning 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 afgangninger.

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 linoiemaling, fandt de (s. 7):

"Linoiemaling 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 afgangninger. Det er de færreste af stofferne som fortsætter afgangningen uændret. Linoiemalingen 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 linoiemalingens afgangninger 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 / CO₂, 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 CO₂ 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 entreret med to unge kommunikationsfolk Jens Refsgaard og Jacob Friberg om at lave en spændende digital formidling af projektet. Den digitale side 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 bo-ligejere, og at det vil føre til vækst i antallet af byggerier, der baserer sig på principper om dif-fusionsåbne konstruktioner og byggematerialer med minimal afgangning – og som samtidig er lægger vægt på principper om livcyklusvurdering og ambitiøse hensyn til energi, miljø, sund-hed, indeklime 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 forskel-lige 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 elefant-græs/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 læn-gere 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 fyldest-gørende 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 andenvindspærre 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 / CO₂, 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 / CO₂, 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.

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 lærgulv (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. m² 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 CO₂ 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. m² 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. m² 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. m² 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. m².

I stedet for et absolut krav til luftskifte kunne BR stille funktionskrav til indeklimaets luftkvalitet og egenskaber som luftfugtighed, CO₂ 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 CO₂ i luften i en bolig, og at afgangning fra bygning og inventar og lugte fra mad, toilet og lignende ventileres ud.

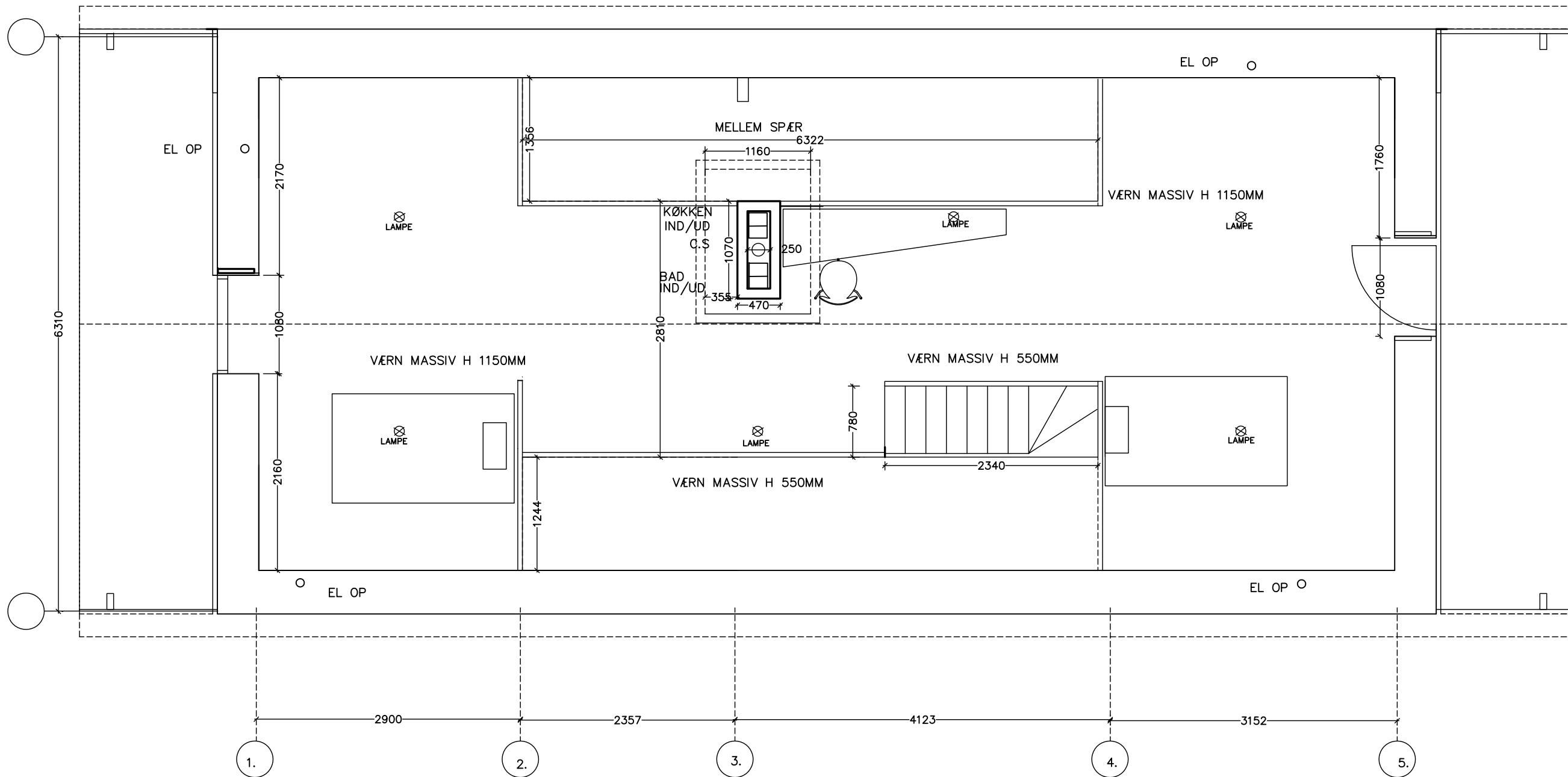
Vores ønske og anbefaling er derfor på baggrund af resultaterne i dette projekt, at indføre et funktionskrav, der skal handle om, at der skal skabes tilstrækkelig ventilation i et hus til, at det ikke giver problemer i indeklimaet. Det skal altså præciseres, at der ikke må være for meget fugt, men heller 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 CO₂ og en anbefaling om generel udluftning.

5. Referencer

Referencer er anført under de relevante afsnit samt i fodnoter.

Bilag 1A



ALLE VÆRN 51MM TYKKELSE

DET ÅNDBARE HUS

Emne : 1 SALS PLAN

Sags nr :

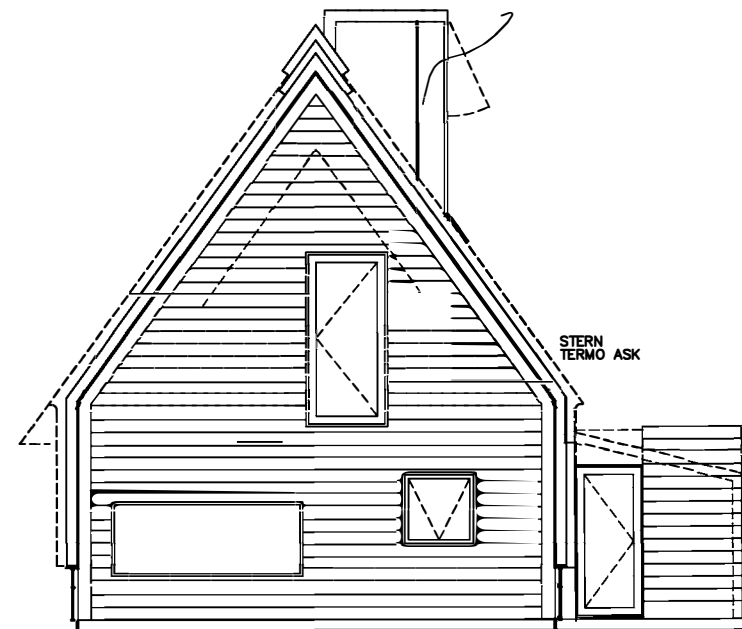
Tegn. nr. :

Dato : 10.04.15

Mål : 1:50

Arkitekt: HOUSEARKITEKTER Ryesgade 19A .2200 Kbh.N. tlf.: 28356470. e-mail: soeren.b@house-arki.dk

Bilag 1B



FACADE NORD

GRAN

VINTERHAVE

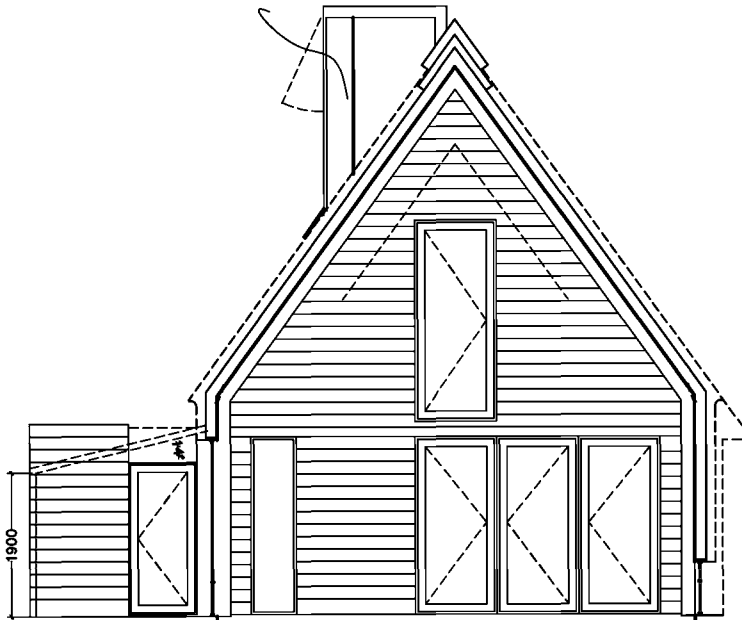
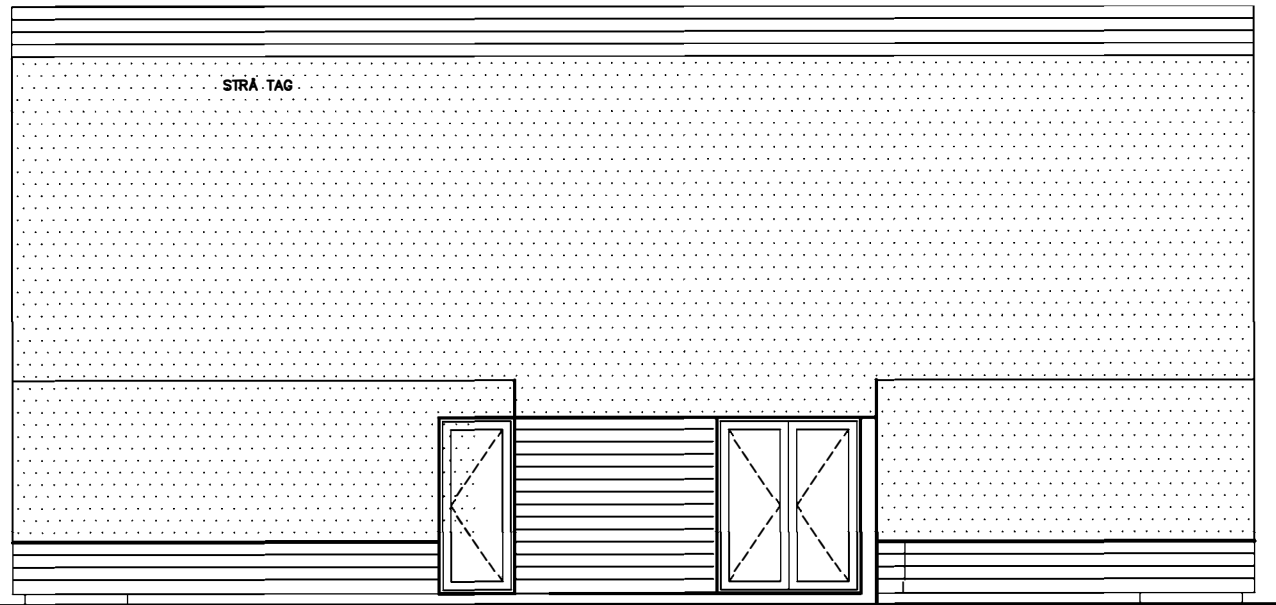
TERMO ASK

STRÅ TAG

TERMO ASK

TEK. MÅL

FACADE ØST



FACADE SYD

RUGPLØJET GRAN(FRØSLEV)
BÅNDSAVET
B. 50,100,125MM T. 250G27MM
TÆT SAMMEN BLANDET

NDVENDIG MÅL

TERMO ASK
MØELVEN 763

STRÅ TAG

TERMO ASK
MØELVEN KLINK 360

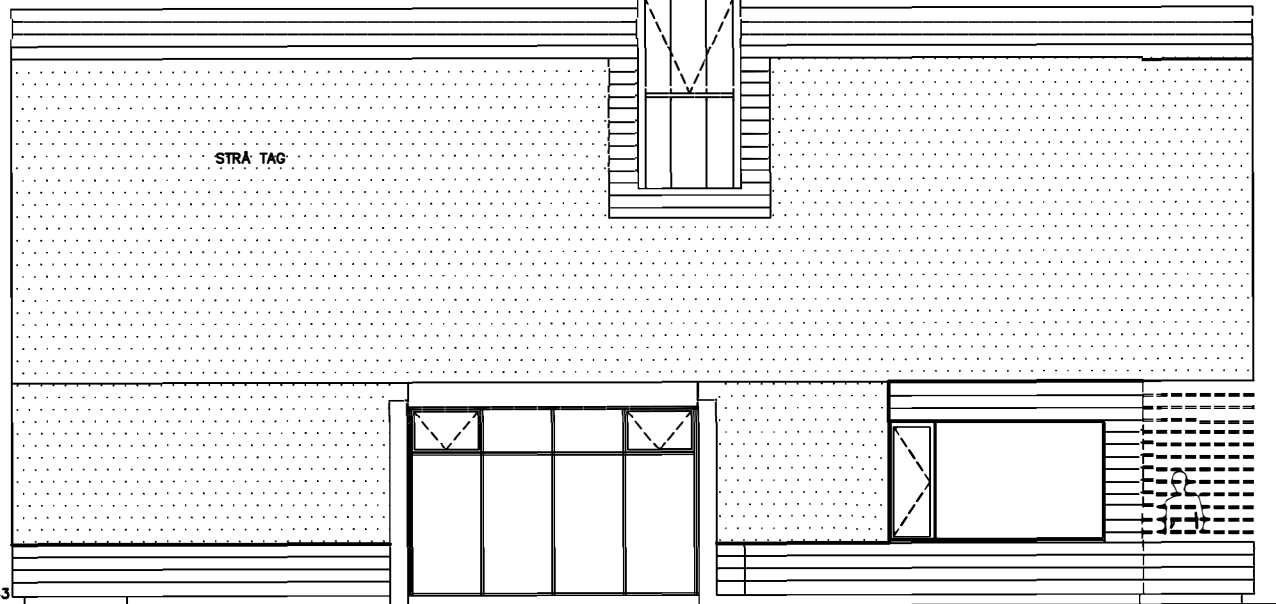
DRIVHUS MØRGRÅ SPROSSER

3850

TEK. MÅL

DELVIST ÅBEN ESPALIER

FACADE VEST



DET ÅNDBARE HUS

Erme : FACADER

Sags nr :

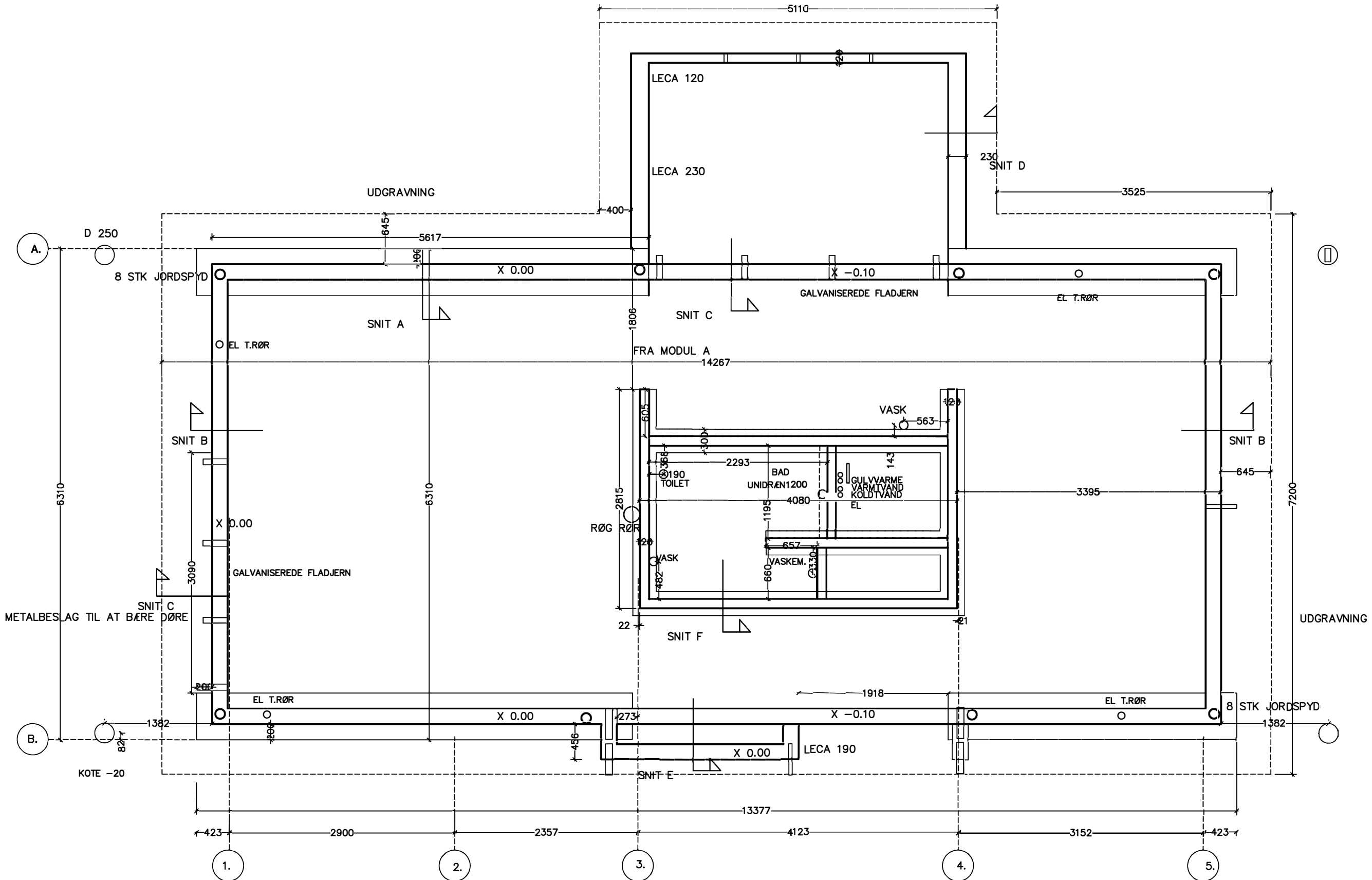
Tegn. nr. :

Dato : 10.04.15

Mål : 1:100

Arkitekt: HOUSEARKITEXTER Ryeagade 19A .2200 Kbh.N. tlf.: 28356470. .e-mail: soren.b@house-arki.dk

Bilag 1C



ALT RØRFØRING EVD

DET ÅNDBARE HUS

Emne : FUNDAMENTSPLAN

Sags nr :

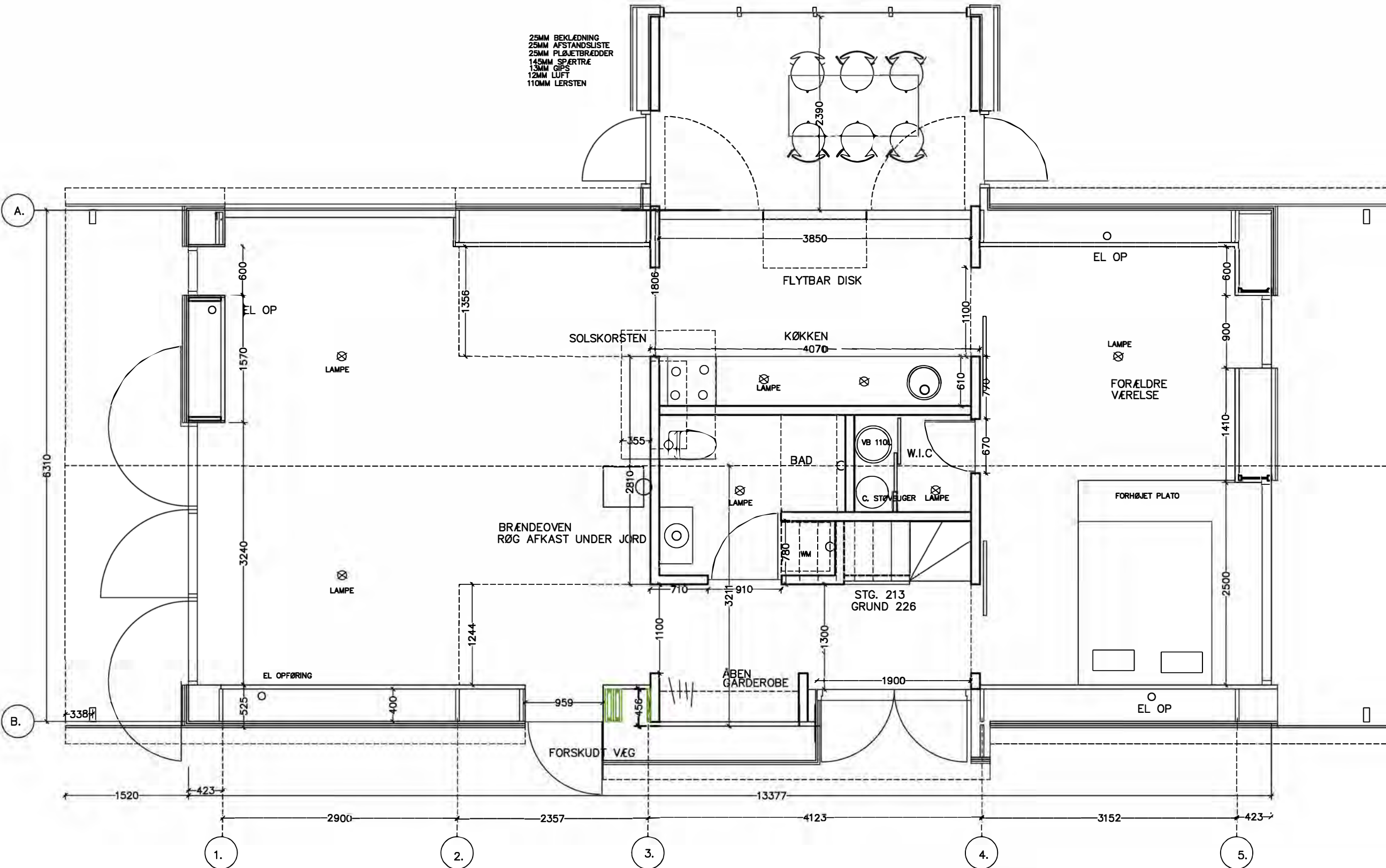
Tegn. nr. :

Dato : 10.04.15

Mål : 1:50

Arkitekt: HOUSEARKITEKTER Ryesgade 19A .2200 Kbh.N. tlf.: 28356470. .e-mail: soren.b@house-arkl.dk

Bilag 1D



STUEPLAN 86M2
 FØRSTESAL 60M2
 IALT 146 M2
 VINTERHAVE 11M2

FORELØBIG

DET ÅNDBARE HUS

Emne : STUEPLAN

Sags nr :

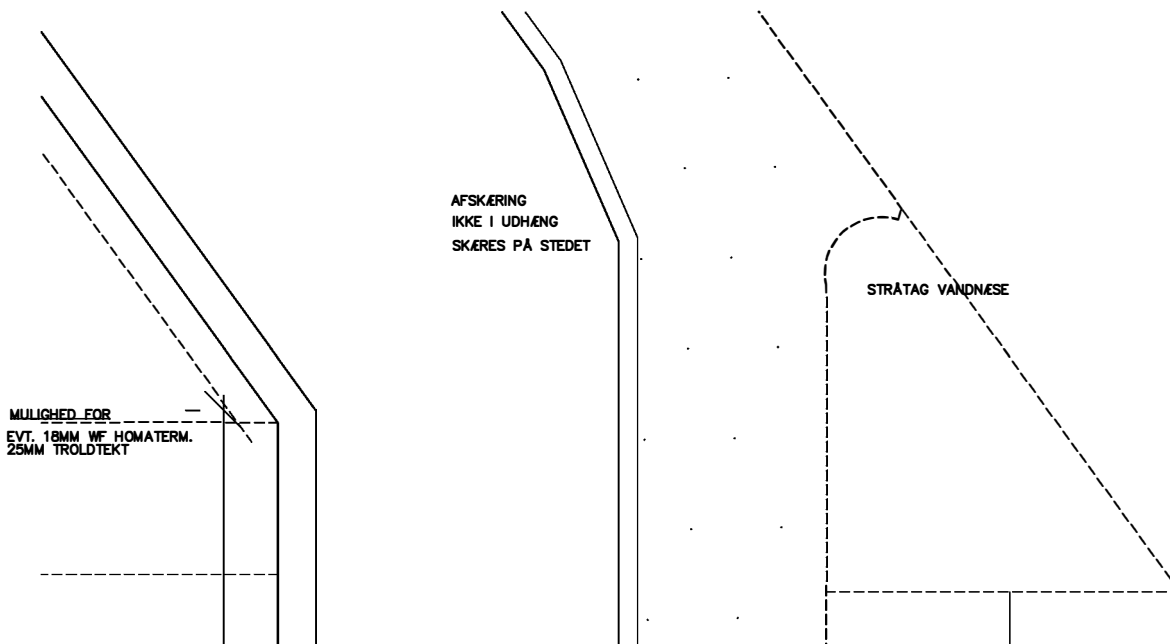
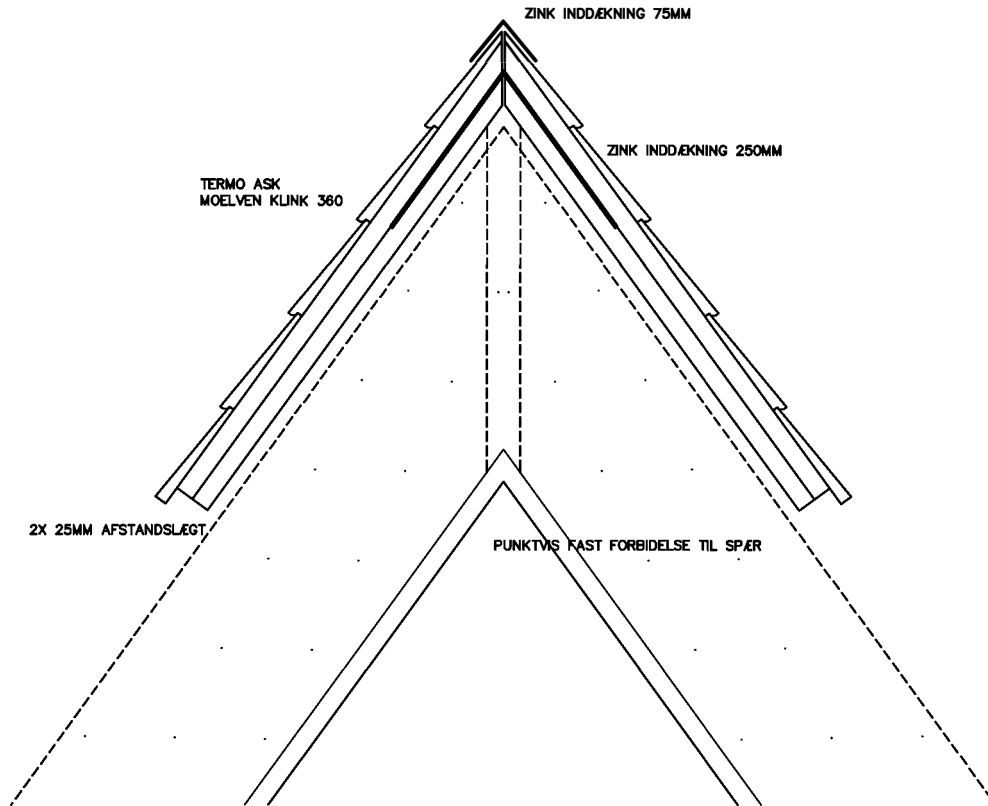
Tegn. nr. : 2

Dato : 10.04.15

Mål : 1:50

Arkitekt: HOUSEARKITEKTER Ryesgade 19A .2200 Kbh.N. tlf.: 28356470. e-mail: soren.b@house-arki.dk

Bilag 1F



DET ÅNDBARE HUS

Emne : TAGRYG
TAGFOD

Sags nr :

Tegn. nr. :

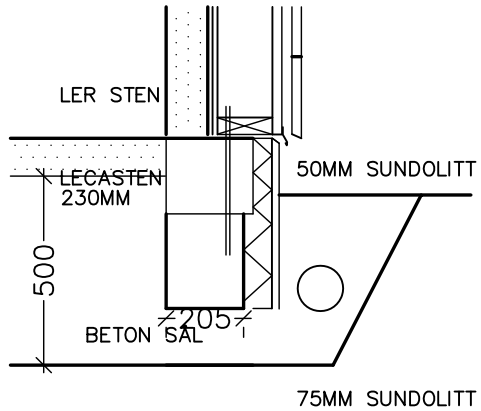
Dato : 26.02.15

Mål : 1:10

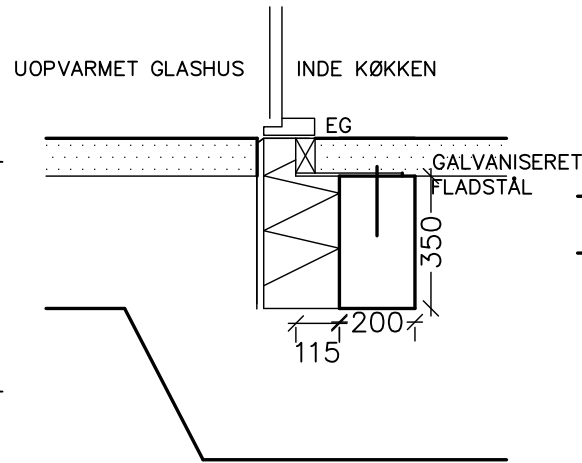
Arkitekt: HOUSEARKITEKTER Ryesgade 19A .2200 Kbh.N. tlf.: 28356470. .e-mail: soeren.b@house-arki.dk

Bilag 1G

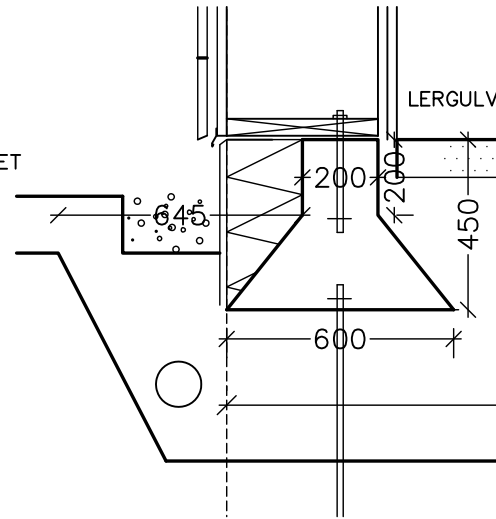
UOPVARMET GLASHUS



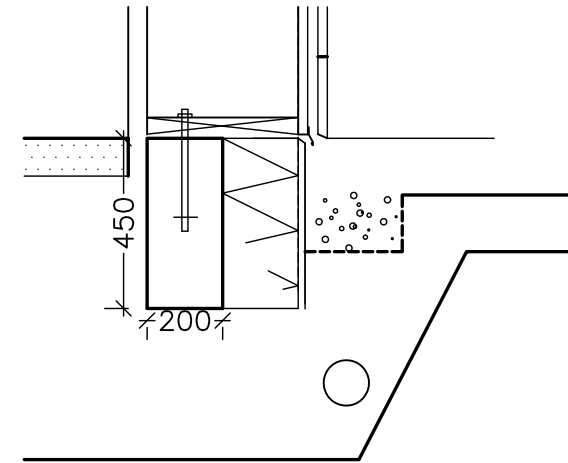
SNIT D



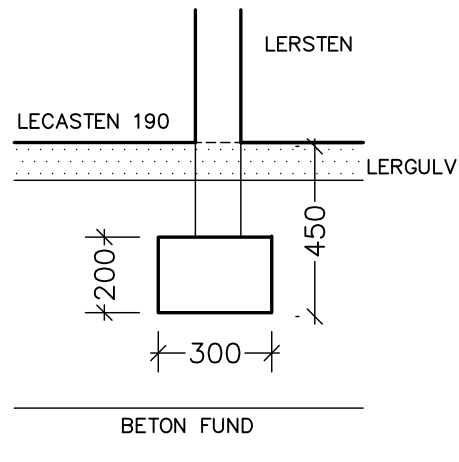
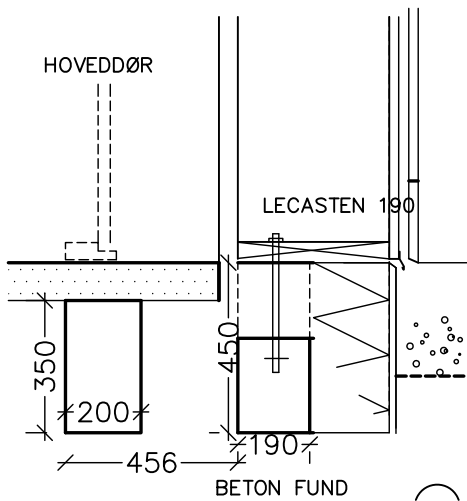
SNIT C



SNIT A



SNIT B



DET ÅNDBARE HUS

Emne : FUNDAMENTSDETALJER

Sags nr :

Tegn. nr. :

Dato : 09.04.15

Mål : 1:50

Arkitekt: HOUSEARKITEKTER Ryesgade 19A .2200 Kbh.N. tlf.: 28356470. .e-mail: soren.b@house-arki.dk

Bilag 2

Luftkvalitet i Det Åndbare Hus

Egen Vinding og Datter ApS



Titel:

Luftkvalitet i Det Åndbare Hus

Rekvirent:

Egen Vinding og Datter
Att. Per Sørensen
Haslevvej 81
4100 Ringsted

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 4
2630 Taastrup
Tlf. 7220 2000
Byggeri og Anlæg
Bygninger & Miljø
Nadja Lynge Lyng
Lis Winther Funch

Sagsansvarlig: Nadja Lynge Lyng, tlf. 7220 1219, nal@teknologisk.dk

Kvalitetssikring: Anna Heebøll, tlf. 7220 1441, anhe@teknologisk.dk

Opgave nr.: 655256

Version nr.: 2

Dato: 27. september 2018

I version 2 er der foretaget følgende ændringer i forhold til version 1:

Per Sørensen er ændret fra Per Nielsen (side 4). Arealet på 146 m² er ændret fra ca. 100 m² (side 4). EVD Enterprise ApS og Energiens Hus ApS er ændret til Egen Vinding og Datter ApS på hhv. side 1, 2, 4 og 5.

Resultater af Institutets opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder fx vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag. Institutets navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionsekretariatet.

Indhold

Sammenfatning.....	4
1. Indledning	4
2. Formål	4
3. Beskrivelse af huset	4
4. Prøvningsmetoder.....	5
4.1. Sensorisk bedømmelse	6
4.2. Kemisk analyse	6
4.3. Prøveudtagningsbetingelser	7
5. Vurderingsgrundlag.....	7
6. Resultater og vurdering	8
6.1. Sensorisk bedømmelse	8
6.2. Kemisk analyse	8
6.3. Prøveudtagningsbetingelser	9
7. Samlet vurdering	10
Bilag 1: Sensorisk bedømmelse – Resultatoversigt	11
Bilag 2: Luftkvalitet - kemiske analyseresultater	13

Sammenfatning

Der er udført målinger af luftkvaliteten over en periode på 2 år siden huset blev opført. På baggrund af den seneste måling, udført d. 20. november 2017, vurderer vi, at huset ikke er egnet til længerevarende ophold som fx beboelse, da der er risiko for, at personer kan opleve helbredsmæssige 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. Luftsiftet blev under sidste måling målt til at være langt under kravet i Bygningsreglement fra 2015 (BR2015). Luftsiftet har typisk stor betydning for luftkvaliteten og det er muligt, at en forøgelse af luftsiftet til et niveau svarende til krav i Bygningsreglement fra 2015 (BR2015) vil reducere koncentrationen af kemiske stoffer i rumluften. Det er dog uvist om et øget luftsifte vil kunne forbedre luftkvaliteten tilstrækkeligt.

1. Indledning

Det Åndbare Hus er resultatet af et forskningsprojekt med det formål at bygge et hus af materialer uden dampspærre, hvor konstruktionerne kan fungere som fugtbuffer og hvor fugten kan diffundere gennem konstruktionerne uden risiko for, at der opstår skimmelvækst. Projektet er finansieret af Realdania. Teknologisk Institut er rekvireret til at udføre dokumentationsmålinger af fugtforhold og luftkvalitet i det færdige hus. Nærværende rapport omhandler luftkvalitetsmålingerne, som er udført efter aftale med Per Sørensen, Egen Vinding og Datter. Målingerne er udført af Lis Winther Funch, Thomas Witterseh og Nadja Lyng, Teknologisk Institut, Byggeri og Anlæg. Huset, der stod færdigt i 2015, er opført på adressen Haslevvej 81, Ringsted.

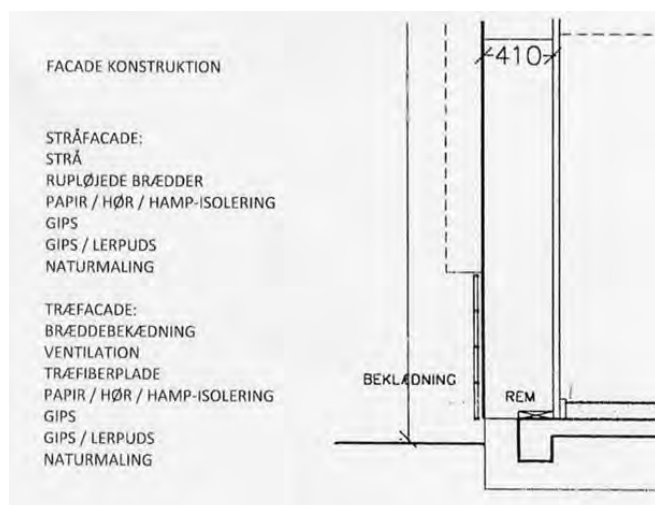
2. Formål

Formålet med undersøgelserne har været at bestemme luftkvaliteten i nyopført forsøgs-hus inden ibrugtagning. Bestemmelsen er foretaget ved både kemisk og sensorisk analyse.

Da der ved de første målinger i efteråret 2015 blev målt meget høje koncentrationer af kemiske stoffer, blev det besluttet at udvide målingerne med løbende dokumentation af luftkvaliteten. Nærværende rapport omhandler luftkvalitetsmålinger udført i det ubeboede hus over en 2-årig periode med i alt 5 målinger.

3. Beskrivelse af huset

Huset er beregnet til en familie med 1-2 børn. Huset har et boligareal på ca. 100 m².



De indvendige vægge udgøres af komprimerede lersten pudset med lerpuds og malet med naturmaling, hvilket er en linolie-maling udviklet af Energiens Hus ApS.

Gulvet i stueetagen er opbygget af ler og behandlet med linolie og bivoks. Seneste linoliebehandling er oplyst at være påført d. 2. november 2015. Der er i alt påført cirka 30 liter olie. Gulvet på første sal er et ubehandlet plankegulv i fyrretræ.

Lofterne i stueetagen er et glat bræddeloft i fyrretræ. På første sal er der loft til kip, og de skrå lofter er pudset og malet med naturmaling.

Vinduerne er af kernefyrretræ, som er sprøjtemalet 3 gange med linolie-maling. Indvendige døre er skydedøre udført i krydsfiner.

Køkkenet er et snedkerkøkken, hvor køkkenelementer er udført i massivt hårdt træ.

Skorstenen er muret i komprimeret lersten, pudset med lerpuds og efterfølgende malet med naturmaling.

Huset er ubeboet og umøbleret under hele måleperioden.

4. Prøvningsmetoder

Prøvningsmetoden er foretaget i henhold til "Dansk Selskab for Indeklima: Standard Test Method for Determination of the Indoor-Relevant Time-Value by Chemical Analysis and Sensory Evaluation, 3rd ed. 2005 og Prøvnings- og mærkningskriterier for huse, 1. udgave 2005 og Dansk Indeklima Mærkning "Indeklimamærkning af huse. Procedure for prøvetagning, 1. udg. 2006".

Der er foretaget øjebliksmåling af temperatur og luftfugtighed med elektronisk termometer/hygrometer, mærke Testo 435 under hver prøveudtagning.

Desuden blev luftskiftet målt med sporgas (R134a) efter henfaldsmetoden (Tracer gas decay method, ASTM standard E741-11). Metoden giver et samlet gennemsnitsluftskifte over 1-2 timer for hele huset. Henfaldet af R134a er målt med Brüel & Kjær Photo-acoustic Gas Analyzer, model 1302. Måling af luftskifte er udført to gange hhv. under 1. og 5. måling.

4.1. Sensorisk bedømmelse

Luft er udtaget i specialdesignet prøvechamber i 400 liters Tedlar-poser. Efter prøvetagningen er poserne lukket tæt, og de sensoriske bedømmelser er udført i laboratoriet dagen efter prøvetagningen.

Et utrænnet panel på min. 20 personer har bedømt intensitet og acceptabilitet af luften i prøvetagningsposen. Resultaterne fremgår af Bilag 1.

4.2. Kemisk analyse

Der er opsamlet luftprøver til analyse for flygtige organiske forbindelser (VOC'er) og aldehyder. Analysemetoderne følger internationale standarder og er egnet til at analysere VOC'er og aldehyder. Der opsamles luftprøver specifikt for aldehyder, da formaldehyd er det eneste stof, som der findes en grænseværdi for i Danmark (mere om dette i afsnit 5: Vurderingsgrundlag).

Luftprøverne er opsamlet ved at suge en kontrolleret mængde rumluft gennem opsamlingsmedier specifikke for de kemiske forbindelser. Luftprøverne til analyse af VOC'er udtages og analyseres som dobbeltbestemmelse. De anvendte pumper er af mærket GilAir Plus.

Opsamlingsmedium for:

Aldehyder:	DNPH-rør (C ₁₈ polymer, coated med 2,4-dinitrophenylhydrazin)
Flygtige organiske forbindelser (VOC'er):	Tenax TA

Aldehyder er efter eluering med acetonitril analyseret ved HPLC (væske kromatografi) med UV detektion i henhold til ISO 16000-3. Indoor Air – Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds – Active sampling method.

VOC'er er analyseret ved GC-MS i henhold til ISO 16000-6. Indoor Air – Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor air and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID. Kvantificering er udført på baggrund af kalibrering med rene referencestoffer. Denne anvendte metode dækker alene kemiske stoffer, der kan adsorberes på Tenax TA, og som kan desorberes termisk. De organiske stoffer, som er kategoriseret som meget flygtige (VVOC'er), er typisk underestimeret ved denne opsamlings- og analysemetode. De identificerede VVOC'er er markeret med <C6 i resultattabellen. Visse semiflygtige organiske stoffer (SVOC'er) detekteres ikke med denne metode.

4.3. Prøveudtagningsbetingelser

1. måling:

Udført d. 9. november 2015. Gulvet i stueetagen har været færdigbehandlet i en uge. Teknikrum, bad og glashus er endnu ikke færdige, og dørene blev holdt lukkede ind til disse rum. 1. måling anses for at være et "worst case" scenarie.

Der er foretaget måling af luftskiftet i hele huset i forbindelse med 1. måling. Luftskiftet er målt til $0,4 \text{ h}^{-1}$. Der er ved den første måling udtaget prøver både i stueetagen og på 1. sal. Der er udtaget luftprøve midt i stuen og i det nordvendte værelse på 1. sal. Temperaturen var på prøvetagningstidspunktet $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$ og luftfugtigheden 60% .

2. måling:

Udført d. 24. november 2015. Der er alene udtaget prøver i stuen. Temperaturen var på prøvetagningstidspunktet $21 \text{ }^\circ\text{C}$ og luftfugtigheden 55% .

Der er ved denne og efterfølgende målinger udelukkende udtaget prøver i stueetagen, og luften er opblandet ved hjælp af et antal ventilatorer placeret rundt om i huset under denne og de følgende målinger.

3. måling:

Udført d. 9. december 2015. Der er alene udtaget prøver i stuen. Temperaturen var på prøvetagningstidspunktet $24 \text{ }^\circ\text{C}$ og luftfugtigheden 45% .

4. måling:

Udført d. 15. februar 2016. Der er alene udtaget prøver i stuen. Temperaturen var på prøvetagningstidspunktet $20,5 \text{ }^\circ\text{C}$ og luftfugtigheden 45% .

5. måling:

Udført d. 20. november 2017. Der er alene udtaget prøver i stuen. Temperaturen var på prøvetagningstidspunktet $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ og luftfugtigheden 55% . Der er foretaget måling af luftskiftet i hele huset i forbindelse med 5. måling. Luftskiftet er målt til $0,1 \text{ h}^{-1}$.

5. Vurderingsgrundlag

Formaldehyd er det eneste stof, der i Danmark findes anbefalet grænseværdi for i indeklimaet. Den anbefalede øvre tærskel er $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Da vi ikke i Danmark har grænseværdier eller retningslinjer for andre kemiske stoffer end formaldehyd, er vurderingerne af luftkvaliteten foretaget på baggrund de tyske myndigheders: "Health and Environmental Hygiene, Guide values for indoor air quality" fra 29.04.2013 (<http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit>). Heri vurderes, at en samlet koncentration af alle kemiske stoffer mellem 300 og $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ er acceptabel og uden risiko for normalbefolkningen, under forudsætning af, at ingen af enkeltstofferne overskrider de anbefalede værdier. TVOC værdier i området 1000 - $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bør ikke overskrides i rum beregnet til længere tids ophold.

Guidelines for TVOC (her er ikke medtaget de kemiske stoffer, som er letflygtige (VVOC'er) og tungtflygtige (SVOC'er)):

Niveau	Koncentration [µg TVOC/m ³]	Hygiejnisk vurdering
1	≤ 300 µg/m ³	Ingen indvendinger
2	>300-1.000 µg/m ³	Ingen indvendinger, hvis ingen af de individuelle guidelineværdier er overskredet
3	>1.000-3.000 µg/m ³	Indvendinger af betydning
4	>3.000-10.000 µg/m ³	Alvorlige indvendinger
5	>10.000 µg/m ³	Uacceptabelt

Sensorikbedømmelserne er sammenholdt med kriteriet fra Dansk Indeklima Mærkning gældende i 2016. Her var kravet fra Dansk Indeklima Mærkning en acceptabilitet på minimum 0,1 og en intensitet på maksimum 2.

6. Resultater og vurdering

6.1. Sensorisk bedømmelse

Jf. det sensoriske panels bedømmelse i bilag 1 vurderes lugten i huset ved *1. måling* som værende uacceptabel (-0,33) og med moderat til stærk lugtintensitet (2,6). Kravet fra Dansk Indeklima Mærkning er en acceptabilitet på minimum 0,1 og en intensitet på maksimum 2.

Lugten bedømmes ved *3. måling* som værende acceptabel (0,3) og med svag lugtintensitet (1,2). Kravet fra Dansk Indeklima Mærkning er opfyldt, og herefter er der ikke udført sensoriske bedømmelser ved de følgende målinger. De enkelte sensoriske bedømmelser kan ses i bilag 1.

6.2. Kemisk analyse

Som beskrevet under formål var koncentrationerne af flygtige organiske forbindelser under den *1. måling* høje, og derfor blev målingerne gentaget flere gange for at følge udviklingen. Der blev målt flygtige organiske forbindelser sidste gang (*5. måling*) to år efter *1. måling*.

Den samlede koncentration af kemiske stoffer ligger for samtlige målinger væsentligt højere end hvad vi typisk måler i ikke mekanisk ventilerede boliger. Det samlede antal af identificerede stoffer for samtlige målinger er ligeledes højt i forhold til, hvad vi typisk måler.

Der er i luften blandt andet fundet aldehyder, umættede aldehyder og organiske syrer i meget høje koncentrationer. Det er overvejende sandsynligt, at de er afgangstoffer fra linolien. Aldehyder og organiske syrer er flygtige organiske forbindelser, der er karakteristiske ved deres lugt og irriterende egenskaber.

Desuden er der fundet meget forhøjede koncentrationer af andre Cyclo-/iso-alkaner. Det vides ikke, hvor disse forbindelser stammer fra.

Formaldehyd er det eneste stof, der i Danmark findes en anbefalet grænseværdi for i indeklimaet. Den anbefalede øvre grænseværdi er $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der er målt op til $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og de målte koncentrationer ligger derfor under grænseværdien og bør ikke give anledning til gener.

Koncentrationen af acetaldehyd overskred under *1. måling* de tyske sundhedsmyndigheders anbefalede værdi på $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ med målte koncentrationer 130 og $142 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på hhv. stueetagen 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 $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ indtil den sidste måling, hvor koncentrationen var faldet til $161 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Summen af mættede, acykliske, alifatiske, C4-C11 aldehyder lå ved de første målinger meget højt og med en samlet koncentration på $221 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ved den sidste måling er den anbefalede værdi på $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 terpen er stort set uændret i måleperioden, og koncentrationen ved sidste måling (*5. måling*) lå på $466 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket ligger langt over den anbefalede værdi på $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Fyrretræ er kendt for at kunne afgasse høje koncentrationer af terpen.

Den samlede koncentration (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 $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for værende problematiske, og over $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for meget problematisk. Den anbefalede TVOC-værdier på $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bør ikke overskrides i rum beregnet til længere tids ophold. TVOC-koncentrationen ved *5. måling* på $4431 \mu\text{g}/\text{m}^3$ er selv efter to år fortsat langt over $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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 terpen ligeledes uændret i perioden.

6.3. Prøveudtagningsbetingelser

Luftskiftet blev målt første gang under *1. måling*. På dette tidspunkt fremstod huset ikke helt færdigbygget, fx manglede der låsecylindere i yderdøre, og aftrækskanaler var åbne og uden spjæld. Luftskiftet blev dengang målt til $0,4 \text{ h}^{-1}$. Da luftskiftet blev målt igen under *5. måling* to år senere, blev luftskiftet målt til $0,1 \text{ h}^{-1}$. På det tidspunkt var aftræks-

kanaler lukket til, sandsynligvis for at kunne opretholde en luftfugtighed på 50 % i forbindelse med målinger af fugttransport i konstruktionerne. Tilførsel af udeluft (luftskiftet) har stor betydning for luftkvaliteten. Det vides ikke hvornår i løbet af de to år aftrækskanalerne er lukket til med et reduceret luftskifte til følge.

Der er fundet mindre udsving i de målte koncentrationer under de forskellige målinger, som kan forklares ved udsving i temperaturen, idet afgasning af kemiske stoffer stiger med stigende temperatur.

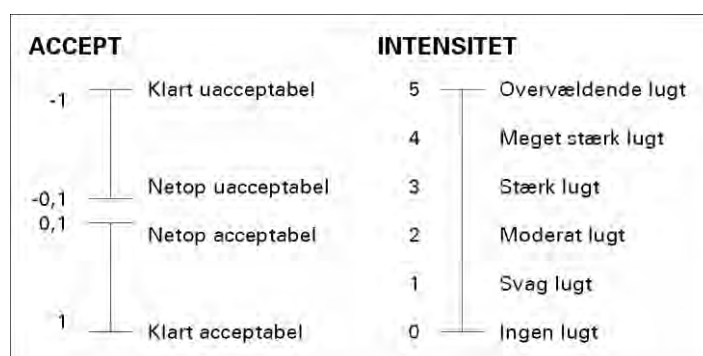
7. Samlet vurdering

På baggrund af den seneste måling vurderer vi, at huset ikke er egnet til længerevarende ophold som fx beboelse, da der er risiko for, at personer kan opleve helbredsmæssige 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.

Bilag 1: Sensorisk bedømmelse – Resultatoversigt

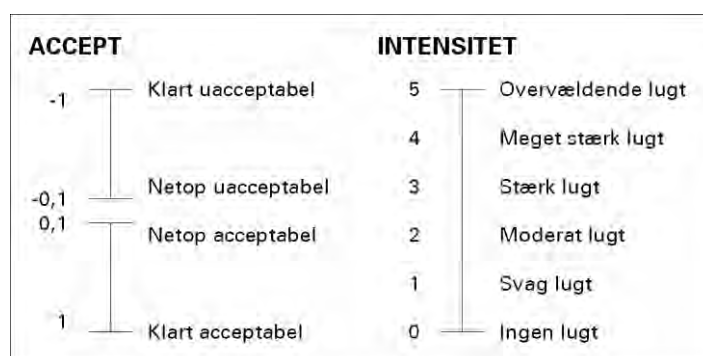
Prøve nr.: 655256 **Modtaget:** 09-11-2015 **Testdato:** 10-11-2015
Betegnelsen: Åndbare hus (LWF) **Ordre:** 655256
Kommentarer: Prøver opsamlet i Tedlarposer af BEKA, LWF 09-11-2015.
 Sensorik lufttester 10-11-2015

	Reference Accepterbarhed	Reference Intensitet	Prøve Accepter- barhed	Prøve Intensitet
1	0,95	0,2	-0,15	2,4
2	1,00	0,2	0,60	0,4
3	0,90	0,3	-0,75	3,1
4	0,15	1,3	-0,45	2,9
5	0,90	0,2	-0,10	1,6
6	0,90	0,5	-0,10	2,8
7	0,90	0,1	-0,65	2,8
8	1,00	0,0	0,10	2,0
9	0,10	1,0	1,00	0,0
10	0,95	1,0	0,40	2,0
11	0,80	0,8	-0,35	2,1
12	1,00	0,0	-0,15	2,9
13	0,85	0,4	-1,00	5,0
14	0,55	1,4	-0,90	3,5
15	-0,75	3,0	-0,95	4,8
16	0,95	0,1	-0,95	3,9
17	0,95	0,3	-0,35	2,5
18	1,00	0,1	0,10	2,5
19	1,00	1,0	-1,00	5,0
20	0,90	0,3	-0,30	1,5
Median	0,90	0,3	-0,33	2,6



Prøve nr.: 655256 **Modtaget:** 09-11-2015 **Testdato:** 10-12-2015
Betegnelse: Åndbare hus (LWF) **Ordre:** 655256
Kommentarer: Prøver opsamlet i Tedlarposer af TWI 09-12-2015.
 Sensorik lufttester 10-12-2015

	Reference Accepterbarhed	Reference Intensitet	Prøve Accepter- barhed	Prøve Intensitet
1	1,00	0,1	-0,30	2,3
2	0,85	0,9	-0,35	4,2
3	0,45	0,7	-0,20	2,3
4	0,90	0,1	0,30	0,8
5	0,90	1,0	0,55	1,2
6	1,00	0,0	0,90	0,7
7	1,00	0,0	-1,00	3,0
8	0,85	0,3	0,55	1,1
9	0,95	0,1	0,30	1,5
10	0,90	0,4	0,25	1,5
11	0,40	0,8	0,95	0,2
12	0,95	0,3	0,65	0,9
13	0,20	1,3	0,10	2,5
14	0,95	0,2	0,75	1,0
15	1,00	0,0	1,00	0,1
16	0,20	1,0	-0,30	1,2
17	1,00	0,0	-0,35	1,4
18	0,70	1,0	0,35	1,7
19	-0,20	1,9	-0,80	4,0
20	0,95	0,0	1,00	0,1
21	0,65	1,0	0,30	0,8
Median	0,90	0,3	0,30	1,2



Bilag 2: Luftkvalitet - kemiske analyseresultater

De identificerede komponenter er angivet i tabellen nedenfor som koncentrationer i $\mu\text{g}/\text{m}^3$

		Stue- etage 9/11-15	1. sal 9/11-15	Stueetage 24/11-15	Stue- etage 9/12-15	Stue- etage 15/2-16	Stueetage 20/11-17
ALDEHYDER							
Formaldehyd <C6	50-00-0	37	41	26	34	14	23
Acetaldehyd <C6	75-07-0	130	142	69	106	45	28
Propanal <C6	123-38-6	309	305	92	109	36	11
Propenal (Acrolein) <C6 (umættet)	107-02-8	5	5	-	-	-	-
Butanal <C6	123-72-8	24	28	15	16	16	13
trans-2-Butenal <C6 (umættet)	123-73-9	12	12	-	4	-	-
Pentanal	110-62-3	129	136	75	67	36	43
trans-2-Pentenal (umæt- tet)	1576-87-0	25	25	7	7	3	-
Hexanal	66-25-1	625	654	237	246	124	115
2-Furaldehyd	98-01-1	3	3	-	1	-	2
trans-2-Hexenal (umættet)	6728-26-3	7	7	-	4	2	-
Heptanal	111-71-1	40	40	21	24	12	12
trans-2-Heptenal (umæt- tet)	18829-55-5	16	15	3	-	-	-
Benzaldehyd (aromatisk)	100-52-7	5	5	3	-	2	6
Octanal	124-13-0	81	67	38	36	18	17
trans-2-Octenal (umættet)	2548-87-0	36	33	-	-	2	3
Nonanal	124-19-6	147	140	64	71	46	21
Decanal	112-31-2	10	10	-	-	6	-
KETONER							
Acetone <C6	67-64-1	211	193	107	180	104	62
2-Butanon (MEK)	78-93-3	-	-	10	302	7	4
2-Pentanon	107-87-9	8	8	6	5	2	2
2-Hexanon	591-78-6	3	3	-	-	-	-
2-Heptanon	110-43-0	9	8	6	4	2	4
Cyclohexanon	108-94-1	-	-	-	1	-	-
ALKOHOLER							
Ethanol <C6	64-17-5	17	16	-	21	-	-
2-Propanol <C6	67-63-0	5	5	4	-	8	-
n-Propanol <C6	71-23-8	47	36	17	15	-	3
n-Butanol	71-36-3	25	28	9	18	11	22
iso-Butanol	78-83-1	-	-	-	-	-	5
1-Penten-3-ol	616-25-1	39	39	12	9	2	-
n-Pentanol	71-41-0	58	62	33	25	12	31
1-Hexanol	111-37-3	32	31	14	11	4	-
1-Heptanol	111-70-6	10	9	3	-	-	-
Phenol (aromatisk)	108-95-2	3	2	-	-	-	-
n-Octanol	111-87-5	13	11	6	5	2	-
GLYCOL,-ETHERE,- ESTRE							
Methylacetat <C6	79-20-9	6	7	-	6	5	5
Styren (aromatisk)	100-42-4	-	-	-	-	-	2

		Stue- etage 9/11-15	1. sal 9/11-15	Stueetage 24/11-15	Stue- etage 9/12-15	Stue- etage 15/2-16	Stueetage 20/11-17
Dimethylstyren (aromatisk)	-	-	-	-	-	-	3
Ethylacetat	141-78-6	-	-	-	275-?	-	-
2-Methoxyethanol	109-86-4	3	2	-	-	-	-
1,2-Propandiol	57-55-6	16	9	-	14	-	-
Butylacetat	123-86-4	2	2	-	-	-	-
Butylglycol	111-76-2	11	12	-	5	-	11
Hexylenglycol	107-41-5	6	6	-	-	-	2
Styren (aromatisk)	100-42-4	-	-	-	-	-	2
Dimethylstyren (aromatisk)	-	-	-	-	-	-	3
A,2-Dimethylstyren (aromatisk)	26444-18-8	-	-	-	-	-	4
2-Phenoxyethanol	122-99-6	-	-	-	-	3	-
ALIFATISK KULBRINTER		-	-	-	-	-	-
n-Pentan <C6	109-66-0	-	-	-	21	9	-
Undecan (C11)	1120-21-4	8	9	-	-	-	-
Cyclopentan	287-92-3	-	-	-	-	4	-
Dodecan (C12)	112-40-3	52	60	41	33	12	1
Tridecan (C13)	629-50-5	198	230	146	200	91	32
Bicyclohexan	92-51-3	-	-	-	-	60	-
Tetradecan (C14)	629-59-4	220	258	185	268	135	128
Pentadecan (C15)	629-62-9	29	35	28	37	21	50
Hexadecan (C16)	544-76-3	2	3	-	3	-	8
Heptadecan (C17) >C16	629-78-7	1	1	-	-	-	-
AROMATISKE KULBRINTER							
Toluen	108-88-3	3	3	3	3	2	6
Ethylbenzen	100-41-4	-	-	-	-	-	15
M,p,-Xylener	1330-20-7	-	-	-	-	-	14
o-Xylen	95-47-6	-	-	-	-	-	6
TERPENER							
a-Pinen	80-56-8	280	300	230	335	285	273
Camphen	79-92-5	8	10	5	13	21	15
b-Pinen	18172-67-3	36	46	21	35	22	23
Myrcene	123-35-3	-	-	5	6	5	6
3-Caren	498-15-7	157	170	151	167	128	155
p-Cymene (aromatisk)	99-87-6	7	7	6	6	5	8
Limonen	5989-27-5	50	60	40	47	32	35
ORGANISKE SYRER							
Myresyre <C6	64-18-6	97	43	-	-	68	17
Eddikesyre	64-19-7	165	155	105	145	110	269
Propansyre	79-09-4	262	223	139	77	38	21
Butansyre (smørsyre)	107-92-6	21	19	10	10	7	6
Pentansyre	109-52-4	27	22	15	10	4	5
Hexansyre	142-62-1	214	145	54	56	15	16
2-Ethylhexansyre	149-57-5	14	8	-	-	-	-
Heptansyre	111-14-8	14	8	-	-	-	1
Octansyre	124-07-2	-	-	5	7	2	3
Nonansyre	112-05-0	-	-	-	-	-	2
ANDRE							
Trimethylsilanol <C6	1066-40-6	-	-	-	3	-	-
Fluorforbindelse	-	1	-	-	-	-	-
2-Ethylfuran	3208-16-0	18	16	-	7	4	-

		Stue- etage 9/11-15	1. sal 9/11-15	Stueetage 24/11-15	Stue- etage 9/12-15	Stue- etage 15/2-16	Stueetage 20/11-17
2-Butylfuran	4466-24-4	-	-	-	2	-	-
n-Pentylfuran	3777-69-3	13	14	7	7	-	5
Hexamethylcyclotrisiloxan	541-05-9	2	3	2	4	-	3
Octamethylcyclotetrasiloxan	556-67-2	-	-	-	-	-	2
Decamethylcyclopentasiloxan	541-02-6	6	4	-	5	4	-
Sum andre Cyclo-/iso-alkaner (Både VOC og SVOC)	-	3530*	4123*	3533*	4366*	2665*	2980*
Sum andre Siloxaner	-	10	10	-	-	-	-
Sum andre C4-Benzener	-	4	4	4	3	1	5
Sum andre Terpener	-	12	12	2	15	15	24
Sum andre uidentificeret	-	27	19	-	5	-	-
Sum af VOC'er	-	900	833	330	515	305	162
Sum af VOC'er		6752*	7343*	5284*	6521*	3984*	4431*
Sum af SVOC'er		1	1	<1	206	<1	28

VVOC: Meget flygtige organiske stoffer <C6

VOC: Flygtige organiske stoffer C6-C16

SVOC: Tungt flygtige organiske stoffer >C16

* Resultaterne kan være højere, idet der er større usikkerhed omkring kvantificering pga. de meget høje koncentrationer.

Bilag 3

Bilag 1. Laboratorieanalyse for skimmelsvampe – Aftryksprøver

Aftryksprøver er en kvalitativ undersøgelsesmetode, hvor det ved mikroskopisk analyse i laboratorium konstateres, hvilke slægter/arter af skimmelsvampe der findes på den undersøgte overflade.

Ved brug af aftryksprøver i forbindelse med skimmelundersøgelser i bygninger inddeles skimmelsvampe i to overordnede grupper:

- Bygningsrelaterede svampe, som trives i opfugtede bygningsdele og således indikerer, at der foregår eller har foregået vækst af skimmelsvampe i bygningen/bygningsdelen. Herefter kaldet bygningsrelaterede svampe.
- Luftbårne eller støvbundne skimmelsvampe, som er normalt forekommende i støv og luft og ikke indikerer skimmelvækst. Herefter kaldet støvsvampe.

Dyrkningsresultat fremgår af skema herunder. Dominerende svampe og svampe, som fremkommer i renkultur er fremhævet med fed skrift.

Metode:

Aftryksplader, som udtages ved besigtigelsen analyseres i laboratoriet. Pladerne indeholder et skimmelsvampemedium (V8-agar tilsat antibiotika). I laboratoriet inkuberes pladerne ved 26 °C i 5-7 dage, hvorefter de fremvoksede skimmelsvampe tælles og identificeres ved mikroskopi.

Analyseresultat er givet i nedenstående skema.

Dyrknings svar, aftryksprøver udtaget den 4. februar 2019

Plade nr.	Prøveudtagningssted	CFU	Skimmelsvampe
1	Granbræt	>100 10	<i>Penicillium sp.</i> <i>Gær</i>

855743: Granbræt

Bilag 2. Laboratorieanalyse for skimmelsvampe – Mikroskopi

Tapeprøver udtaget ved besigtigelsen er vurderet ved direkte mikroskopi.

Analyseresultat, prøver udtaget den 4. februar 2019

Prøve nr.	Prøveudtagningssted	Sporer	Hyfer/mycelium/vækst
1	Granbræt	+++	+++ vækst

÷ ingen forekomst

+ ringe forekomst


++ moderat forekomst

+++ massiv forekomst

Bilag 4

Det Åndbare Hus

Vurdering af fugtmålinger



Titel:

Det Åndbare Hus
Vurdering af fugtmålinger

Rekvirent:

Energiens Hus ApS
Att. Lars Koefoed Jørgensen
Haslevvej 81
4100 Ringsted

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 4
2630 Taastrup
Tlf. 7220 2000
Byggeri og Anlæg
Bygninger & Miljø
Thor Hansen

Kvalitetssikring:

Sagsansvarlig: Thor Hansen, tlf. 7220 1268, thhn@teknologisk.dk

Godkendt af:

Faglig leder: Carsten Johansen, tlf. 7220 3329, cjo@teknologisk.dk
Sektionsleder: Grith Bech-Nielsen, tlf. 7220 2487, gbe@teknologisk.dk

Opgave nr.: 745999

Versions nr.: 01

Dato: 31. oktober 2018

Resultater af Instituttets opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder fx vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag. Instituttets navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionssekretariatet.

Indhold

1.	Sammenfatning	4
2.	Indledning	5
3.	Baggrund	5
4.	Konstruktionsopbygning og målepunkter	5
4.1.	Konstruktionsopbygning	6
4.2.	Målepunkter	7
4.3.	Konstruktionstværsnit med målepunkter	8
5.	Indbygning af måleudstyr	9
6.	Resultater	12
6.1.	Udeklima	12
6.2.	Indeklima	13
6.3.	Fugtmængde i indeklimaet	16
6.4.	Tag	17
6.5.	Gavl	18
6.6.	Facader	18
6.7.	MRD-index	20
6.8.	Træfugt	22
7.	Vurdering	25
7.1.	Indeklima	25
7.2.	Generelt	25
7.3.	Tabel MRD-index	26
7.4.	Samlet vurdering	26
8.	Konklusion	27
9.	Referencer	28
10.	Bilag A	29
10.1.	Bilag A – Tagkonstruktion	29
10.2.	Bilag A – Gavlkonstruktion	31
10.3.	Bilag A – Facader	32
10.4.	Bilag A – Midt i konstruktionerne	33
10.5.	Bilag A – Forskel i temperatur for målepunkter og udeklima	34
10.6.	Bilag A – Målt temperatur og relativ luftfugtighed i lersten	35

1. Sammenfatning

Der er i Det Åndbare Hus foretaget registreringer i konstruktionerne, henholdsvis temperatur og relativ luftfugtighed i perioden 1. november 2015 til 14. maj 2018, samt træfugtmålinger fra 14. september 2015 til 4. maj 2018. Disse målinger skal danne grundlag for vurdering af konstruktionernes modstand overfor den indvendige fugtbelastning.

Der er udført vurdering af opsamlet data og foretaget beregninger for risikoen for skimmelsvampevækst. Samlet set er det Teknologisk Instituts vurdering, at konstruktionsopbygningen, i store træk, ikke er optimal, da den indvendige beklædningsdiffusionsmodstand er betydelig lavere end de rupløjede brædder, som er anvendt til undertag og vindspærre i facaderne. Dog har den udvendige beklædning af elefantgræs og vindspærren af Homatherm en positiv effekt på temperaturen, og den relative luftfugtighed når ikke et kritisk niveau ved de første to vintre. Samtidigt har fugttilskuddet de første to vintre været mindre end det dimensioneret, hvor det først er tredje vinter at fugttilskuddet er på niveau som det dimensioneret. Der ses indikation på, at der kan være en sammenhæng mellem et normalt niveau i fugtproduktionen i indeklimaet (tredje vinter) og fugtniveau i konstruktionen tæt på det kritiske niveau. I områder hvor der ikke er anvendt elefantgræs eller Homatherm udvendigt, er temperaturforholdene lavere end øvrigt og fugtniveauerne tilsvarende højere. Det er Teknologisk Instituts vurdering, at disse fugtniveauer, udgør en høj risiko for fugtrelaterede skader i form af skimmelsvampevækst og trænedbrydende svampe. En risiko, som kan øges over tid.

Det er dermed 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.

På baggrund af vurdering og konklusion er det Teknologisk Instituts anbefaling, at der foretages en destruktiv besigtigelse af visse områder.

2. Indledning

Der er efter aftale med Lars Koefoed Jørgensen fra Energiens Hus ApS udarbejdet nærværende rapport, der beskriver fugtniveauerne og -variationer i konstruktionerne på *"Det Åndbare Hus"* til en vurdering af evt. risiko for fugtskader.

Teknologisk Institut har ikke i forbindelse med nærværende rapport foretaget besigtigelse af bygningen, ej heller opsat diverse måleudstyr. Teknologisk Institut har dog leveret udstyr til trådløs måling af temperatur og relativ luftfugtighed over tag- og ydervægskonstruktionernes tværsnit. Rapporten er baseret på dialog samt fremsendte oplysninger og data fra rekvirenten og Per Sørensen fra Energiens Hus ApS. De behandlede data i nærværende rapport er fremsendt til Teknologisk Institut elektronisk.

Rapporten og databehandlingen er udarbejdet af Thor Hansen, Byggeri og Anlæg, Bygningsundersøgelser.

3. Baggrund

Baggrunden for rapporten er, at 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.

4. Konstruktionsopbygning og målepunkter

I det følgende afsnit er der en generel beskrivelse af bygningens konstruktioner, herunder materialevalg mv. Ligeledes er der opstillet en tabel med udvalgte målepunkter samt en skitse af målepunkternes placering i konstruktionstværsnittet.

Registreringen af temperatur og relativ luftfugtighed er udført med indbyggede dataloggere, der er i Figur 2-5 vist billeder af indbygningen af dataloggerne. Der har været anvendt dataloggere af fabrikatet *"Rotronic - HL-RC-B-US"* (Rotronic, 2018). Dataloggeren er opsat til at registrere værdien for temperatur og relativ luftfugtighed hver anden time. Ud fra de målte værdier kan den absolutte mængde vanddamp over tid i målepunkterne beregnes på baggrund af SBI-anvisning 224, (Brandt, et al., 2013).

Til en løbende registrering af træfugten er der monteret små skruer i henholdsvis undertag og Kerto spær. Til disse skruer er der fastgjort en ledning, hvor der med en almindelig træfugt-modstandsmåler kan aflæses en træfugt. Træfugt-måleren måler modstanden mellem de to skruer (jo højere fugt des lavere er modstanden i træet), hvor modstanden så omsættes til en vægt-%.

Per Sørensen fra Energiens Hus ApS har stået for indbygningen af dataloggerne og de faste punkter til måling af træfugt. Det er ligeledes Per Sørensen, der har foretaget den løbende registrering af træfugt samt aflæsning af dataloggerne.

Sensorer installeret i konstruktion er placeret med en afstand på maksimalt 5 cm fra den tætteste overflade, henholdsvis undertag/vindspærre eller indvendig beklædning.

4.1. Konstruktionsopbygning

Beskrivelse af konstruktionsopbygningen er baseret på oplysninger fra Per Sørensen.

Der er indblæst papirgranulat som isoleringsmateriale i loft-og vægkonstruktioner.

4.1.1. Tag

Tagbeklædningen er udført med elefantgræs, som er fastgjort med direkte kontakt til de rupløjede brædder, der udgør undertaget. Den indvendige loftbeklædning er udført med 2-lag gips med forskudte samlinger. Der er ca. 500 mm isolering i tagkonstruktionen. I samlingen mellem den indvendige beklædning på væg og de skrå lofter er der mellem de 2-lag gips indlagt et stykke dampspærre ca. 20 cm til hver side.

4.1.2. Gavl

Den udvendige beklædning på gavlene er termoask, der er placeret mod en 60 mm Homatherm, som er en træfiberbaseret plade, der udgør vindspærren. Der er ventilationspalte mellem beklædningen og vindspærren. Afstanden på ventilationsspalten er dog ikke beskrevet, men oplyses at opfylde almindelige forskrifter. Indvendigt er der anvendt 2-lag gips med forskudte samlinger. Ved enkelte målepunkter er der ikke anvendt gips, som indvendig beklædning, men en 25 mm tyk lerplade, se nedenstående Tabel 1. Væg-gene er isoleret med ca. 500 mm papirisolering.

4.1.3. Facade

Den udvendige beklædning på facaderne er udført med henholdsvis termoask og elefantgræs. Elefantgræsset er monteret direkte på rupløjede brædder uden ventilationsspalte. Den indvendige beklædning er som beskrevet for gavlene.

Der er på vest-facaden en udestue udført i glaspartier. For øst-facaden er den midterste del uden elefantgræs i hele facadens højde, men beklædt med termoask. Ligeledes er den nederste ca. trekvarte meter af facaderne beklædt med termoask.

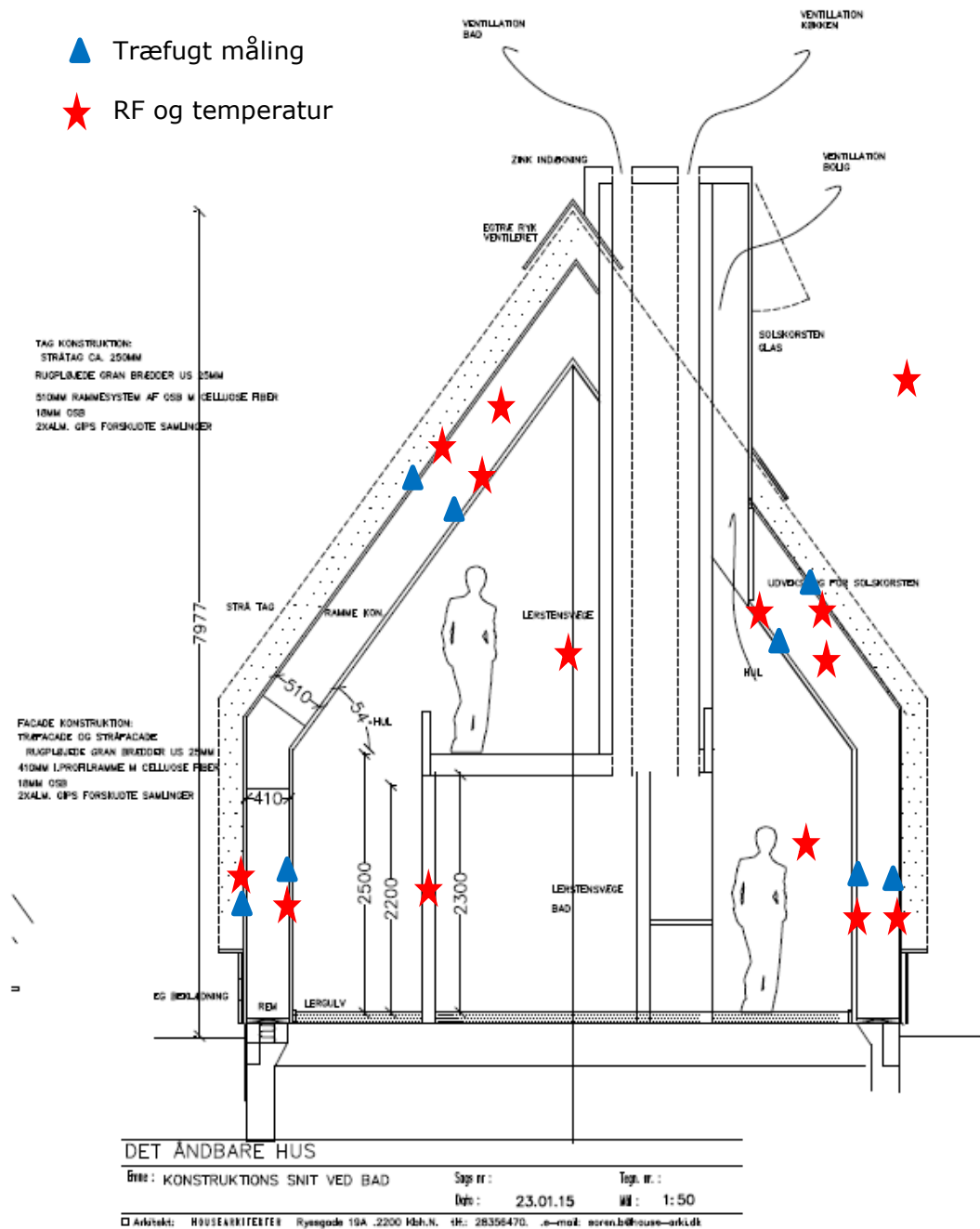
4.2. Målepunkter

Tabel 1. Liste over målepunkts ID-nr., orientering og målepunktstype.

	ID-nr.	Location	Orientering	Relativ luft- fugtighed og Temperatur	Træfugt
Tag	EVD07	Ved indvendig beklædning	Øst (syd)	07	Træfugt 07
	EVD06	Ved undertagsbrædder	Øst (syd)	06	Træfugt 06
	EVD15	Ved indvendig beklædning	Øst (nord)	15	Træfugt 15
	EVD14	Ved undertagsbrædder	Øst (nord)	14	Træfugt 14
	EVD16	Midt i isoleringen	Øst	16	-
	EVD04	Ved indvendig beklædning	Vest (syd)	04	Træfugt 04
	EVD03	Ved undertagsbrædder	Vest (syd)	03	Træfugt 03
	EVD13	Ved indvendig beklædning	Vest (nord)	13	Træfugt 13
	EVD12	Ved undertagsbrædder	Vest (nord)	12	Træfugt 12
	EVD17	Midt i isoleringen	Vest	17	-
Facader	EVD33	Gipsvæg - Indvendig beklædning	Øst (syd)	33	Træfugt 33
	EVD32	Gipsvæg - Vindspærre	Øst (syd)	32	Træfugt 32
	EVD31	Gipsvæg - Indvendig beklædning	Øst (midt)	31	Træfugt 31
	EVD30	Gipsvæg - Vindspærre	Øst (midt)	30	Træfugt 30
	EVD29	Lervæg - Indvendig beklædning	Øst (nord ler)	29	Træfugt 29
	EVD28	Lervæg - Vindspærre	Øst (nord ler)	28	Træfugt 28
	EVD20	Gipsvæg - Indvendig beklædning	Vest (syd)	20	Træfugt 20
	EVD19	Gipsvæg - Vindspærre	Vest (syd)	19	Træfugt 19
	EVD21	Gipsvæg - Indvendig beklædning	Vest (midt)	21	Træfugt 21
	EVD22	Gipsvæg - Vindspærre	Vest (midt)	22	Træfugt 22
	EVD24	Lervæg - Indvendig beklædning	Vest (nord ler)	24	Træfugt 24
	EVD23	Lervæg - Vindspærre	Vest (nord ler)	23	Træfugt 23
Gavl	EVD10	Gavl - Indvendig beklædning - (Gips)	Nord (1. Sal)	10	Træfugt 10
	EVD11	Gavl - Vindspærre	Nord (1. Sal)	11	Træfugt 11
	EVD26	Gavl - Indvendig beklædning	Nord (stue)	26	Træfugt 26
	EVD25	Gavl - Vindspærre	Nord (stue)	25	Træfugt 25
	EVD27	Midt i isoleringen - (Ler)	Nord (stue)	27	-
	EVD01	Gavl - Indvendig beklædning - (Ler)	Syd (stue)	01	Træfugt 1
	EVD02	Gavl - Vindspærre	Syd (stue)	02	Træfugt 2
	EVD18	Midt i isoleringen - (Ler)	Syd (stue)	18	-
Klima	EVD09	Udeklima	-	09	-
	EVD08	Indeklima Soveværelse	-	08	-
	EVD05	Indeklima Stue mod syd	-	05	-
	EVD34	Indeklima 1. sal	-	34	-
	EVD35	Lersten	-	35	-

4.3. Konstruktionstværsnit med målepunkter

Der er i nedenstående figur indtegnet placering af forskellige målepunkter.



Figur 1. Snittegning med indtegnet placering af forskellige målepunkter.

5. Indbygning af måleudstyr

Der er i nedenstående afsnit vist et udpluk af billederne fra indbygningen af dataloggere og målepunkter for træfugt.



Figur 2. Målepunkt 10 og 11 placeret i nordvendt gavl på 1. sal.



Figur 3. Målepunkt 28 og 29 i facade mod øst.



Figur 4. Målepunkt 12 og 14 i taget mod vest.



Figur 5. Målepunkt 17 i midten af isoleringen i taget mod vest.



Figur 6. Billede af husets facade og gavl.

6. Resultater

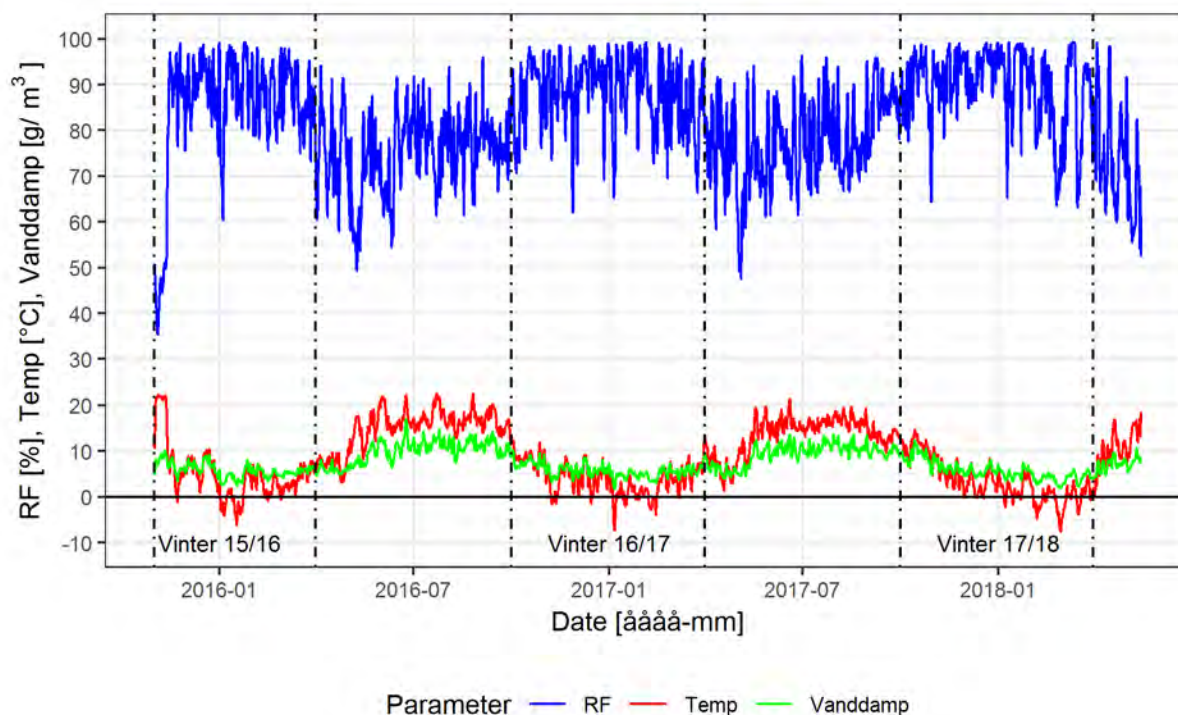
Der er i følgende afsnit vist resultaterne for målepunkterne, samt en kort diskussion omkring målingerne.

Der har været foretaget håndholdt måling af træfugt i perioden 14. september 2015 til 4. maj 2018, hvor der for den automatiske registrering af temperatur og relativ luftfugtighed er for perioden 1. november 2015 til 14. maj 2018.

Der er i de kommende figurer indtegnet lodrette sorte stiplede streger, som angiver start og slut for vinterperioderne fra 1. oktober til 31. marts.

6.1. Udeklima

Der er i Figur 7 vist data for det målte udeklima ved huset.



Figur 7. Målte relativ luftfugtighed, temperatur og beregnet absolut vandindhold i udeklimaet.

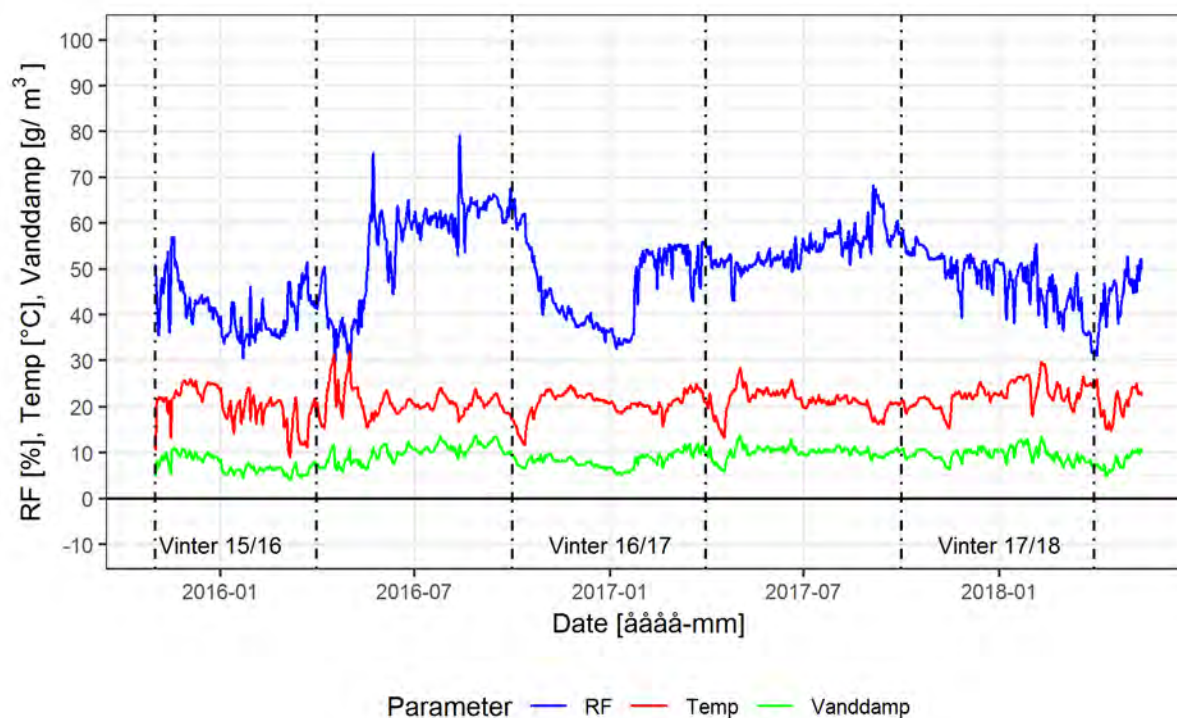
6.2. Indeklima

Der har været foretaget målinger af indeluftens relative luftfugtighed og temperatur tre forskellige steder:

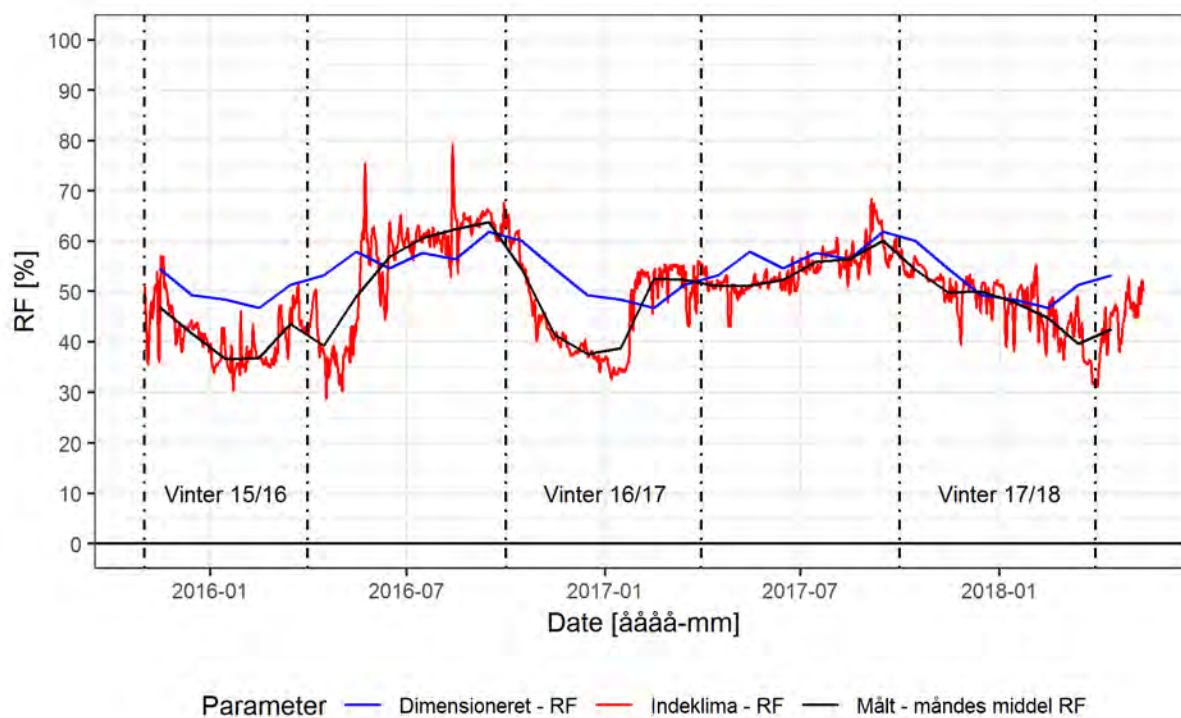
- Soveværelse mod nord
- Stuen mod syd
- 1. sal

Generelt har de målte værdier for indeklimaet været ens, hvorfor der kun er vist en figur for middelværdien af indeklimaet i Figur 8. Der er i Figur 9 og Figur 10 vist den målte månedsmiddelværdie og den dimensionerede værdi (tilsigtede værdi på baggrund af normalt referenceårs værdier) for henholdsvis relativ luftfugtighed og temperatur. Det blev som udgangspunkt besluttet, at indeklimaet skulle dimensioneres efter DS/EN ISO 13788 (13788, 2013), også angivet i SBI-anvisning 224 – Fugt i bygninger (Brandt, et al., 2013), hvor der tilsigtes et indeklimaniveau svarende til fugtbelastningsklasse 2.

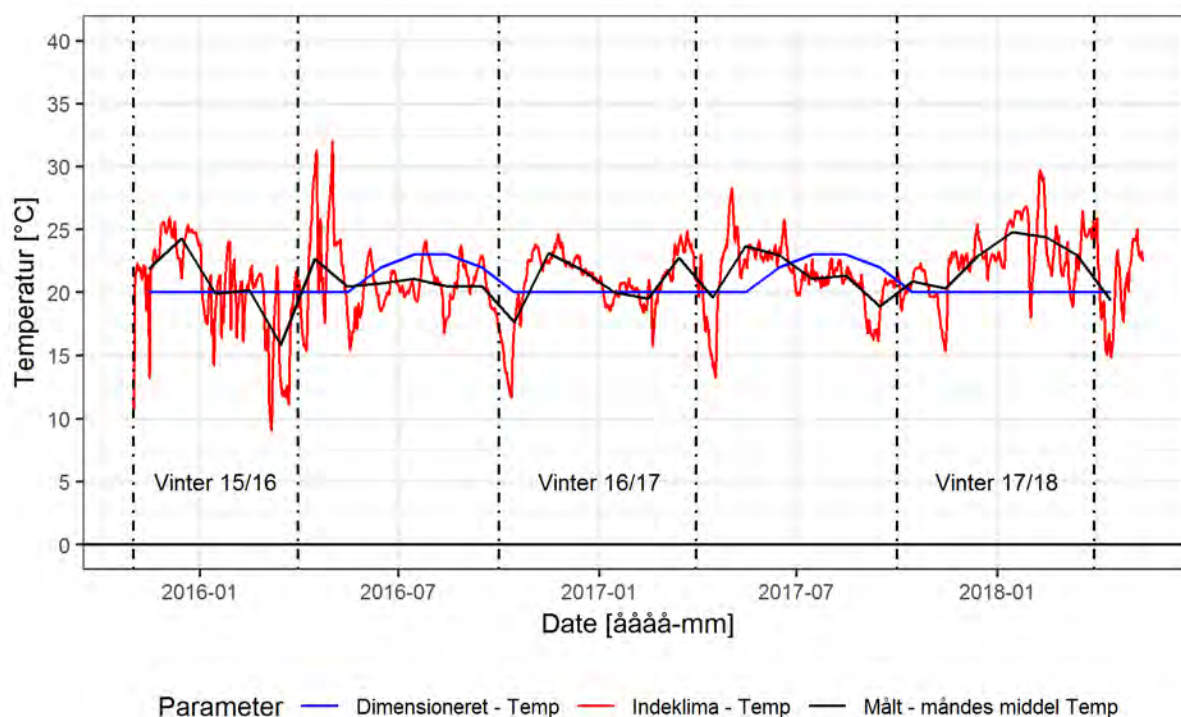
Med udgangspunkt i fugtbelastningsklasse 2 kan der beregnes et dimensioneret fugttilskud til indeklimaet. Dette gøres ved anvendelse af månedsmiddelværdierne for udeklimaet henholdsvis temperatur, relativ luftfugtighed og vanddampindhold. Til det udvendige vanddampindhold tillægges et indvendigt fugttilskud, som er lineært fra 4 g/m³, når udetemperaturen er 0 °C, og 0.5 g/m³, når udetemperaturen er 20 °C, se i øvrigt (13788, 2013). Derefter kan der i Figur 11 optegnes fugttilskuddet til indeklimaet, baseret på målt og beregnet.



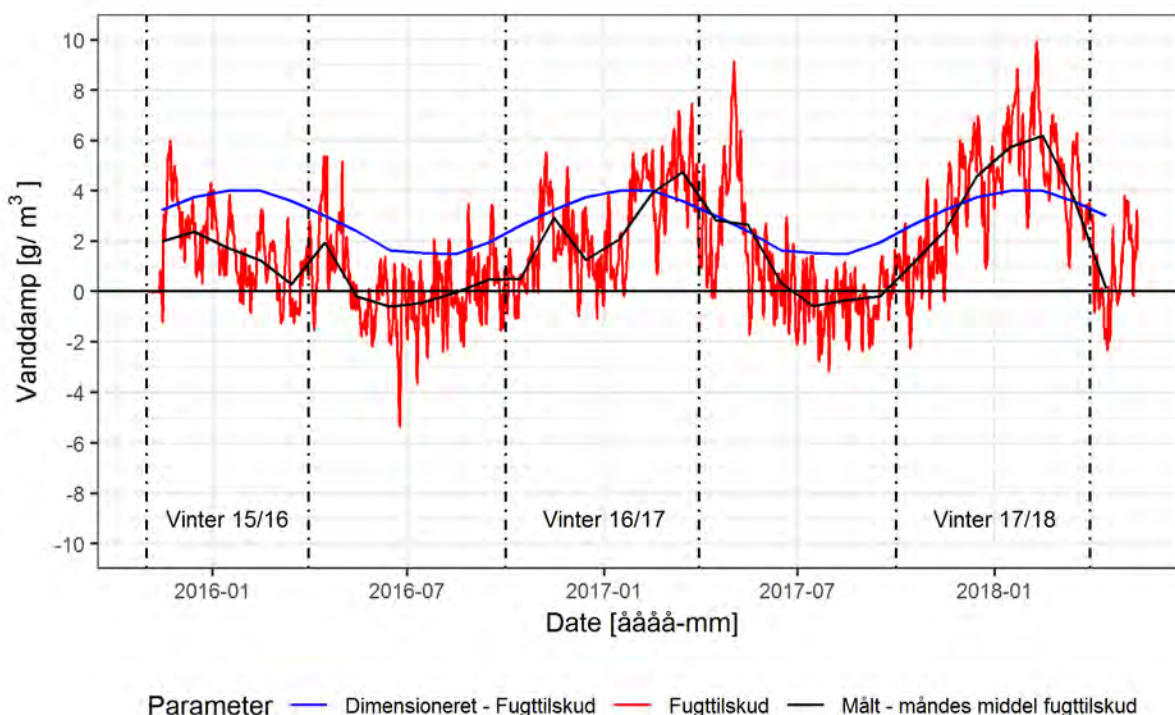
Figur 8. Målt middelværdi af relativ luftfugtighed, temperatur og beregnet absolut vanddampindhold i indeklimaet.



Figur 9. Målt relativ luftfugtighed i indeklimaet sammenholdt med den dimensionerede relative luftfugtighed.



Figur 10. Målt temperatur i indeklimaet sammenholdt med den dimensionerede temperatur.



Figur 11. Fugttilskud til indeklimaet, samt middelværdien for hver måned.

Af Figur 9 og Figur 10 ses, at der er perioder, hvor den relative luftfugtighed og temperatur ligger lavere end hvad der har været dimensioneret efter. Specielt har det været væsentligt koldere i indeklimaet de to første vinterperioder. Ydermere har den relative luftfugtighed været lavere. Dette bliver afspejlet i Figur 11, som viser fugttilskuddet til indeklimaet, hvor udeklimaet fratrækkes indeklimaet. Dette vil betyde, at en positiv værdi angiver, at det absolutte vanddampindhold er højere inde end ude. Herefter kan det målte fugttilskud (rød/sort linje) sammenlignes med det dimensionerede fugttilskud (blå linje). Her ses det tydeligt, at der i størstedelen af tiden er et lavere fugttilskud til indeklimaet end dimensioneret. Denne forskel kan ligeledes ses i Tabel 2.

6.3. Fugtmængde i indeklimaet

Der er i nedenstående tabel angivet månedsmiddelværdien for fugttilskuddet samt den tilsvarende fugtmængde, når volumen af huset er 285 m³ (fugtmængden er beregnet ved multiplikation af volumenet og fugttilskuddet). Det ses af Tabel 2, at der generelt har været en væsentlig lavere fugtbelastning i huset i forhold til den dimensionerede belastning (negativ værdi/rød farve indikerer lavere værdi i forhold til dimensioneret).

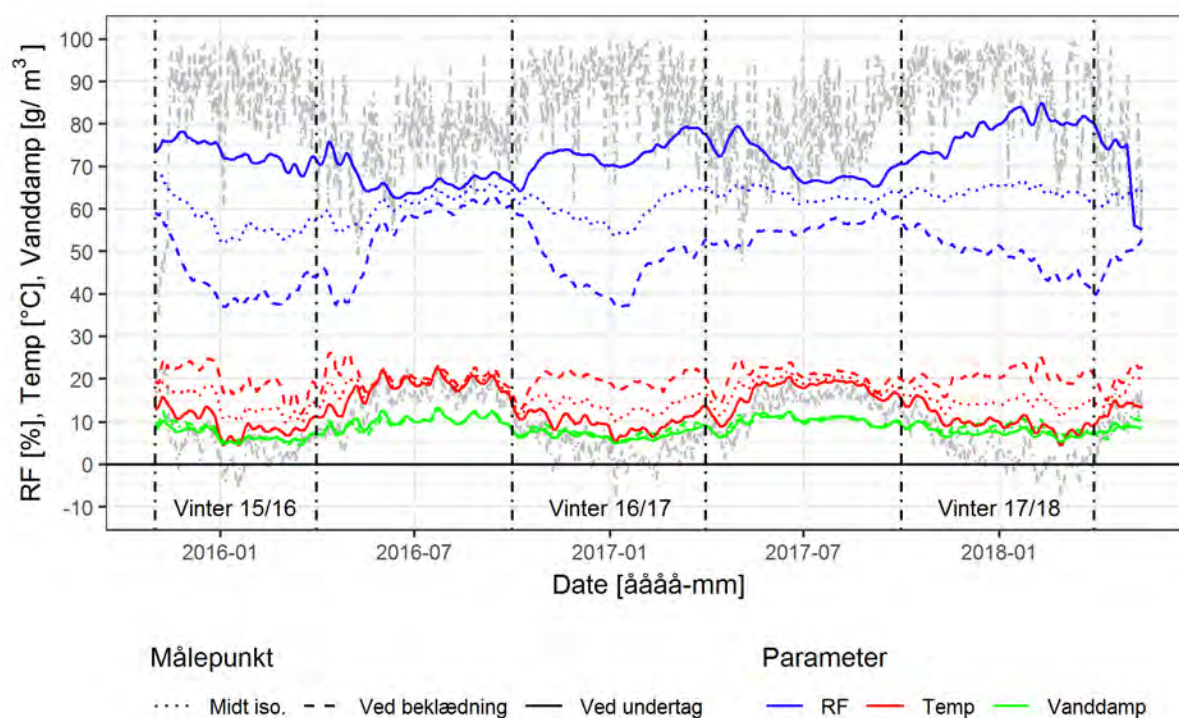
Tabel 2. Målt og dimensioneret fugttilskud og fugtmængde pr. måned.

		Målt fugttilskud pr. måned	Målt fugtmængde pr. måned	Dimensioneret Fugttilskud pr. måned	Dimensioneret fugtmængde pr. måned	Forskel mellem målt og dimensioneret fugtmængde
		[g/m ³]	[g]	[g/m ³]	[g]	[g]
Vinter 15/16	Nov-15	2,0	570	3,3	926	-356
	Dec-15	2,4	684	3,8	1072	-388
	Jan-16	1,8	513	4,0	1140	-627
	Feb-16	1,2	342	4,0	1140	-798
	Mar-16	0,3	86	3,6	1029	-943
	Apr-16	1,9	542	3,0	858	-316
	Maj-16	-0,2	-57	2,4	687	-744
	Jun-16	-0,6	-171	1,6	469	-640
	Jul-16	-0,4	-114	1,5	439	-553
	Aug-16	0,0	0	1,5	426	-426
	Sep-16	0,5	143	1,9	554	-412
Vinter 16/17	Okt-16	0,5	143	2,6	747	-604
	Nov-16	2,9	827	3,3	926	-100
	Dec-16	1,3	371	3,8	1072	-701
	Jan-17	2,1	599	4,0	1140	-542
	Feb-17	3,9	1112	4,0	1140	-29
	Mar-17	4,7	1340	3,6	1029	311
	Apr-17	2,8	798	3,0	858	-60
	Maj-17	2,7	770	2,4	687	83
	Jun-17	0,3	86	1,6	469	-383
	Jul-17	-0,6	-171	1,5	439	-610
	Aug-17	-0,4	-114	1,5	426	-540
	Sep-17	-0,2	-57	1,9	554	-611
Vinter 17/18	Okt-17	1,0	285	2,6	747	-462
	Nov-17	2,4	684	3,3	926	-242
	Dec-17	4,6	1311	3,8	1072	239
	Jan-18	5,7	1625	4,0	1140	485
	Feb-18	6,2	1767	4,0	1140	627
	Mar-18	3,8	1083	3,6	1029	54
	Apr-18	0,1	29	3,0	858	-829

Fra Figur 11 og Tabel 2 ses, at der er perioder, hvor der har været et negativt fugttilskud. Det betyder, at der har været en lavere absolut fugtmængde inde i huset sammenlignet med udeklimaet. Der er således sket en form for affugtning af indeklimaet, hvorved det ikke kan forventes, at konstruktionerne har været udsat for det korrekte fugttilskud til at vurdere konstruktionernes robusthed.

6.4. Tag

Der er i nedenstående Figur 12 vist middelværdien for samtlige målepunkter i tagkonstruktion. Der er i Bilag A vist grafer for de enkelte målepunkter. Der er valgt at vise en middelværdi for hele tagkonstruktionen, da forskellen på målepunkterne er minimale. De lodrette sorte stiplede streger angiver start og slut for vinterperioderne fra 1. oktober til 31. marts.

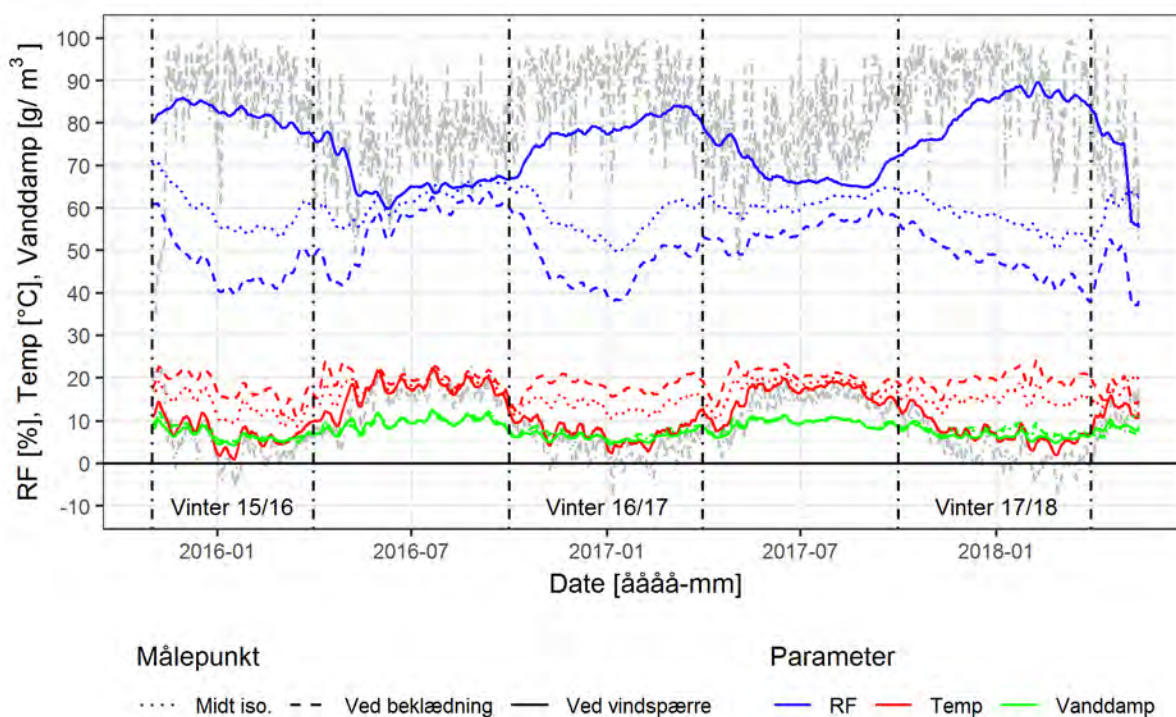


Figur 12. Middelværdier for målepunkter i tagkonstruktionen. De grå linjer er målt udeklima. Lodrette sorte streger angiver vinterperiodens start og slut.

Af figuren ses, at der er et forventet fald i temperaturen fra den indvendige overflade og frem til den yderste sensor ved undertaget. Ligeledes som forventet en stigning af den relative luftfugtighed. Det er også værd at bemærke, at temperaturen om vinteren - målt ved undertaget - ligger ca. 2 til 10 °C højere end udeklimaet.

6.5. Gavl

Der er i nedenstående Figur 13 vist middelværdien for samtlige målepunkter i gavlene. Dette er valgt, da forskellen på målepunkterne er minimale. Der er i Bilag A vist grafer for de enkelte målepunkter.



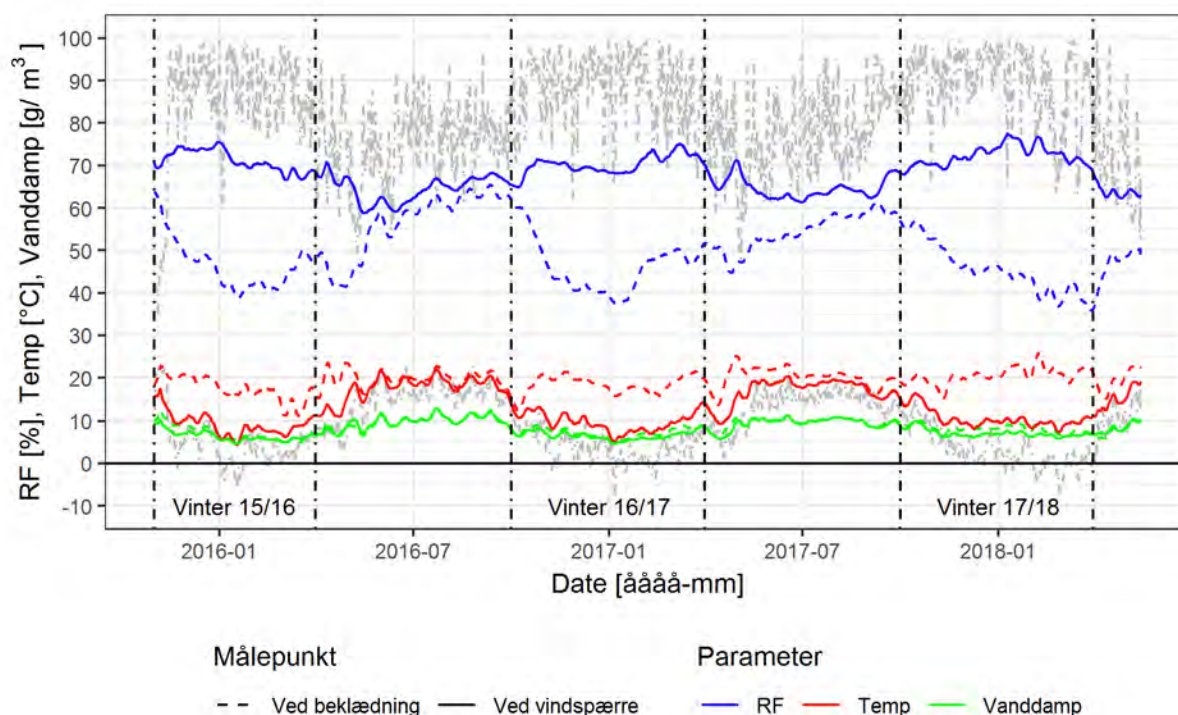
Figur 13. Middelværdi for målepunkter i gavlene. De grå linjer er målt udeklima. Lodrette sorte streger angiver vinterperiodens start og slut.

Af figuren fremgår et forventet fald af temperaturen fra den indvendige beklædning og frem til den yderste sensor ved vindspærren, og som forventet en stigning af den relative luftfugtighed. Temperaturforskellen mellem udeklimaet og ved vindspærren er ikke helt så stor som for tagfladerne. Her ligger temperaturforskellen på op til ca. 6 °C. Det ses ydermere, at der er en generel højere relativ luftfugtighed ved vindspærren på ca. 5 % RF i forhold til målingerne ved tagfladerne.

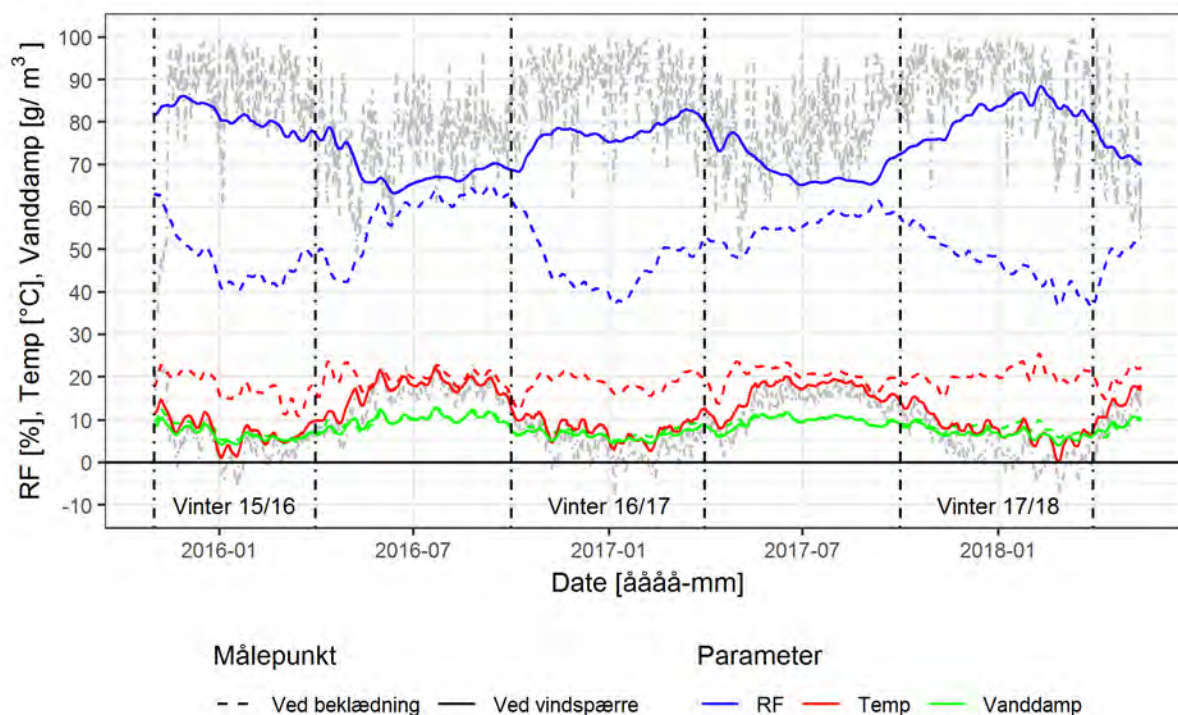
6.6. Facader

Der er i Figur 14 og Figur 15 vist middelværdier for målepunkterne i facaderne, henholdsvis mod vest og øst. Der har ikke været målt i facaderne i midten af isoleringen.

Der ses en forskel mellem vest og øst, hvor øst har den højeste værdi for relativ luftfugtighed, hvilket hænger sammen med, at temperaturen er et par grader koldere mod øst.



Figur 14. Middelværdi for målepunkter i facader mod vest. De grå linjer er målt udeklima. Lodrette sorte streger angiver vinterperiodens start og slut.



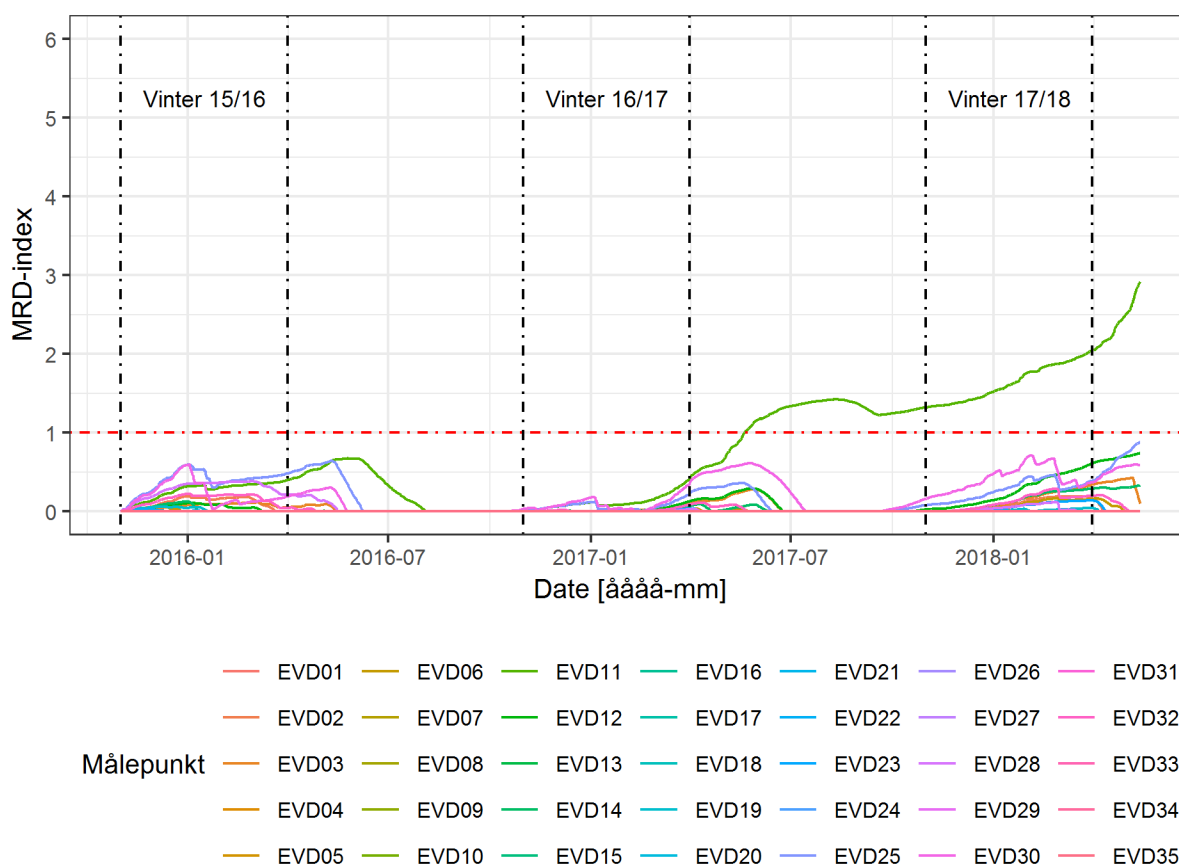
Figur 15. Middelværdi for målepunkter i facader mod øst. De grå linjer er målt udeklima. Lodrette sorte streger angiver vinterperiodens start og slut.

6.7. MRD-index

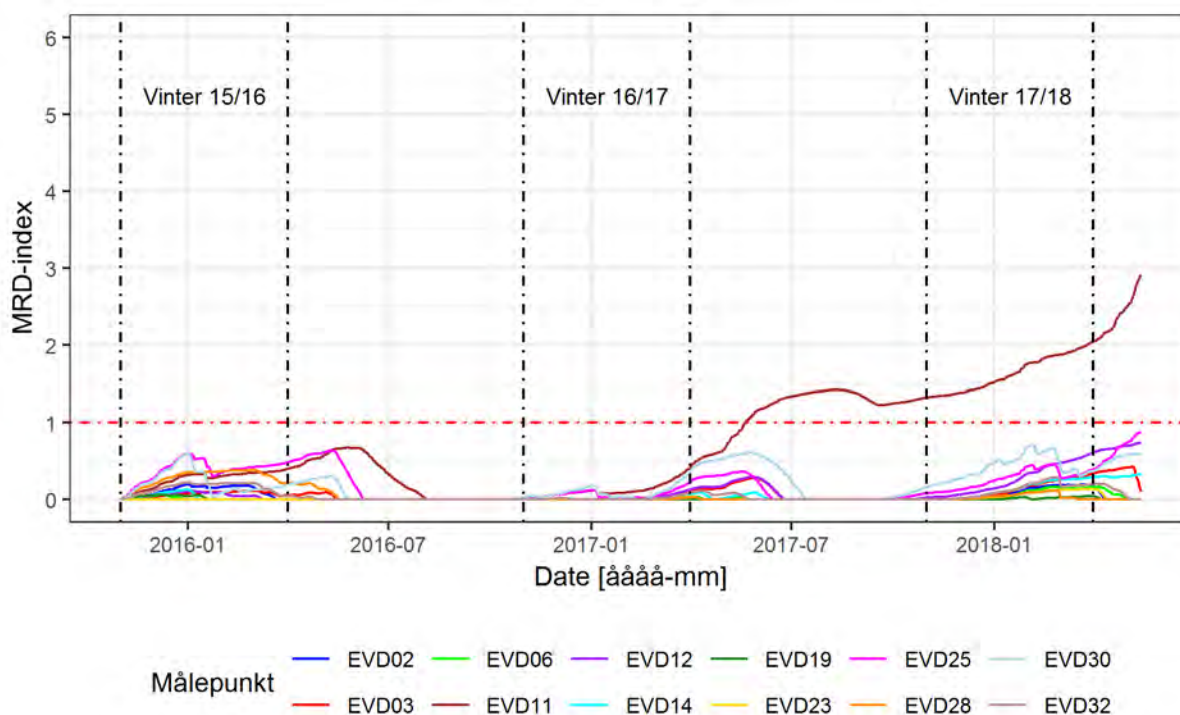
På baggrund af de registrerede temperaturer og relative luftfugtigheder i hvert målepunkt beregnes en værdi for risikoen for mikrobiologisk vækst. Denne beregning er udført på baggrund af en model kaldet MRD (Mould Resistance Design). Modellen vurderer risikoen for mikrobiologisk vækst, når klimaet er varierende. Ydermere tages højde for materialet samt varigheden af fugtmæssige betingelser for mikrobiologisk vækst. Der er i Tabel 3 angivet forholdet mellem graden af skimmelvækst og MRD-index. I de efterfølgende figurer er det beregnede MRD-index for hvert målepunkt angivet. Den horisontale røde linje angiver grænsen for, hvornår der opstår betingelser for mikrobiologisk vækst. De lodrette sorte linjer angiver vinterperioden.

Tabel 3. Udviklingskalaen for vækst af skimmel i forhold til MRD-index.

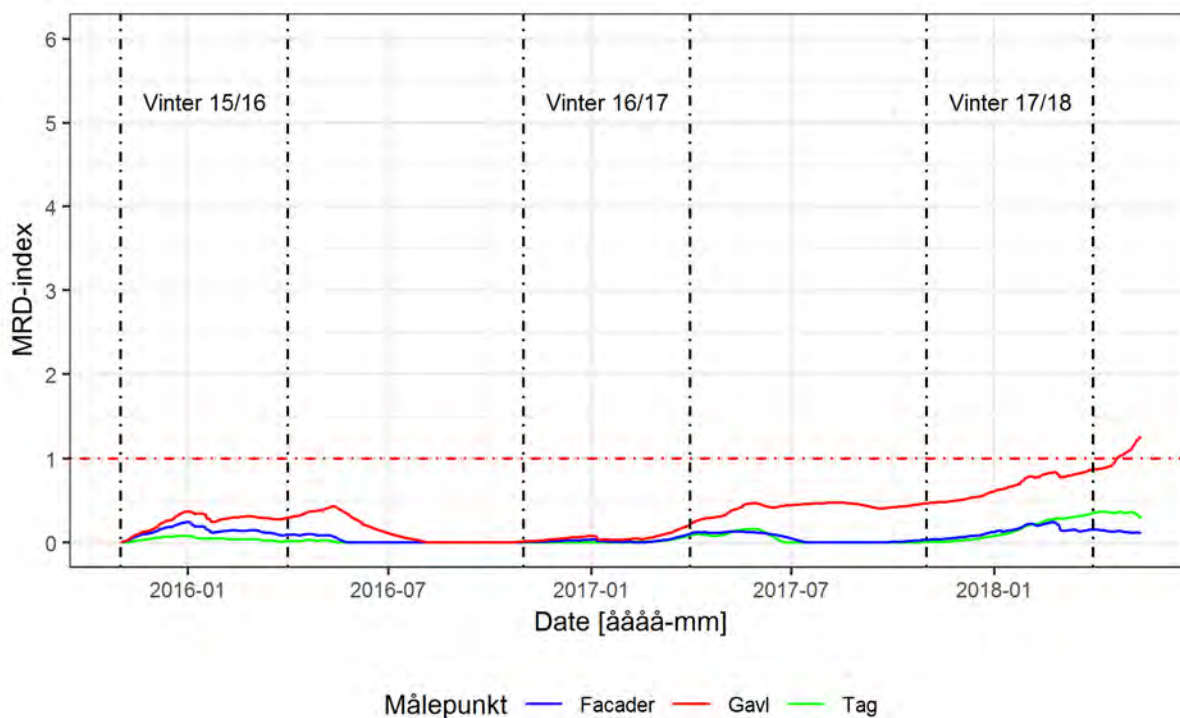
MRD-index	Beskrivelse af vækstens omfang
0	Ingen vækst
1	Indledende vækst, en eller et par hyfer og ingen konidioforer
2	Sparsom, men klart etableret vækst, ofte er konidioforer underudvikling
3	Massiv vækst med mange veludviklede konidioforer
4	Massiv vækst udviklet på hele overfladen



Figur 16. Beregnet MRD-index for alle målepunkter, målepunkt over 1 er EVD11.



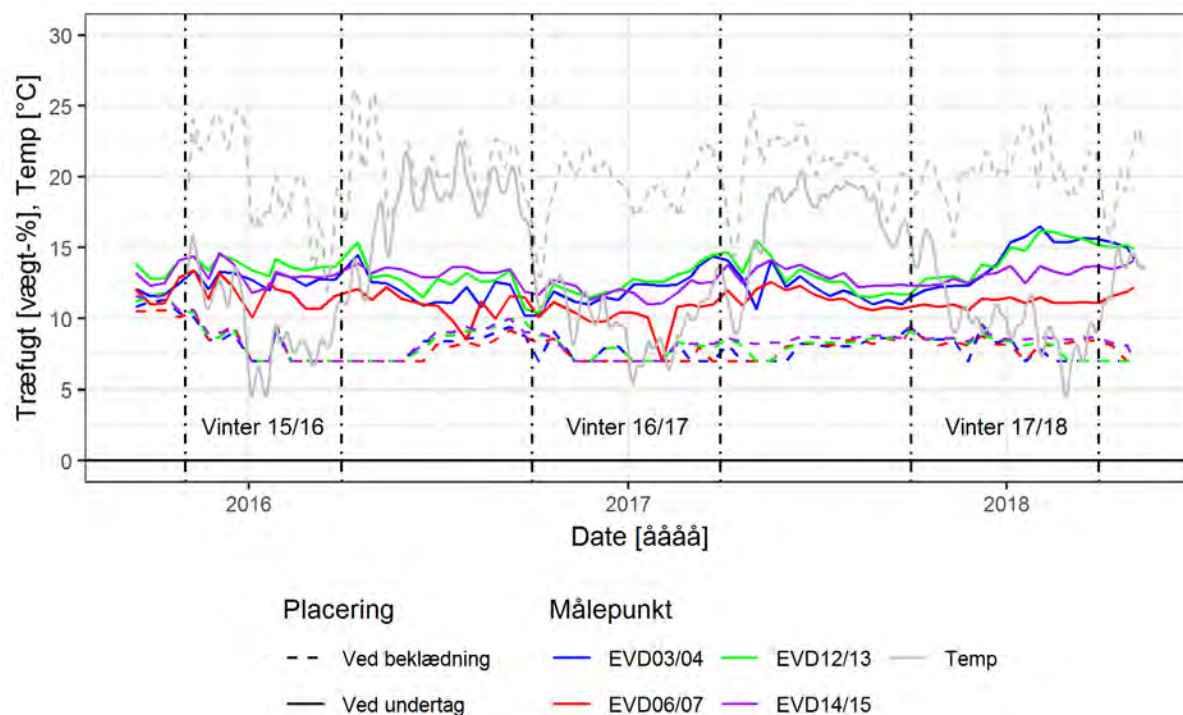
Figur 17. Målepunkter, hvor der er et udslag på MRD-index.



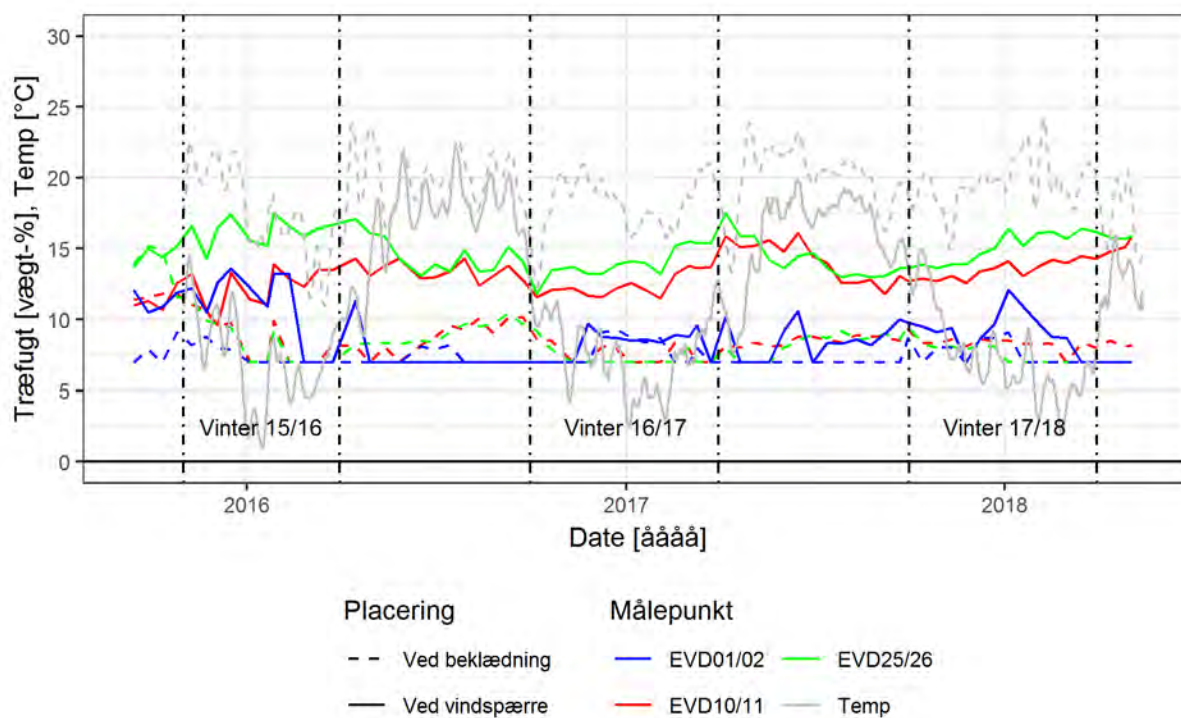
Figur 18. Middelværdi af MRD-index for de forskellige konstruktionstyper.

6.8. Træfugt

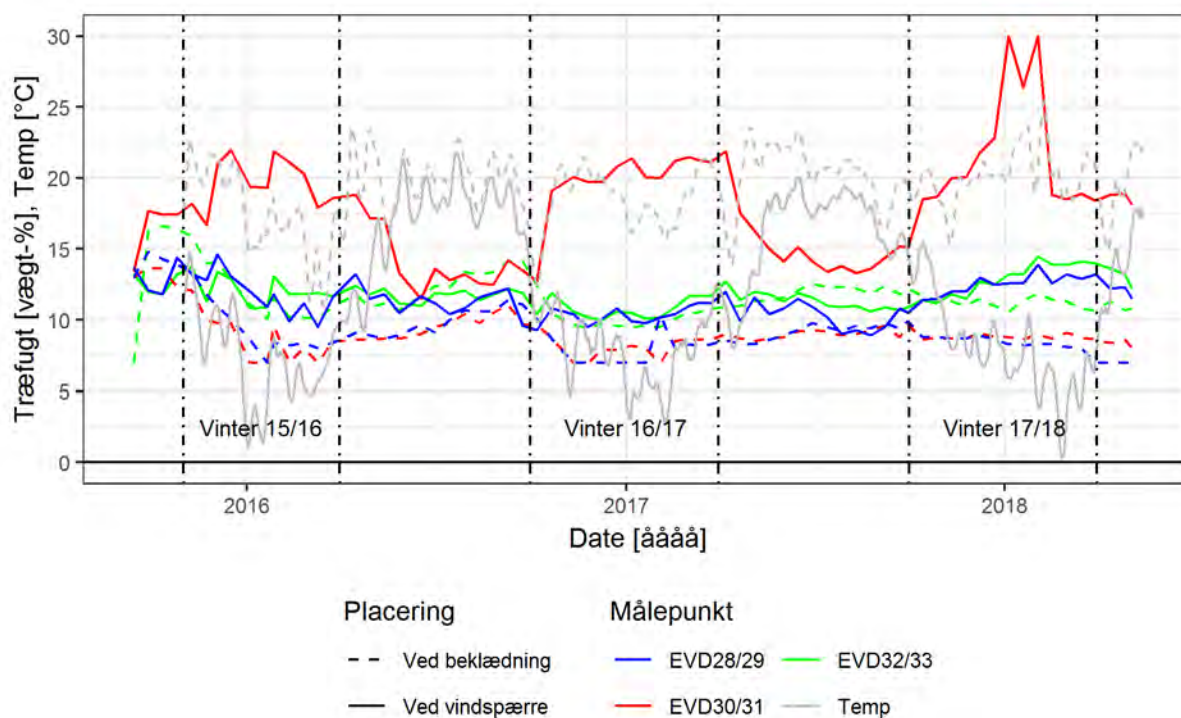
Der er i det følgende afsnit vist figurer for den målte træfugt i henholdsvis tag- og vægkonstruktionerne. Figureerne er opdelt for målingerne udført tæt ved den indvendige beklædning og ved henholdsvis undertag og vindspærre. Der er ydermere indtegnet temperaturmålingen (grå linjer) registreret samme sted som der er målt træfugt.



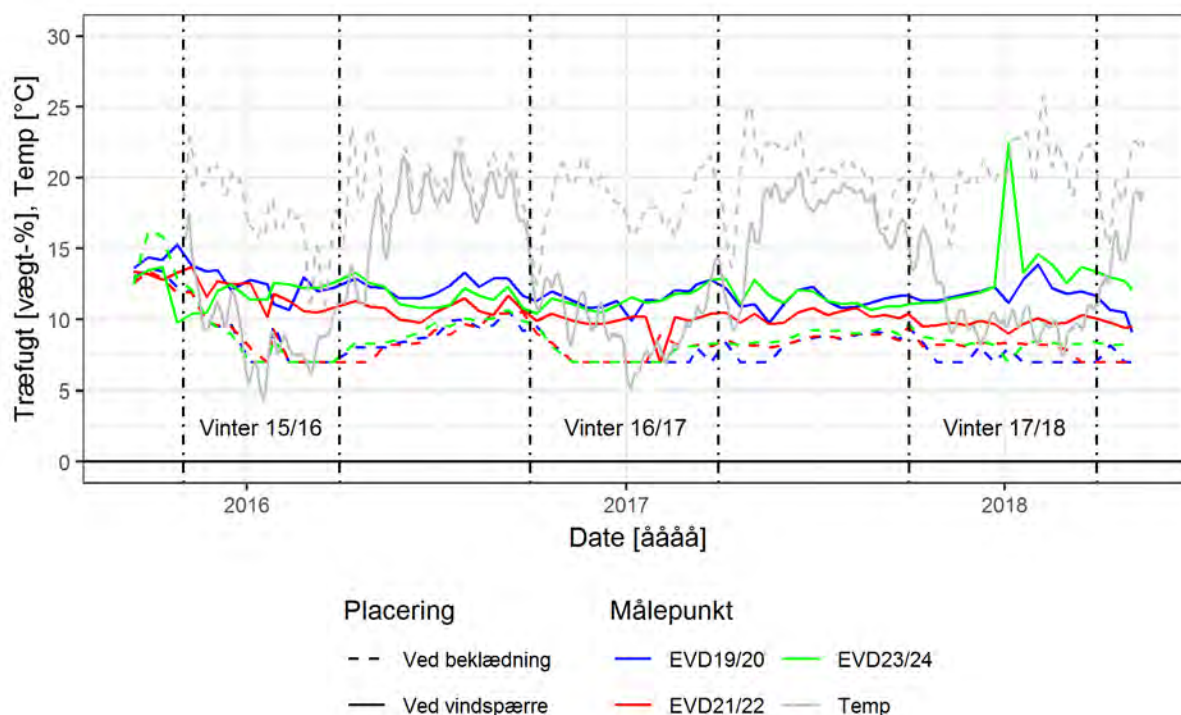
Figur 19. Målt træfugt i tagkonstruktionen, samt middelværdien af temperaturen (grå streg).



Figur 20. Målt træfugt i gavlene, samt middelværdien af temperaturen (grå streg).



Figur 21. Målt træfugt i facader mod øst, samt middelværdien af temperaturen (grå streg).



Figur 22. Målt træfugt i facader mod vest, samt middelværdien af temperaturen (grå streg).

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.

7. Vurdering

7.1. Indeklima

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 dimensioneret. 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 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.

7.2. Generelt

Ved at kigge på tag med stråttækning ses der højere temperaturer (5-7 grader højere) ved underside af undertaget i forhold til udeklima. Ligeledes ses der en lav træfugt ca. 15 vægt-% og en lav relativ luftfugtighed 70-80 %, se Figur 12 og Figur 19.

I Figur 12 til Figur 15 ses der generelt en højere temperatur på op til 10 °C i forhold til udeklimaet. Dette gælder for både undertag og vindspærre i vinterhalvåret. Den relative luftfugtighed ligger omkring 70-80 % i vinterhalvåret, dog ligger niveauet for vinteren 2017/18 med 5-10 % højere relativ luftfugtighed i forhold til de to tidligere vintre.

Den højere temperatur ved henholdsvis undertag og vindspærre vurderes at være forårsaget af den isolerende effekt fra elefantgræsset og Homathermen. Denne temperaturforskel vil medføre, at den relative luftfugtighed reduceres. Dette vil sige, at hvis temperaturen ved undertag og vindspærre sænkes, vil den relative luftfugtighed øges og således medføre en forventet øget risiko for fugtrelaterede skader fx skimmelsvampevækst.

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.

Da størstedelen af målepunkterne er placeret i områder, hvor der er monteret elefantgræs på facaderne, er det kun målepunkt EVD30, som angiver temperaturen ved vindspærren i situationer uden elefantgræs. Så, for at vurdere effekten af en lavere temperatur ved undertag og vindspærre, kan der beregnes en relativ luftfugtighed baseret på det absolutte fugtniveau samt den målte udetemperatur plus 2 °C. Dette vil betyde en generel stigning af den relative luftfugtighed og dermed MRD-index.

7.3. Tabel MRD-index

Der er i nedenstående Tabel 4 angivet den maksimale værdi for MRD-indekset for de målepunkter, som ligger højere end 0. Ved sammenligning af Tabel 1, Figur 17 og Tabel 4 ses endvidere, at det er alle målepunkter ved henholdsvis undertagsbrædder og vindspærre, der har udslag på MRD-indekset. På nuværende tidspunkt er værdierne lave for MRD-indekset på nær målepunkt EVD11. Selvom værdierne generelt er lave, ses der på Figur 18 en tydelig stigning henover måleperioden.

På baggrund af ovenstående, er det således Teknologisk Instituts vurdering, at der på sigt er risiko for forekomst af skimmelsvampevækst inde i konstruktionen, som vil kunne have en negativ indvirkning på indeklimaet.

Tabel 4. Målepunkter hvor der er udslag på MRD-indekset.

ID-nr.	Location	Orientering	Målepunkt	Max MRD-index
EVD06	Ved undertagsbrædder	Øst (syd)	06	0.17
EVD14	Ved undertagsbrædder	Øst (nord)	14	0.33
EVD03	Ved undertagsbrædder	Vest (syd)	03	0.43
EVD12	Ved undertagsbrædder	Vest (nord)	12	0.74
EVD32	Gipsvæg - Vindspærre	Øst (syd)	32	0.29
EVD30	Gipsvæg - Vindspærre	Øst (midt)	30	0.71
EVD28	Lervæg - Vindspærre	Øst (nord ler)	28	0.38
EVD19	Gipsvæg - Vindspærre	Vest (syd)	19	0.06
EVD23	Lervæg - Vindspærre	Vest (nord ler)	23	0.14
EVD11	Gavl - Vindspærre	Nord (1. Sal)	11	2.92
EVD25	Gavl - Vindspærre	Nord (stue)	25	0.88
EVD02	Gavl - Vindspærre	Syd (stue)	02	0.20

7.4. Samlet vurdering

Det er Teknologisk Instituts vurdering, at konstruktionsopbygningen, i store træk, ikke er optimal, da den indvendige beklædningsdiffusionsmodstand er betydelig lavere (ca. 10 gange) end de ruopløjede brædder, som er anvendt til undertag og vindspærre i facaderne. Der ses dog, at henholdsvis Homatherm og elefantgræsset udgør en form for udvendig efterisolering, så temperaturen og dermed den relative luftfugtighed ved undertag og vindspærre ikke når et kritisk niveau ved de første to vintre. Men der ses indikation på, at der kan være en sammenhæng mellem et normalt niveau i fugtproduktionen i indeklimaet og fugtniveauet tæt på det kritiske niveau.

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.

8. 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.

9. Referencer

13788, D. I. (2013). *Byggekomponenters og -elementers hygroteermiske ydeevne – Indvendig overfladetemperatur for at undgå kritisk overfladefugtighed og kondensdannelse i hulrum – Beregningsmetoder*. Charlottenlund: Dansk Standard.

Brandt, E., Bunch-Nielsen, T., Christensen, G., Gudum, C., Hansen, M. H., & Møller, E. B. (2013). *SBI-anvisning 224 - Fugt i bygninger*. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

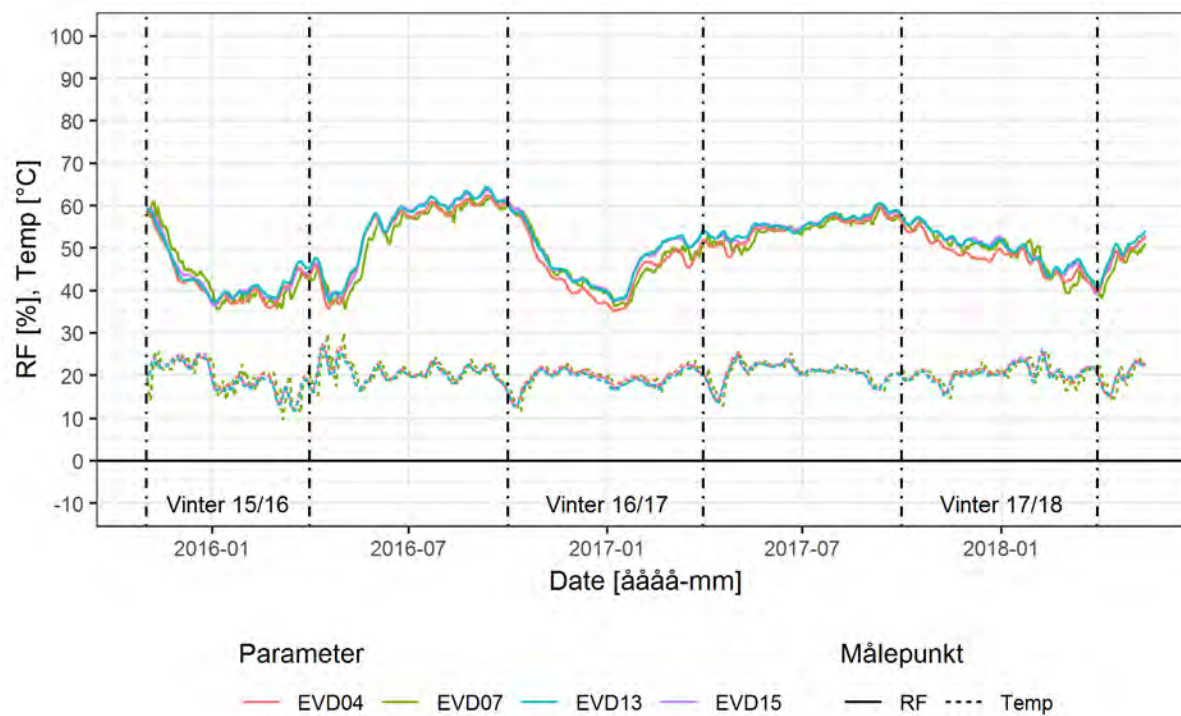
Rotronic. (6. Juni 2018). Hentet fra <https://www.rotronic.com/en/hl-rc-b-us.html>

Thelandersson, S., & Isaksson, T. (2013). Mould resistance design (MRD) model for evaluation of risk for microbial growth under varying climate conditions. *Elsevier - Building and Environment*, s. 18-25.

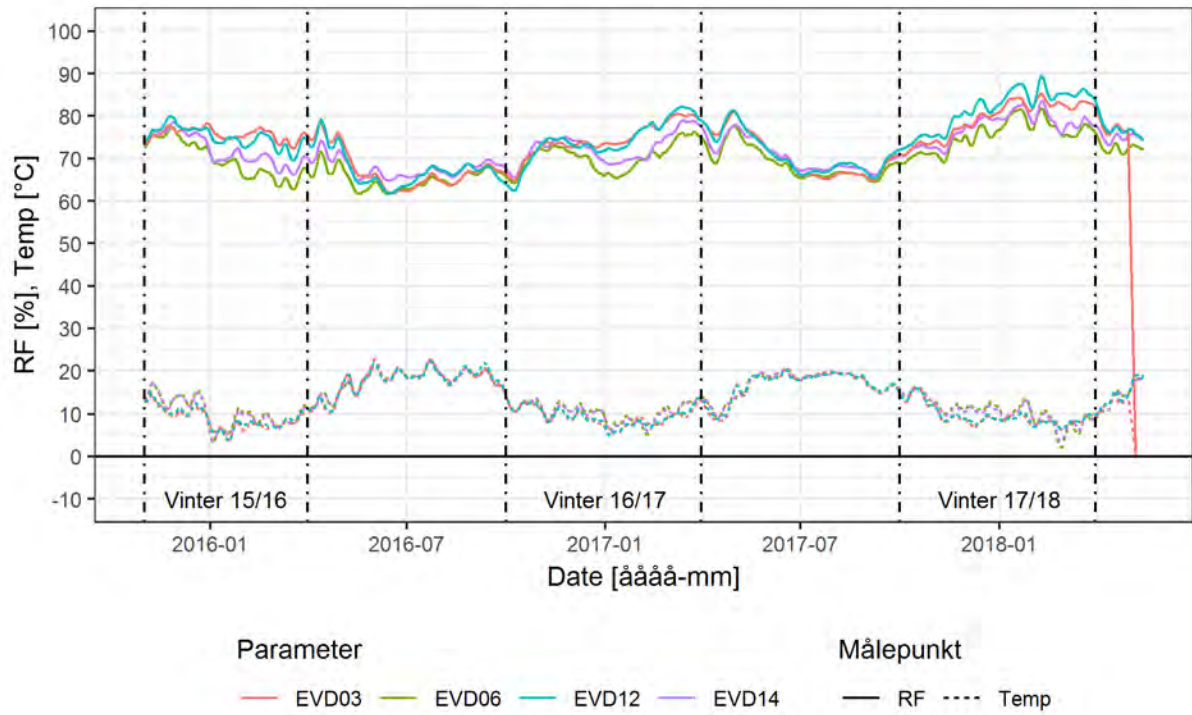
10. Bilag A

Der er i følgende bilag vedlagt grafer for samtlige målepunkter.

10.1. Bilag A – Tagkonstruktion

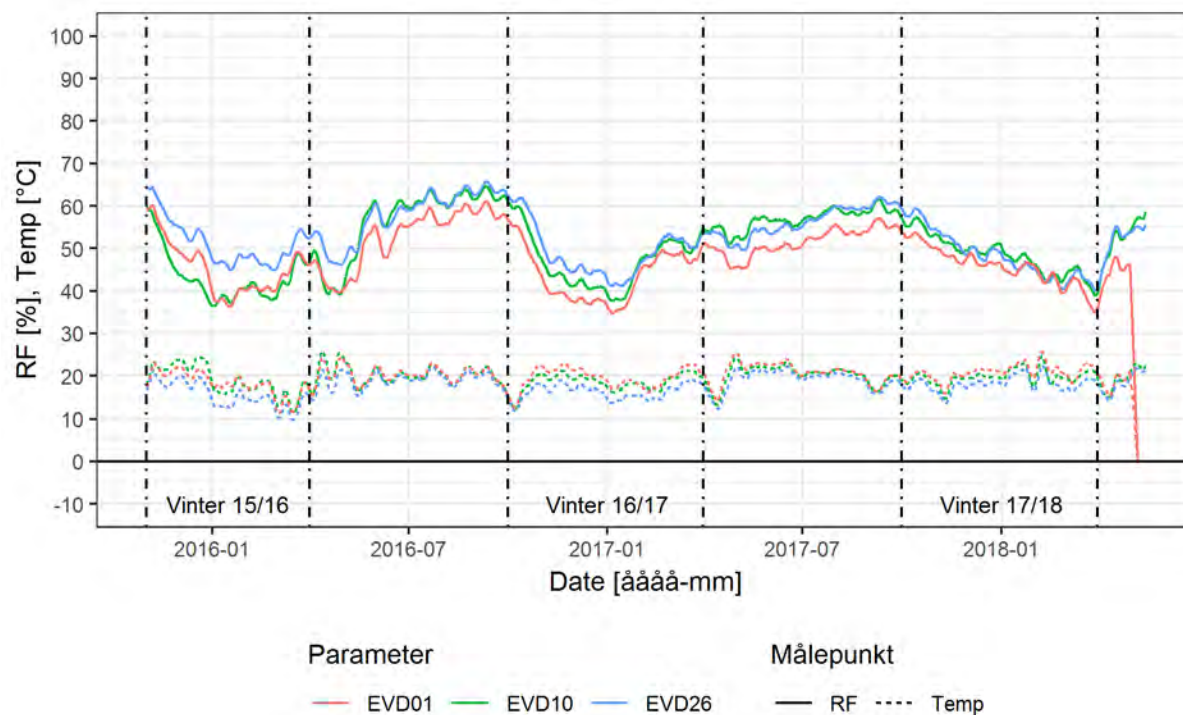


Figur 23. Tagkonstruktion alle målepunkter ved indvendig beklædning.

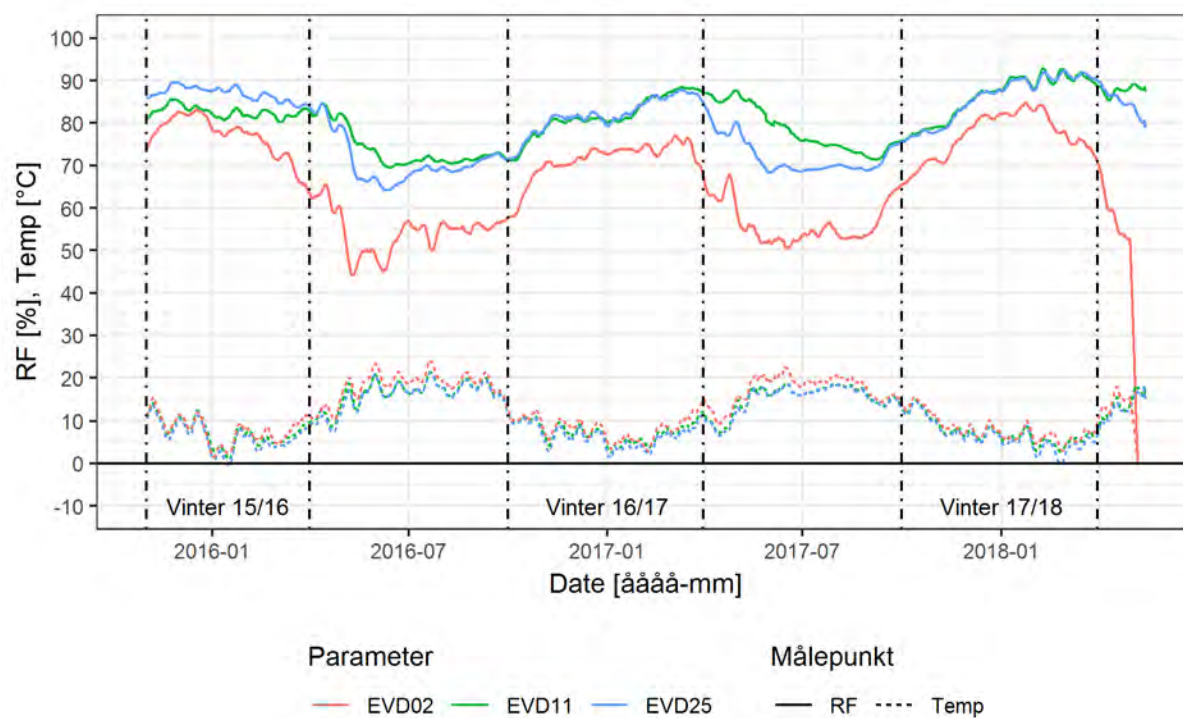


Figur 24. Tagkonstruktion alle målepunkter ved undertagsbrædder.

10.2. Bilag A – Gavlkonstruktion

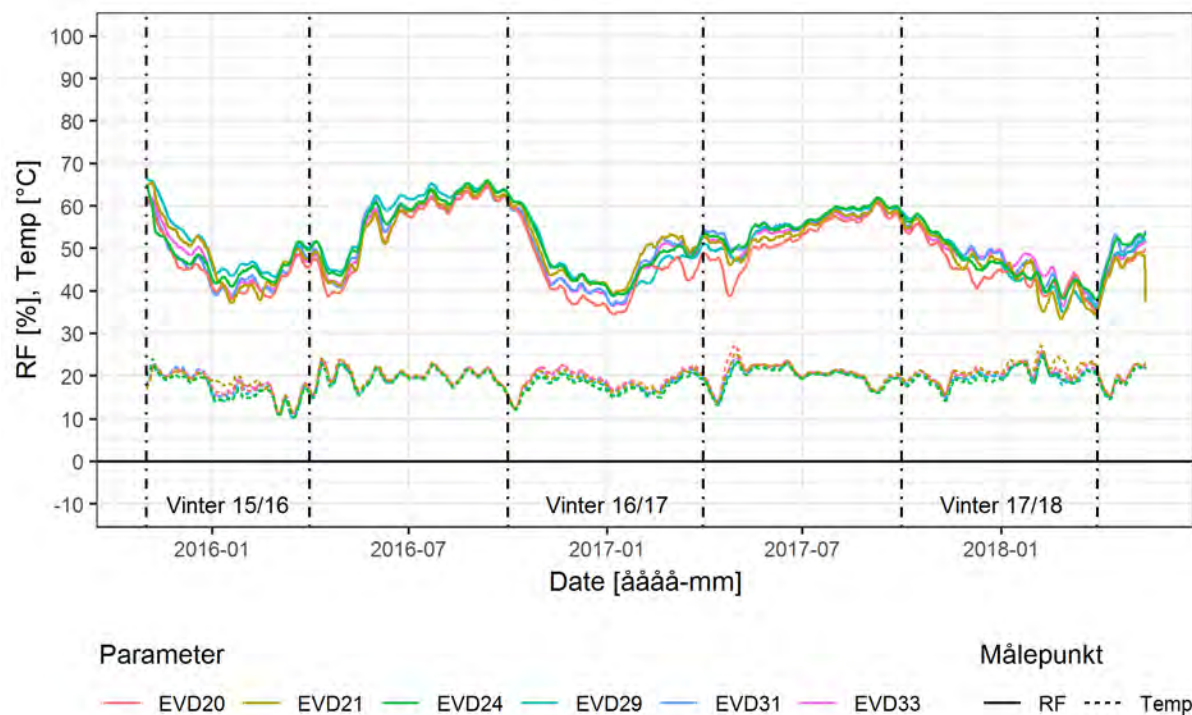


Figur 25. Gavlkonstruktion alle målepunkter ved indvendig beklædning.

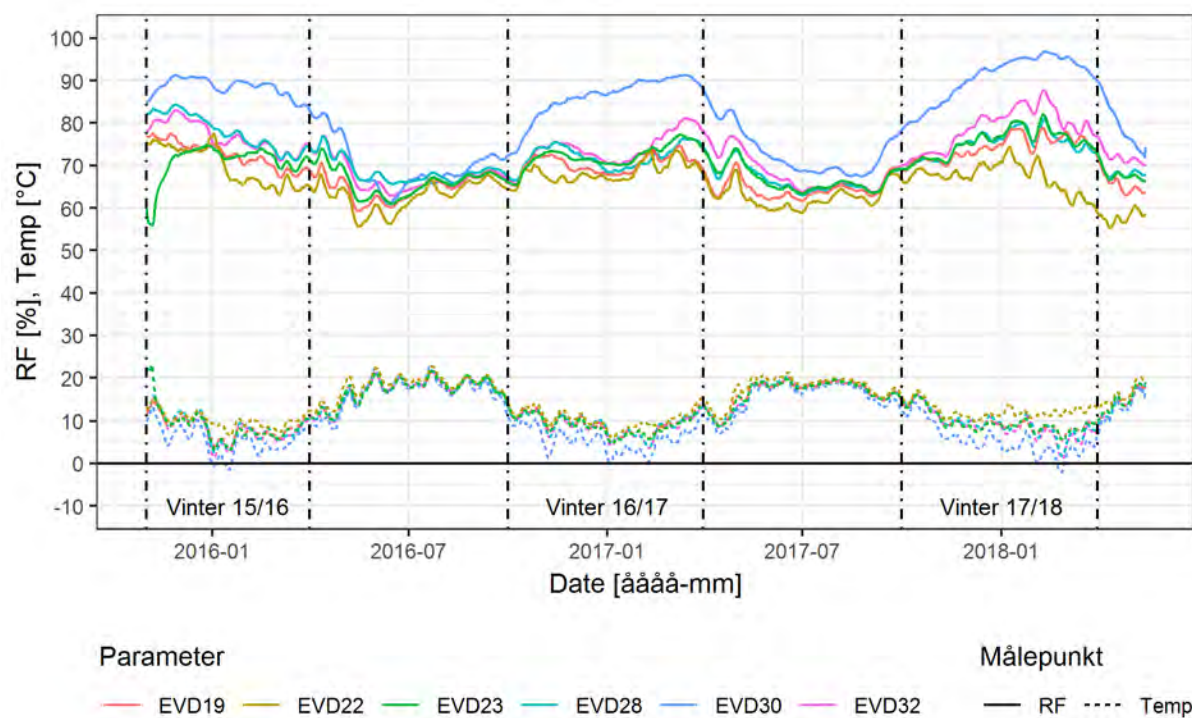


Figur 26. Gavlkonstruktion alle målepunkter ved vindspærre.

10.3. Bilag A – Facader

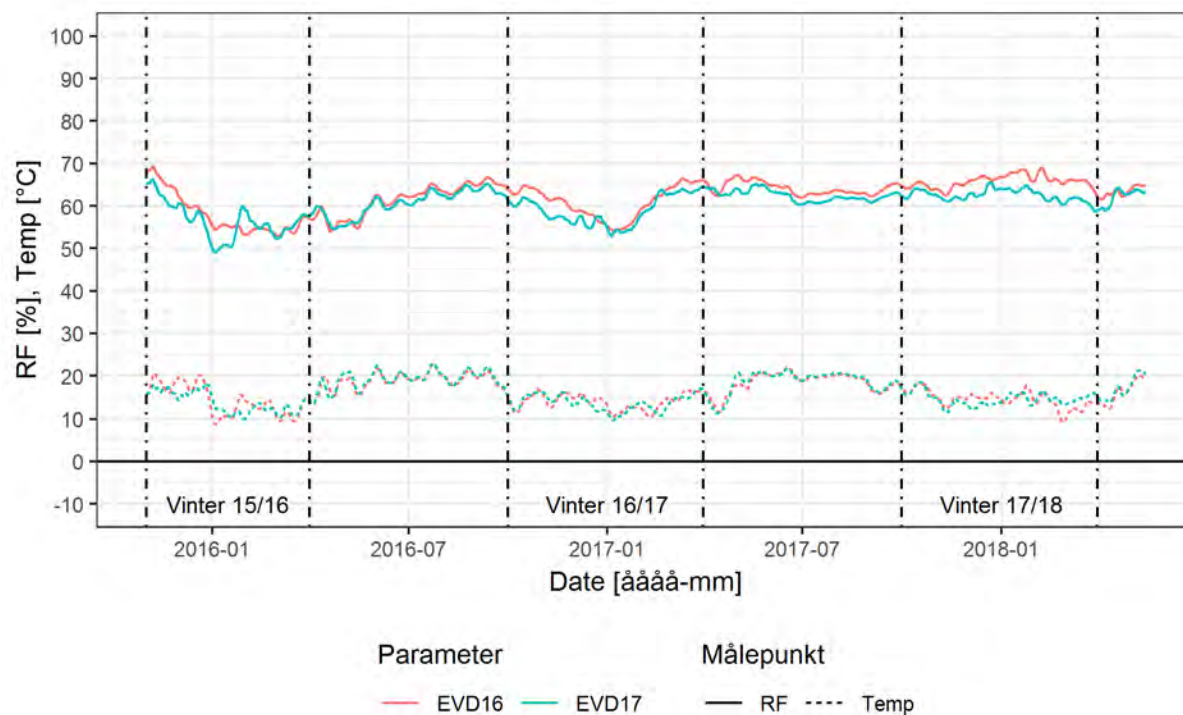


Figur 27. Facader alle målepunkter ved indvendig beklædning.

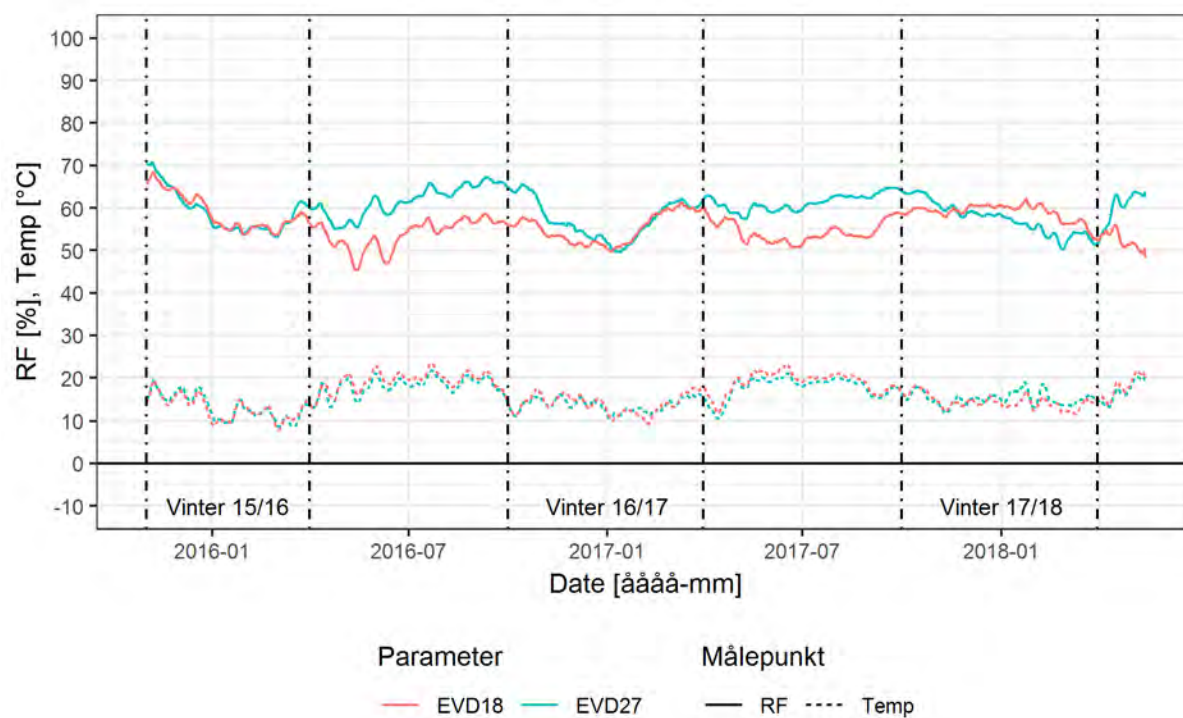


Figur 28. Facader alle målepunkter ved vindspærre.

10.4. Bilag A – Midt i konstruktionerne

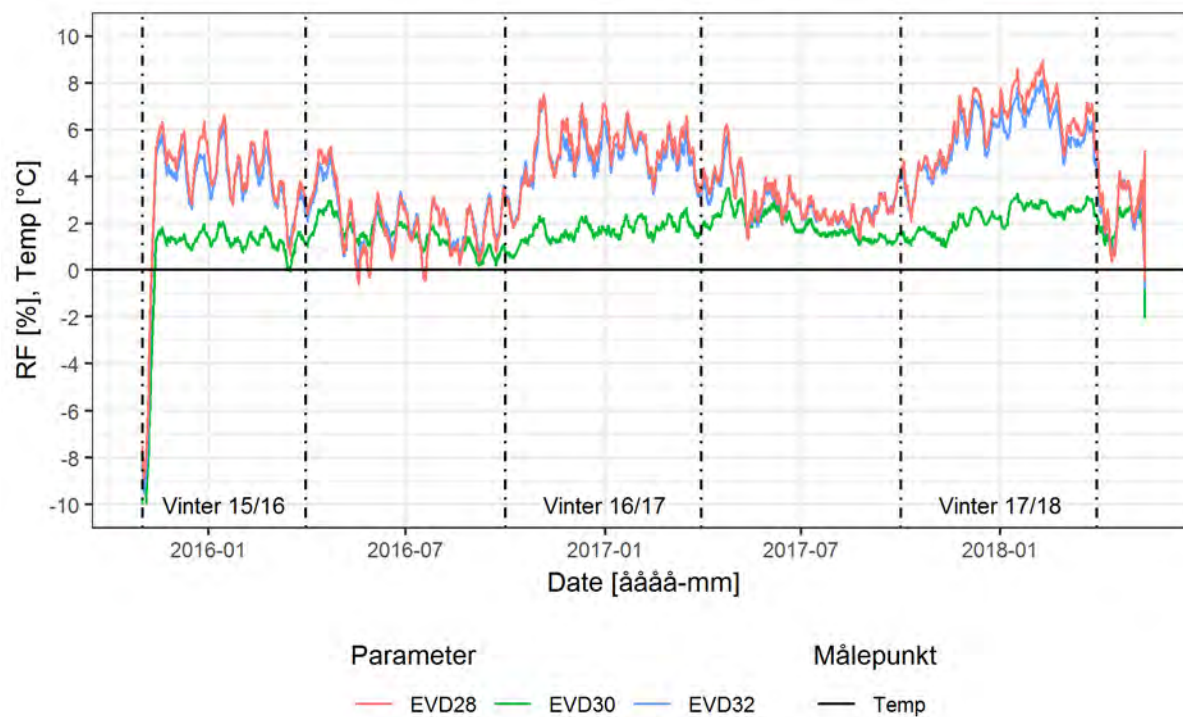


Figur 29. Tag målepunkter midt i tagkonstruktionen.



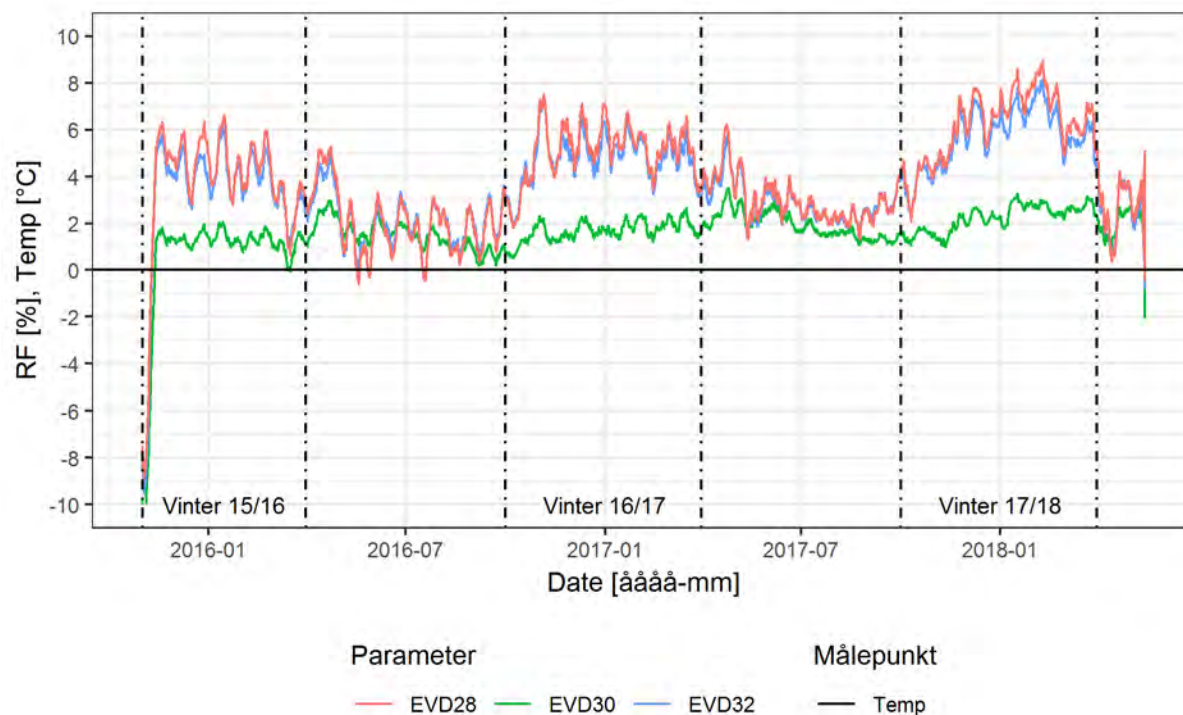
Figur 30. Gavl målepunkter midt i gavlene.

10.5. Bilag A – Forskel i temperatur for målepunkter og udeklima



Figur 31. Temperatur forskel mellem målepunkter og udeklima.

10.6. Bilag A – Målt temperatur og relativ luftfugtighed i lersten



Figur 32. Temperatur og relativ luftfugtighed i lersten.

Bilag 5



Appendiks A

Afgasning fra byggematerialer i NO-Tech

Formålet med NO-Tech huset var blandt andet at påvise muligheden for at opnå lave emissioner i nybyggeri ved hjælp af 'kildekontrol'. Derfor udvalgte man nøje byggematerialer med formodet lave eller ingen afgasninger. Imidlertid viser Performancerapportens resultatafsnit om afgasninger fra materialer, at der i NO-Tech huset - uventet - sås en markant større afgasning end i YES- og NOW-Tech husene, som blev bygget med standard tilgængelige byggematerialer. Dette efterlod forskningsteamet med flere spørgsmål...

Udfordring

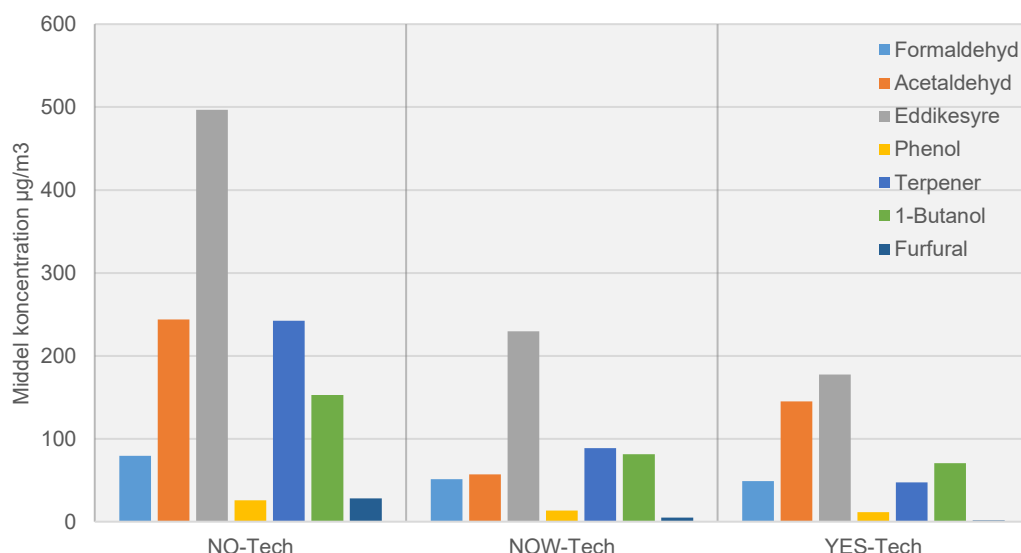
Byggematerialerne i NO-Tech huset afgassede mere end forventet, når det gøres op i en total mængde flygtige organiske stoffer i luften. Udfordringen lå efterfølgende i at kortlægge, hvilke enkeltstoffer som kunne spores i rumluften, hvor farlige enkeltstofferne var, og ikke mindst hvilke specifikke byggematerialer enkeltstofferne kom fra. Ofte opgøres afgasninger i rumluften som TVOC (Total Volative Organic Compounds) som grundlæggende beskriver vægten af alle flygtige organiske stoffer i rumluften tilsammen. Dette betyder også, at mængden af formaldehyd og andre yderst kræftfremkaldende stoffer sidestilles med ufarlige organiske stoffer og/eller stoffer, som har en meget højere grænseværdi før stoffet bliver farligt. Med mange forskellige materialer i samme rum, og en stor sandsynlighed for cocktaileffekter mellem enkeltstofferne, var den eneste mulighed for at finde ud af, hvor stofferne kom fra, at undersøge materialerne hver for sig.

Løsning

Forskningsteamet udvalgte flere mistænkte byggematerialer fra NO-Tech huset til en uvildig ekstern afgasningstest. Materialerne blev testet i det velakkrediterede testlaboratorium Eurofins' klimakamre, og derefter sammenlignet med målingerne af enkeltstoffer foretaget i huset. Nogle af materialerne blev desuden sat sammen på den måde, de er brugt i NO-Tech huset for at undersøge mulige kombinations-/cocktail-effekter. Ydermere blev der undersøgt forskelle mellem naturmaling uden konserveringsstoffet MI (Metylisotiazolinon; et allergifremkaldende stof) og en standard gængs akrylmaling med MI.

Følgende spørgsmål blev forsøgt besvaret:

- 1) Hvilke byggematerialer kommer afgasningerne fra?
- 2) Forekommer der kombinationseffekter?
- 3) Hvordan performer linolie-maling vs. akrylmaling i forhold til VOC'er og aldehyder og herunder det allergifremkaldende MI?



Figur 1 - Afgasninger af udvalgte stoffer i de 3 boliger

Klimakammertest af byggematerialer

For at teste byggematerialers individuelle afgasninger blev forskningsteamet assisteret af Eurofins Product Testing som råder over verdens største kammertest-center i Galten, Danmark. Kammertesten omfattede en 3 dages test i de sterile stålkamre, som kan opretholde et bestemt konstant luftskifte. I kammerets fra-luft blev der opsamlet emissioner på forskellige prøveudtagningsrør (Tenax TA og DNPH). Emissionerne blev herefter analyseret for diverse enkeltstoffer.

Forskningsteamet bag afgasningsforsøgene udvalgte nedenstående byggematerialer til test i klimakamre. Materialerne blev valgt med udgangspunkt i hvor meget og hvor direkte de er eksponeret mod rumluften i NO-Tech huset, og med skelen til byggematerialets renommé for indhold af sundhedsskadelige kemiske stoffer. Eksempelvis er flere malerprodukter beskyldt for at indeholde høje niveauer af MI.



	Bygningsdel	Producent	Produkt navn	Hus & placering
Test 1	OSB-plade			NO-Tech Indvendig beklædning i stue og badeværelser
Test 2	Træfiber isolering			NO-Tech Bag OSB-plader som inderste lag isolering
Test 3	UV tape			NO-Tech Samlinger - Folieklæber til fugning af inderste OSB plade (dampspærre) ned mod betongulv, alle rum.
Test 4	Fugemasse			NO-Tech Samlinger
Test 5	Maling	Egen Vinding og Datter	Naturmaling extradækkende væg- og loftsmaling, uden MI.	NO-Tech Soveværelser
Test 6	Linolie	Egen Vinding og Datter	Linolie	NO-Tech Soveværelser
Test 7	Maling			NOW- & YES-Tech Alle vægge i boligerne
Test 8	Fyrretræ			NO-Tech Soveværelser
Test 9 Kombi- Test 1	Malet OSB-plade			Egen Vinding & Datter
Test 10 Kombi- Test 2	Fyrretræ med linolie	Trælasten	Træliste af fyrretræ	NO-Tech Vindueskarmer/ bundplader og hjørnelister i rum med ubehandlede livingboard P5
		Egen Vinding & Datter	Linolie	

TVOC vs. Enkeltstoffer

En høj TVOC-værdi (Total Volatile Organic Compounds) afspejler ikke nødvendigvis en direkte sundhedsrisiko. TVOC-værdien fortæller kun hvor stor en *samlet* mængde flygtige organiske stoffer, der kan spores i luften. Ikke alle kemiske stoffer kan lugtes, selvom grænsen for sundhedsfare overskrides. Her har TVOC-måleren en fordel, da man relativt simpelt og billigt kan fortælle om der er en stigning i mængden af luftens indhold af giftige stoffer, og dermed bør reageres.

Enkeltstoffer i Sunde Boliger

I Sunde Boliger fremkom TVOC-værdierne på baggrund af avancerede PTR-MS-målinger (Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry). Det er en metode, som kan kortlægge stort set alle kemiske enkeltstoffer i rumluften. Dermed opnåede forskningsteamet et detaljeret indblik i de enkeltstoffer, som byggematerialerne afgassede til rumluften. Man kunne derfor sammenligne specifikke enkeltstoffer (VOC-værdier; Volatile Organic Compound) med deres respektive sundhedsmæssige grænseværdier for rumluft. Samtidig kunne den samlede TVOC-værdi visualisere afgasningskurven for byggematerialer.

Kemiske stoffer i NO-Tech

For at komme et skridt nærmere kortlægningen af de kemiske stoffers oprindelse i NO-Tech, var det nødvendigt at kvantificere alle identificerede enkeltstoffer målt ude i huset af Aarhus Universitet (GC-MS- og PTR-MS-målinger). Indledningsvis blev GC-MS-måling brugt til at finde de overordnede stofgrupper for at spore måletagerne ind på, hvordan enkeltstofferne fordeles. Derpå målte man med en PTR-MS, som kan identificere tusindvis af enkeltstoffer. I nedenstående oversigt ses alle de identificerede stofgrupper, samt tilhørende målte koncentrationer af enkeltstoffer. Der

blev målt fem gange, fordelt mellem dag 1 og dag 175 efter udførelse. Den generelle tendens er, at emissionsraten for de forskellige stoffer er nedadgående. I nedenstående tabel er markeret syv kemiske forbindelser, som blev undersøgt nærmere og sammenlignet med de senere udførte kammertests. Det skal understreges, at grænseværdier fra Umweltbundesamt (Guide Value 1) og EU-LCI grænseværdier ikke kan sammenholdes direkte med kammertestresultater. Guide Values 1 afspejler rumluftniveauer ved prøvetagning i almindelige rumluft, mens EU-LCI forholder sig til kammertest efter 28 dage.

Stofgruppe	Kemisk forbindelse	Grænseværdier*	Måling 1	Måling 2	Måling 3	Måling 4	Måling 5	
			Dag 1 µg/m ³	Dag 14 µg/m ³	Dag 42 µg/m ³	Dag 107 µg/m ³	Dag 175 µg/m ³	
Aldehyder	<u>Formaldehyd</u>	<u>Guide Value 1</u>	<u>100</u>	79,6	59,5	62,7	28,0	41,4
	<u>Acetaldehyd</u>	<u>Guide Value 1</u>	<u>100</u>	243,8	114,4	119,7	58,3	37,9
	<u>Furfural</u>	<u>Guide Value 1</u>	<u>10</u>	28,2	<u>26,8</u>	<u>17,2</u>	<u>17,5</u>	<u>0,0</u>
	Benzaldehyd	Guide Value 1	20	27,0	42,7	15,1	4,7	4,1
Alkoholer	Methanol	-	-	1676,0	1100,4	1288,4	567,1	601,7
	Ethanol	-	-	118,3	78,6	63,3	46,6	24,5
	<u>1-butanol</u>	<u>Guide Value 1</u>	<u>700</u>	152,9	86,7	88,2	48,8	24,7
	Benzylalkohol	Guide Value 1	20	21,2	11,7	8,8	1,1	7,3
	2-butoxy-ethanol	Guide Value 1	100	5,1	3,1	1,4	0,0	0,0
	2-phenoxy-ethanol	EU-LCI	60	11,0	10,0	6,1	2,7	0,0
Benzener	2-(2-butoxy-ethoxy)-ethanol	Guide Value 1	400	0,0	1,6	0,6	0,0	0,0
	Benzen	-	-	5,5	14,2	0,9	0,0	0,0
	Toluene	Guide Value 1	300	18,6	79,2	28,5	0,0	43,3
	Styren	Guide Value 1	30	6,3	4,2	1,7	0,5	0,9
	Naphthalen	Guide Value 1	10	6,2	3,1	1,9	0,0	0,0
	2-methylnaphthalen	Guide Value 1	10	6,4	2,4	3,5	0,7	0,0
Carboxylsyrer	1,4-dichlorobenzen	EU-LCI	150	0,0	13,7	0,0	0,0	0,0
	<u>Eddikesyre</u>	<u>EU-LCI</u>	<u>1200</u>	496,7	608,2	389,0	639,7	245,8
	Pentansyre	-	-	33,2	17,9	15,8	5,1	2,1
Ketoner	Acetone	-	-	592,5	367,6	355,3	152,2	93,2
	2-butanon	EU-LCI	20000	128,7	58,8	52,3	0,0	0,0
	Cyclohexanon	EU-LCI	410	39,9	8,0	5,1	0,0	0,0
	Benzophenon	-	-	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Phenoler	<u>Phenol</u>	<u>Guide Value 1</u>	<u>20</u>	25,9	21,6	14,4	6,7	18,8
Terpener	<u>Terpener (α-pinen, camfen)</u>	<u>Guide Value 1</u>	<u>1000</u>	242,4	168,1	127,1	48,0	43,9

*EU-LCI forholder sig til produkttest og ikke prøvetagninger i rumluft. Guide Value 1 forholder sig til rumluft og ikke prøvetagning i kammer.

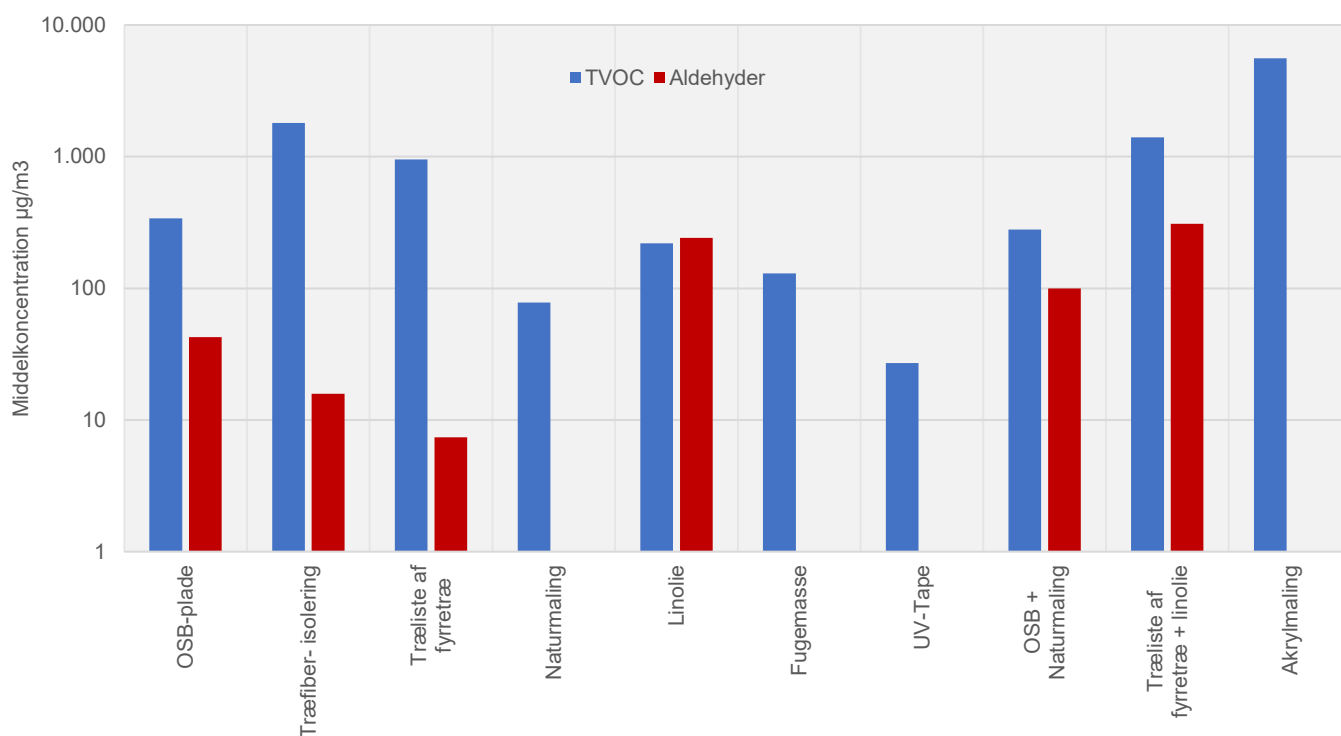
Tabel 1 - Registrerede stoffer i NO-Tech huset samt markering af udvalgte specifikke afgasninger som udfordrede eller nærmede sig grænseværdier i Umweltbundesamt (Guide Value 1 for rumluft) eller EU-LCI (kammertest – 28 dage).

Produkternes afgangning i kammertest

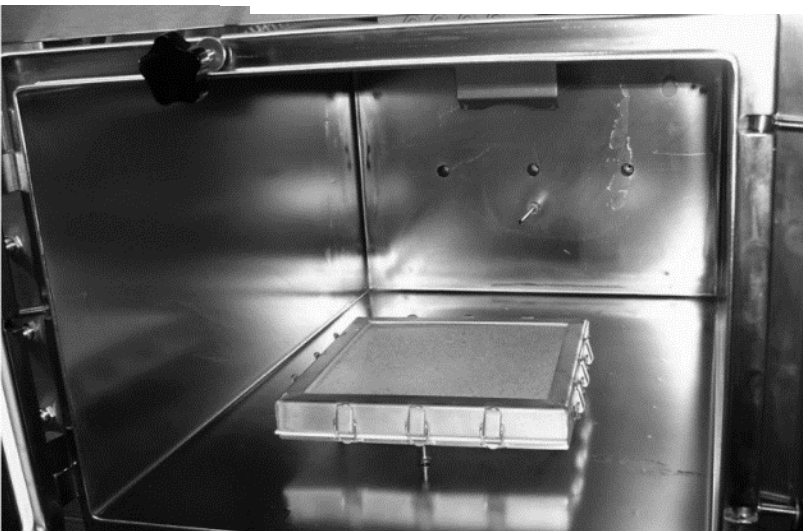
Byggematerialerne viste sig i kammertestene at afgasse en lang række forskellige kemiske stoffer. Som det ses i nedenstående *logaritmiske* graf (bemærk skala til venstre!), var det især akrylmalingen og træfiberisoleringen som afgassede større mængder flygtige organiske stoffer. Kombinationen af fyrretrælisten og linolien gav også et relativt højt niveau af VOC'er. Ser man specifikt på aldehydafgasninger, var det igen de træbaserede produkter og linolien, som gav udslag. Det er nok overraskende for de fleste, at selv naturmaterialer, som træ og linolie, altså har afgangning af både VOC'er og aldehyder, som kan være sundhedsfarlige. Som det ses i ovenstående tabel 1, så var der desværre flere tilfælde hvor grænse-

værdien for rumluft var overskredet jf. Umweltbundesamts Guide Value 1. Dog er der først flyttet beboere ind efter forsøgets afslutning, hvor alle niveauer af kemiske stoffer for længst var under grænseværdierne fra Guide Value 1. Havde beboerne flyttet ind direkte efter byggeriets aflevering, havde historien været en anden.

Det er svært at sige, hvor vidt de forøgede rumluftniveauer skyldes enkeltmaterials afgangning i sig selv, eller at netop disse afgangning reagerer med andre stoffer i indeklimaet og derved skaber nye, sundhedsfarlige stoffer; den såkaldte cocktaileffekt. Under afsnittet "resultater fra kombinationseffekt" ses hvilke effekter projektgruppen fandt frem til i nærværende projekt.



Figur 3 – Kammertest: TVOC og aldehydafgasning fra de forskellige byggematerialer



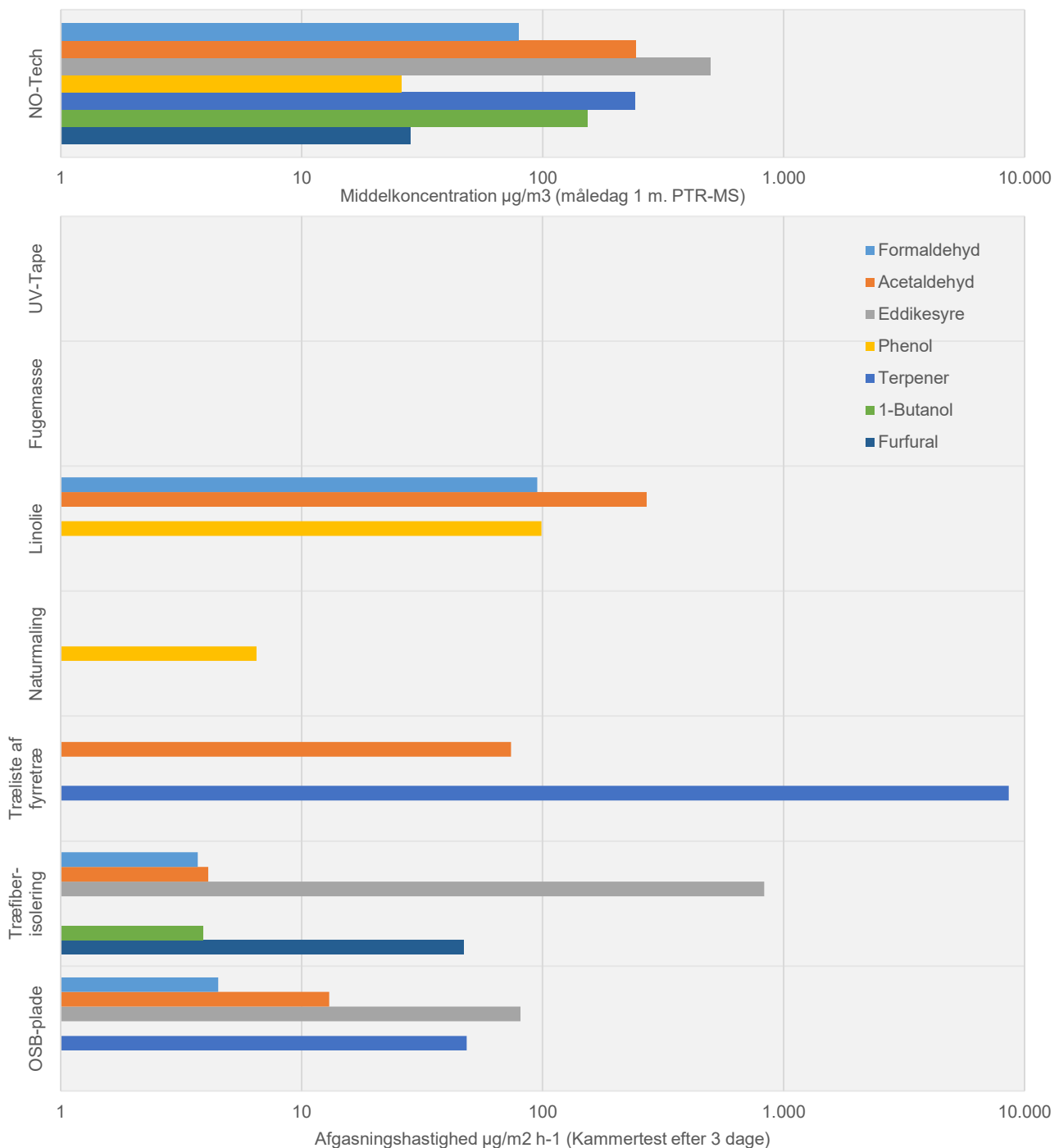
Afgasningernes oprindelse

Performancetesten i de Sunde Boliger udpegede de specifikke kemiske stoffer, som optrådte i større mængder (se ovenstående Tabel 1). Kammertestene blev herefter søsat for at se, om disse forhøjede afgasninger kunne spores tilbage til bestemte byggematerialer.

I nedenstående grafer præsenteres de 7 markant tilstedeværende stoffer. De to grafer kan ikke sammenlignes direkte; den øverste, fra huset, viser en middelkoncentration pr kubikmeter (volumen), mens de øvrige, fra kammertestene, viser afgasningshastigheden pr. kvadratmeter (overflade). Alligevel kan der konstateres en vis sammenhæng; de målte stoffer i huset kan i flere tilfælde spores tilbage til de udvalgte materialer.

Som det ses, er alle de stærkest repræsenterede stoffer fra husene også repræsenteret i de udførte kammer-tests. Rumluftens indhold af specifikke kemiske stoffer er imidlertid afhængig af flere parametre. Det kan fx være størrelsen af et afgassende materiales overflade i forhold til rummets volumen, størrelsen af luftskiftet i boligen eller kombinationseffekter, som skaber ny eller forstærket kemi.

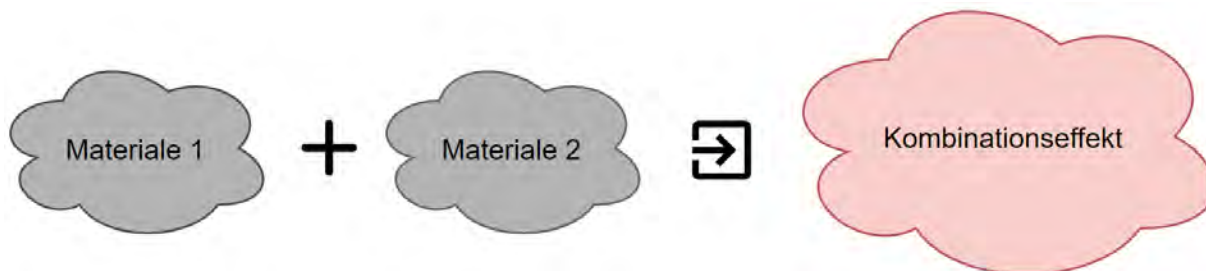
Derfor kan vi ikke konkludere med sikkerhed at rumluftens indhold af eksempelvis terpenener stammer 100 % fra OSB-plader og trælistes af fyrretræ. Vi kan dog konkludere, at disse produkter bidrager til rumluftkoncentrationen - med stor sandsynlighed væsentligt.



Forsøg med kombinerede materialer

Mødet mellem to forskellige enkeltstoffer kan have flere forskellige udfald. De kan fx helt upåvirkede af hinanden fortsætte hver for sig som oprindeligt; men de kan også reagere med hinanden og blive til et eller flere nye enkeltstoffer. For at kortlægge, hvordan to sæt af to udvalgte materialer i NO-Tech huset reagerer kemisk med hinanden, blev der udført to kombinationsforsøg.

Første test inkluderede linolie og en træliste af fyr, som både blev testet hver for sig, men også i kombination, hvor linolien blev strøget på trælisten. Det andet forsøg testede OSB-plade og linoliemaling, igen både hver for sig og i kombination, hvor linoliemalingen blev strøget på OSB-pladen.

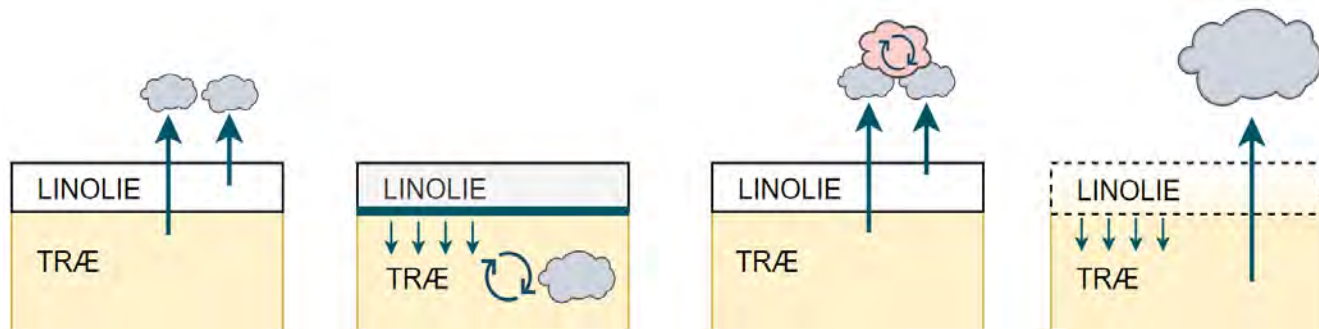


Figur 4 - OSB-plade med maling til venstre og fyrretræ med linolie til højre.

Afgasningsprocesser ved kombinerede materialer

Et byggemateriale afgasser ofte flere forskellige stoffer, som kan interagere på forskellig måde med de tilsvarende afgasningsprodukter fra et andet byggemateriale. Når linolie eksempelvis påføres et træprodukt, kan der forekomme følgende effekter, som illustreret i nedenstående figur:

1) Status quo: Afgasninger fra begge materialer fortsætter uændret og reagerer ikke.



2) Forsegling: Linolien danner en forsegling på træet som tilbageholder afgasninger fra træet.

3) Ny kemi: Nye stoffer dannes fra kemiske reaktioner på overfladen eller i luften.

4) Forstærkning: Stoffer i træet trækkes ud ved påføring af linolie og afgasningen af disse stoffer til luften forstærkes hermed.

Resultater fra kombinationstest

Forskningsteamets forventning til kombinationstestene var, at linoliemalingen og linolien i høj grad ville forsegle afgangenerne fra fyrretræ og OSB-plade. Resultaterne viste sig at være langt fra det forventede:

Linolie på fyrretræ

I tabellen herunder ses de mange enkeltstoffer, som afgasses af træliste, linolie og kombinationen af de to. 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 forsejlet fuldt eller i nogen grad. Andre stoffer, som 2-Pentalen og 1-Butanol, kunne ikke måles i træ eller lin-

olie 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. Blandt de nye kemikalier opstod eksempelvis 2-pentalen, et kemisk stof med grænseværdi jf. EU-LCI listen på max 7 µg/m³ efter 28 dage. Selvom nærværende kamertest kun er forløbet over 3 dage og dermed ikke kan sammenlignes direkte med EU-LCI værdierne, er det foruroligende, at der ved kombination af to gængse naturprodukter, blandt andet dannes et brandfarligt, akut giftigt, miljøskadeligt og sundhedsfarligt stof.

Enkeltstoffer	CAS-nr.	Træliste af fyrretræ	Linolie	Træliste af fyrretræ + linolie	
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	% - ændring
Sum Ikke-identificerede		4,8	143,3	87,8	-41%
Sum Ikke-identificerede	<C6	0	14,4	13,2	-8%
Toluene	108-88-3	4,2	0	0	-100%
Phenol *	108-95-2	0	9,9	0	-100%
Pentalen	110-62-3	19	0	67	253%
Other Alkylbenzene *	1-1-1	7,7	0	4,4	-43%
Heptanal	111-71-7	0	2,4	4	67%
Dimethyl glutarate *	1119-40-0	0	3,5	0	-100%
.beta.-Myrcene *	123-35-3	16	0	20	25%
2-Butenal *	123-73-9	0	18	0	-100%
β-Pinene *	127-91-3	71	0	180	154%
3-Caren *	13466-78-9	350	0	390	11%
Limonene *	138-86-3	87	0	45	-48%
Hexanoic acid *	142-62-1	0	8,7	0	-100%
2-Ethylhexanoic acid *	149-57-5	0	3,3	2,2	-33%
2-Pentalen *	1576-87-0	0	0	12	NY KEMI
Bicyclo[2.2.1]heptan-3-one, 6,6-dimethyl-2-methylene- *	16812-40-1	3,5	0	0	-100%
Fenchol *	2217-02-9	2,4	0	3,2	33%
Other Alkylbenzene *	2-2-2	0	0	14	NY KEMI
(-)-alpha-Phellandren *	4221-98-1	2,3	0	2,3	0%
2,4-Heptadienal, (E,E)- *	4313-03-5	0	15	0	-100%
(+)-Campher *	464-49-3	0	0	5,3	NY KEMI
1-Terpinen-4-ol *	562-74-3	0	0	6,3	NY KEMI
2-Heptenal *	57266-86-1	0	2,9	3,1	7%
Terpinolene *	586-62-9	24	0	26	8%
Tricyclo[5.4.0.0(2,8)]undec-9-ene, 2,6,6,9-tetramethyl- *	5989-08-2	0	0	8,8	NY KEMI
1-Penten-3-ol *	616-25-1	0	14	0	-100%
Hexanal	66-25-1	12	0	79	558%
1-Butanol	71-36-3	0	0	5,6	NY KEMI
Camphene *	79-92-5	5,6	0	5,9	5%
α-Pinene *	80-56-8	320	0	380	19%
α-Terpineol *	98-55-5	7,4	0	28	278%
γ-Terpinene *	99-85-4	4	0	4,7	18%
α-Terpinene *	99-86-5	3	0	2,4	-20%
TVOC C6-C16		950	220	1400	20%
Formaldehyd	50-00-0	0	9,5	8	-16%
Acetaldehyd	75-07-0	7,4	27	43	25%
Propionaldehyd	123-38-6	0	190	240	26%
Butyraldehyd	123-72-8	0	0	6,6	NYKEMI
2-butenal	123-73-9	0	15	12	-20%
Glutaraldehyd	111-30-8	0	0	0	0%
Total aldehyder		7,4	241,5	309,6	24%

* Alle de stoffer for hvilke testinstituttet ikke er akkrediterede.

Linoliemaling på OSB-Plade

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 afgasninger. Det er de færreste af stofferne som fortsætter afgasningen 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 afgasninger 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 afgasninger fra de to materialer, men desværre også en del uforudsete kombinationseffekter som kan have sundhedsmæssige konsekvenser i rette mængder.

Enkeltstof	CAS-nr.	OSB-Plade µg/m ³	Naturlimning µg/m ³	OSB-Plade + Naturlimning µg/m ³	%-ændring
Sum Not identified *		0	16,5	8,7	-47%
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	0	2,7	0	-100%
Benzene, heptyl- *	1078-71-3	0	2,1	0	-100%
Toluene	108-88-3	8,7	5,4	6,8	-52%
Phenol *	108-95-2	0	13	2,3	-82%
Pentanal	110-62-3	18	0	48	167%
Heptanal	111-71-7	2,1	0	7	233%
Ethyldiglycol *	111-90-0	0	15	0	-100%
Ethanol, 2-[2-(2-ethoxyethoxy)ethoxy]- *	112-50-5	0	8,7	0	-100%
β-Pinene *	127-91-3	11	0	11	0%
3-Caren *	13466-78-9	32	0	33	3%
Limonene *	138-86-3	7,7	0	7,7	0%
n-Heptane	142-82-5	0	8,6	0	-100%
2-Pentylfuran *	3777-69-3	3,8	0	4,4	16%
Tetraethylenglycoldiethylether *	4353-28-0	0	8,4	0	-100%
Terpinolene *	586-62-9	0	0	3,2	NY KEMI
Acetic acid *	64-19-7	160	0	0	-100%
Hexanal	66-25-1	53	0	110	108%
α-Pinene *	80-56-8	46	0	44	-4%
α-Terpineol *	98-55-5	0	0	4	NY KEMI
TVOC C6-C16		340	78	280	-33%

Formaldehyd	50-00-0	8,9	0	11	24%
Acetaldehyd	75-07-0	26	0	40	54%
Propionaldehyd	123-38-6	5	0	39	767%
Butyraldehyd	123-72-8	3	0	10	223%
2-butenal	123-73-9	0	0	0	0%
Glutaraldehyd	111-30-8	0	0	0	0%
Total aldehyder		16,5	0	100	506%

* Bille de stoffer for hvilke testinstituttet ikke er akkrediterede.



Akrylmaling versus linoliemaling

Kan det betale sig at bruge linoliemaling i forhold til en standard tilgængelig akrylmaling, når man tænker på VOC afgasningen? Forskningsteamet undersøgte linoliemaling og valgte efterfølgende at undersøge en almindelig akrylmaling for at sammenligne afgasninger netop i forhold til, hvilke dampe vi indånder i den første tid efter der bliver malet. I nedenstående resultatliste ses, at akrylmalingen afgasser væsentligt flere VOC'er end linoliemalingen. Akrylmalingen afgassede i høj grad texanol, som er et opløsningsmiddel, der ikke er undersøgt

meget. Hverken akrylmalingen eller linoliemalingen havde aldehydafgasninger. Det er svært at svare med sikkerhed på, hvilken maling som bør anvendes, men akrylmalingen indeholdt både flere afgasninger af flygtige organiske stoffer og samtidig afgasning af det allergifremkaldende stof MI. Forsøgene blev ydermere udført som individuelle 3-dags test, og derfor ved vi heller ikke hvordan afgasningerne vil udvikle sig i kombination og/eller over længere tid. Dette vil kræve yderligere tests.

Enkelstof	CAS-nr.	Naturmaling µg/m ³	Akrylmaling µg/m ³
Sum Not identified	-	16,5	132,8
Ethylbenzene	100-41-4	0	3,8
n-Propylbenzene	103-65-1	0	3,4
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	2,7	14
Benzene, heptyl- *	1078-71-3	2,1	0
Toluene	108-88-3	5,4	2,7
Phenol *	108-95-2	13	4,1
Butanoic acid, butyl ester *	109-21-7	0	7
Other Alkylbenzene *	1-1-1	0	6,4
Methyldiglycol *	111-77-3	0	19
Ethyldiglycol *	111-90-0	15	0
Butyldiglycol *	112-34-5	0	130
Ethanol, 2-[2-(2-ethoxyethoxy)ethoxy]- *	112-50-5	8,7	0
n-Heptane	142-82-5	8,6	9,3
n-Butyl ether *	142-96-1	0	4,4
1,3-Pentanediol, 2,2,4-trimethyl- *	144-19-4	0	43
4-Heptanone, 3-methyl- *	15726-15-5	0	2,1
m/p-Xylene *	179601-23-1	0	12
Texanol *	25265-77-4	0	4600
2-methyl-4-isothiazolin-3-on *	2682-20-4	0	38
Tetraethylenglycoldiethylether *	4353-28-0	8,4	0
1,2-Propandiol (Propylene glycol) *	57-55-6	0	470
Propanoic acid, butyl ester *	590-01-2	0	2,3
TXIB *	6846-50-0	0	18
1-Butanol	71-36-3	0	5
1-Phenoxypropan-2-ol *	770-35-4	0	3,7
Isobutyric acid *	79-31-2	0	58
o-Xylene	95-47-6	0	2,8
TVOC C6-C16		78	5600

* Alle de stoffer for hvilke testinstituttet ikke er akkrediterede.

Bilag 6



Danmarks Tekniske Universitet

INVENTORY ANALYSIS OF
THE BREATHABLE HOUSE



ARCHITECTURAL ENGINEERING

BSc THESIS PROJECT 2016

Taif Adel Adnan Alazzawi

Project type: BSc thesis, DTU
Project title: Inventory analysis of the Breathable House
Made by: Taif Adel Adnan Alazzawi, s123335, DTU Civil
Project period: September 1 2015—January 21 2016
Supervisor: Morten Birkved, DTU Management Engineering

.....
Date and signature

PREFACE

This thesis is written in fulfillment of the requirements for the BSc in Architectural Engineering at the Technical University of Denmark. The thesis is a result of 5 months of research, modeling and analysis in corporation with Egen Vinding & Datter, who provided the case study building. A big thank to Per Sørensen from Egen Vinding & Datter who provided data and drawings about the Breathable House. Also special thanks go to my supervisor Morten Birkved for continuous guidance, advice and discussions.

ABSTRACT

This bachelor thesis investigated the methodological approach taken in the inventory analysis part of the life cycle assessment for sustainable one single-family house. The study also included estimation of the use of related material and energy consumptions.

The inventory was based on the supplied data and drawings delivered by Egen Vinding & Datter, where this study calculated the masses of the various materials that have been used in the Breathable House by using this data and the density of the different materials. In the study the Breathable House was modeled in Quantis Suite 2.0 with the purpose to estimate the energy consumptions and environmental impact. The results were subsequently used for later comparison with a reference house from SBi 2015.

The results of this thesis showed that the Breathable House's biggest impacts come from the internal materials. Materials such as geotextile and clay contribute to "Human health" and "Ecosystem quality" respectively.

Regarding the external materials the material steel had the biggest impact in 3 out of 5 categories. This was expected with the knowledge that was acquired before this study was conducted. The smallest environmental impact was from the transport of the materials. Egen Vinding & Datter used local suppliers, which means they managed to import all the materials within the distance of 1259 km.

For comparison between the Breathable House and the reference house it has been calculated that the reference house's impact pr. year for 50 years is 7,4 kg CO₂-eg/m²/year. In comparison the Breathable House has a total environmental impact of 6,32 kg CO₂-eg/m²/year. This study concluded that Egen Vinding & Datter manage to build an environmental house based on some alternative and sustainable materials. The house manages to have lower environmental impact than a standard Danish house single-family house.

CONTENT

PREFACE	1
ABSTRACT	2
CONTENT	3
1. INTRODUCTION	4
2. THEORY	5
2.1 WHAT IS SUSTIANABILY?	5
2.2 WHAT IS A LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)?	7
2.3 WHAT IS AN INVENTORY ANALYSIS?	10
<i>2.3.1 CONDUCTING AN INVENTORY ANALYSIS</i>	<i>11</i>
2.4 LCA APPLIED ON BUILDINGS	12
2.5 BUILD CLOSER CONTRIBUTE TO MORE SUSTAINABLE BUILDINGS	14
3. PROJECY METHOD	17
3.1 CASE STUDY - THE BREATHABLE HOUSE	18
3.2 CASE STUDY - THE REFERENCE HOUSE	19
3.3 DATA COLLECTION	20
3.4 APPLIED MODEL FOR CALCULATION	21
3.5 CALCULATING LCI RESULTS	21
<i>3.5.1 MATERIALS AND MANUFACTURING STAGE</i>	<i>22</i>
<i>3.5.2 TRANSPORTAION</i>	<i>23</i>
4. RESULTS	23
4.1 LCA ANALYSIS	23
5. DISCUSSION	30
5.1 INDOOR CLIMATE	31
5.2 DISPOSAL PHASE	31
6. CONCLUSION	35
7. SOURCES	36

1. INTRODUCTION

The world is facing a major pressure on the climate and ecosystems more than ever. The results of this include increasing temperatures, waste assimilation in oceans, air pollution, an increase in biodiversity loss; just to name a few. These effects are follows from globally increasing population, constant rising consumption levels, poverty as well as current financial and economic structures (Brejnerod, K., The absolute sustainable building, 2015).

The energy consumption all over the world is influenced by buildings. The buildings use energy throughout their lives. From their construction phase to their demolition phase. The demand for energy in a building through its life cycle is direct and indirect (Cabeza et al. 2013). Recent studies have shown that buildings all over the world are responsible for 30-40% of the energy usage and 40-50% of the world greenhouse gas emission (Sumuaní et al. 2013). To deal with such an environmental problem, many solutions have been tried and more solutions are yet to be discovered.

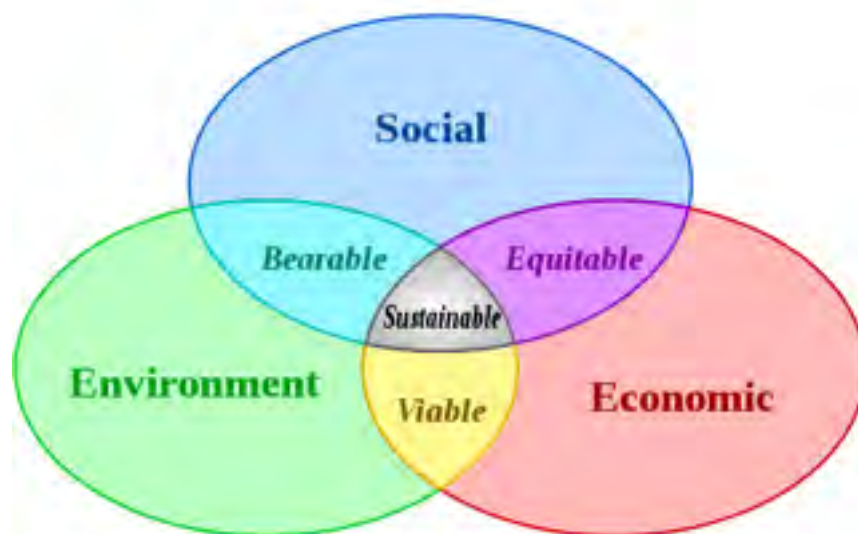
This year the world leaders have committed to 17 Global Goals to be achieved in the next 15 years (GlobalGoals, 2015). The Global Goals is for a sustainable development. Two of the goals are fixing climate change and responsible consumption and production. It implies that the building sector is facing a major environmental problem and to solve that problem, sustainable solutions and tools need to be developed. One tool that has existed for a while is the Life Cycle Assessment (LCA). Many industries have been trying to perform LCAs on products, services and buildings. Despite the International Organization Standardization Standards on LCA it has been a challenge because of the large variation of LCA approaches and scopes.

This project will try to establish a full inventory of The Breathable House developed by Egen Vinding & Datter that includes estimation of the material and energy consumptions related to 'use'. To estimate the sustainability of the Breathable House there will in this project be used a classic Danish reference house to compare the buildings.

2. THEORY

In this chapter all the relevant reading material and the needed background knowledge will be listed and defined. The chapter covers the following topics: What is sustainability? What is a Life Cycle Assessment? What is an Inventory Analysis? How the Life Cycle Assessment can be applied on buildings and how building closer can contribute to more sustainable buildings.

2.1 WHAT IS SUSTIANABILY?



Figur 2.1 The three dimensions that create sustainability (Thwink, 2015)

The Brundtland Commission has defined a sustainable development as something that *“meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”* (Hauschild, M., Putting numbers on sustainability, 2015). To create sustainable solutions there are three interacting dimensions that must be considered: environment, economic and social.

The definition of environmental sustainability is listed in three categories. First one is renewable resource that describes the rate of harvest. A rate that should not exceed the rate of regeneration (Thwink, 2015). The second one is pollution.

Pollution describes the rate of waste generation from projects. This rate should not exceed the assimilative capacity of the environment (ibid.). The last category is nonrenewable resources. The depletion of the nonrenewable resources should require comparable development of renewable substitutes for that resource.

The definition of economic sustainability occurs when a unit, e.g. political or a nation, has the wanted percentage of its population below its minimum standard of living level. That percentage needs to be somewhere around 5% or less. That is preferred because any value below the level implies suffering (ibid.) There is not an economic sustainability without the inclusion of money. This could be a sustainable money flow and some kind of profit.

The definition of social sustainability is the ability of a social system to function at a defined level of social well-being indefinitely. That level should be defined in relation to the goal of humans that is optimizing quality of life for those living and their descendants (ibid.)

What is the definition of a sustainable building then? A sustainable building is a building where the creation of and created structures as well as use of and used processes are environmentally responsible and resource-efficient throughout the building's life cycle. A life cycle of a building can be defined as including the following phases: design, construction, operation, maintenance, renovation and deconstruction (Archive.epa, 2015). Table 1 shows the impacts of the built environment.

ASPECTS OF BUILT ENVIRONMENT	CONSUMPTION	ENVIRONMENTAL EFFECTS	ULTIMATE EFFECTS
<ul style="list-style-type: none"> • Siting • Design • Construction • Operation • Maintenance • Renovation • Deconstruction 	<ul style="list-style-type: none"> • Energy • Water • Materials • Natural resources 	<ul style="list-style-type: none"> • Waste • Air pollution • Water pollution • Indoor pollution • Heat islands • Storm water runoff • Noise 	<ul style="list-style-type: none"> • Harm to human health • Environment degradation • Loss of resources

Table 1 - The impacts of the built environment (Archive.epa. 2015)

A sustainable building is designed to reduce the overall impacts of the built environment on human health and natural environment. A sustainable building might incorporate sustainable materials in their construction (ibid.). That could be reused or recycled content or the construction is made from renewable resources. The impact of that would be reducing waste, pollution and environmental degradation (ibid.). A sustainable building contributes to healthy indoor environments with minimal pollutants. The impacts of that would be protecting occupant health and improving humans' productivity (ibid.). The last contribution of a sustainable building is reduction of water usage. The impact of that will be efficient consumption of energy, water and other resources (ibid.).

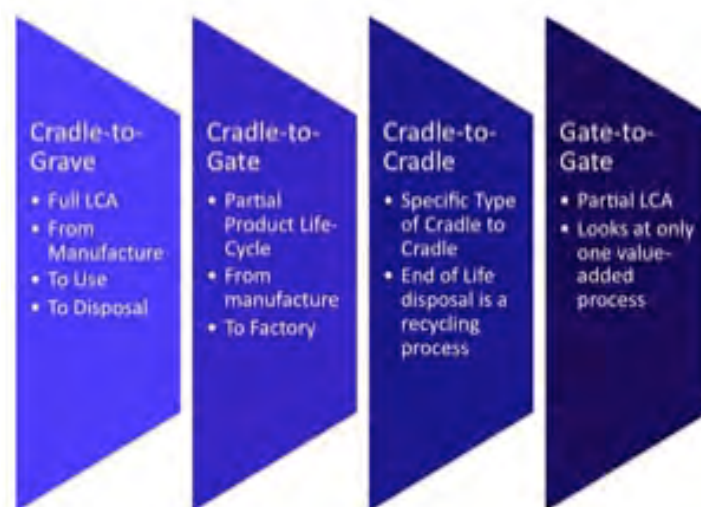
2.2 WHAT IS A LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)?

The LCA is an application that can be used for the assessment of products and systems alike. In this case it can be used to assess building materials, constructions, chemicals, etc. (Bayer et al. 2010).

The Life Cycle Assessment application is governed under ISO 14000, which is an international standard that describes environmental management. According to ISO 14040 the official definition of an LCA is, “*Compilation and evaluation of the inputs, outputs and the potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle.*” (ibid.).

The LCA can assist in identifying opportunities to improve the environmental performance of a building in any points of the building’s life cycle. The LCA might also be used for informing decision-makers in the building industry, government or non-government organization. It can also assist in the selection of relevant indicators of environmental performance; which might include measurement techniques and marketing.

Depending on the LCA scope it can be extended to cover various stages and processes in a building’s life. There are two primary variants for conducting the LCA: the Process-based LCA, and the Economic Input-Output based LCA (Bayer et al. 2010). Since this thesis is about The Breathable House, the LCA methods implemented in the building construction industry for this case are based primarily on process-based LCA; which these methods can be separated into the four types as shown in figure 2.2:



Figur 2.2 - Type of Process-Based LCA Methodes (Bayer et al, 2010)

Here, the inputs are materials and energy resources, while the outputs are emissions and waste to the environment (ibid.).

The LCA approach to be used in this case is the cradle-to-grave approach. The reason that cradle-to-grave is used is that this process includes the building's use phase, which is the phase of high interest. At the end of the assessment it is expected that the LCA will show how the building itself or one or more of its processes might be optimized in terms of environmental impact. The LCA addresses two kinds of aspects: the environmental aspects, and the potential aspects. These aspects address from the raw material acquisition to production, use, recycling and the final stage of disposal. The flowchart in Figure 2.3 shows these aspects.

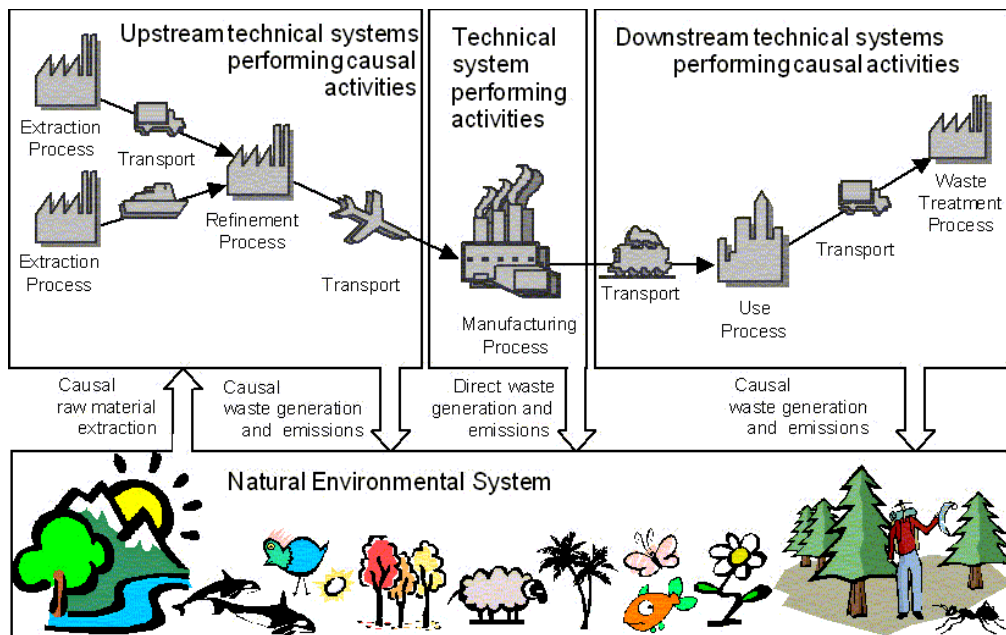


Figure 2.3 - The LCA process (Bayer et al. 2010)

This thesis focuses on the inventory analysis phase. To conduct a LCA and to learn more about the phases, ISO 14040 and ISO 14044 explains more detailed the requirements.

2.3 WHAT IS AN INVENTORY ANALYSIS?

This theory is selected because it helps to understand how the data for the Life Cycle Inventory (LCI) can be collected. Moreover, the theory helps describe the process to make a complete LCI.

Before defining what an LCI is, the term 'elementary flow' needs to be clarified first since the LCI grounds in it. Elementary flows are the flow that is crossing boundaries between the environment also known as the ecosphere and the technosphere. The Life Cycle Inventory contains an inventory of all the inputs and outputs that may be included to and from the product system (Bayer et al. 2010). In identifying the elementary flows the energy and raw materials used are quantified for each process (ibid.). Similarly, the emissions to atmosphere, water and soil are quantified for each process. These data must be collected. The collection of the data requires data about physical flows of substances also known as elementary flows and the products that are used in the processes of the product system (Birkved et al., 2014). The data from the different processes belongs to two kinds of systems: the foreground system, and the background system. The foreground system is defined by the parts of the product process which are specific to the product and the activity due its life cycle; e.g. processes involved in the manufacture phase (ibid.). The background system is about the process that is running in the background, but a system that the products draw on; e.g. electricity for the production (ibid.). Figure 2.4 illustrates the inventory theory.

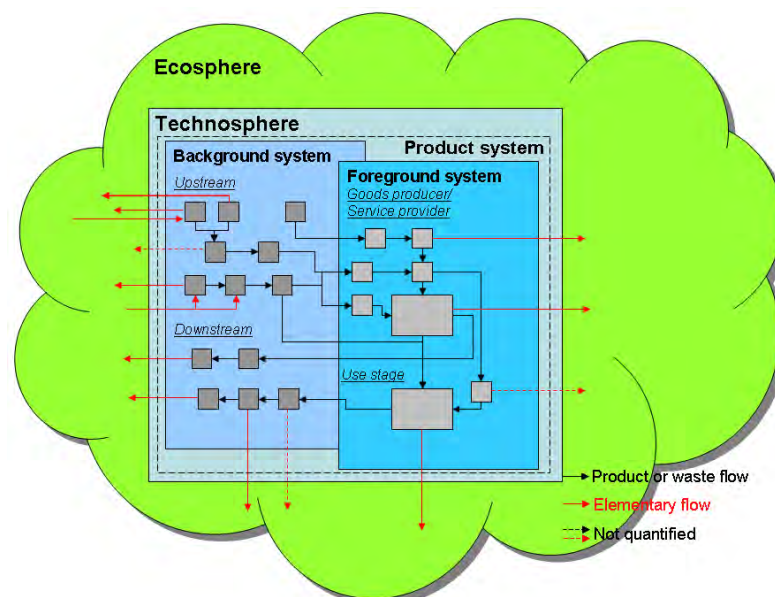


Figure 2.4 – The technosphere are divided into a foreground system and a background system (Birkved et al. 2014)

In the LCA practice two main LCI modeling principles can be used: attributional modeling and consequential modeling. In this project only the attributional modeling will be addressed, since this is the relevant modeling for the Breathable House. Further information about the consequential modeling can be found in the ILCD handbook.

The attributional modeling is known for being a form of bookkeeping modeling (European Commission, ILCD handbook, 2010). The attributional modeling depicts the potential environmental impact that can be attributed to the system over its life cycle. The data that is used for attributional modeling is historical, fact-based, measurable data of known uncertainty (ibid.). This includes all the processes that are identified to relevantly contribute to the system.

2.3.1 CONDUCTING AN INVENTORY ANALYSIS

Conducting an inventory analysis is an iterative process. The process begins with planning the data collection. Questions as where to find the data and how to find the data needs to be asked in this phase (Laurent et al. 2015). Next phase is collection of data. The collection of data can come from online sources (the Internet) as well as literature. In this step extrapolation from similar process databases, data networks, papers, books and green accounts is also a possibility (ibid.). Data can also be collected by conducting questionnaires (ibid.). A questionnaire will be made to the contractors and in this way gain data. The questionnaire can also be sent and after followed up with a visit to the contractor (ibid.). This can provide insight into the product in question and the processes behind it, and can lead to a more accurate data collection. Other less accurate methods to data collection are estimations and measurements (ibid.).

The estimations are based on modeling from process knowledge, and the measurements are based on mass of e.g. materials and average performance energy conservation.

When the data has been collected they need to be validated (ibid.). In this phase the data need to be investigated. They need to be investigated in terms of time, so whether or not the data is up to date and if new data as well requirements have been issued by e.g. the authorities. If that is the case these need to be considered in the data collection as well.

Once the data has been validated it needs to be scaled to the unit process and to the functional unit (ibid.). At the end, the inventory calculations can be done. This step can be made easier by using (commercial) LCA software (ibid.). Figure 2.5 shows the different phases in the LCI process.

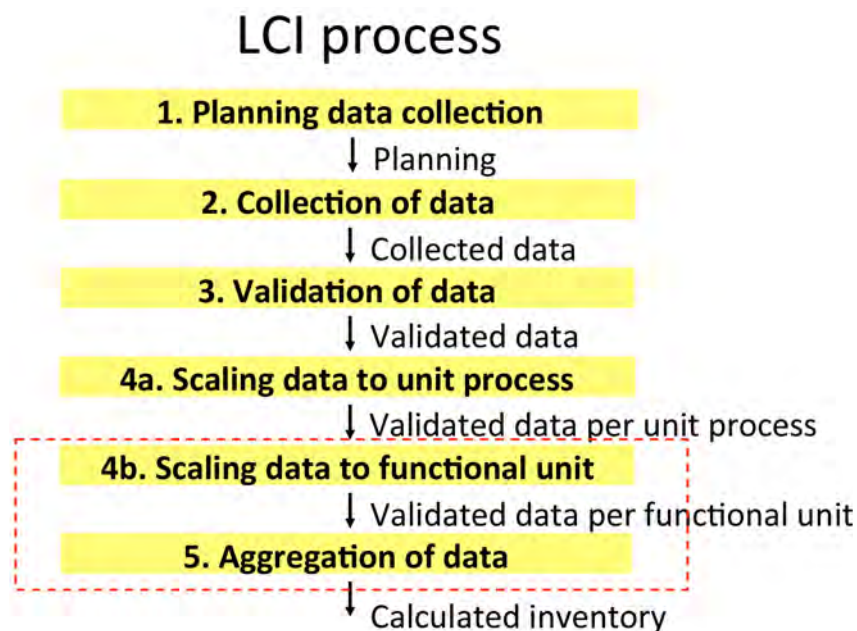


Figure 2.5 - The Life Cycle Inventory process (Laurant et al. 2015)

2.4 LCA APPLIED ON BUILDINGS

LCA on industrial products has been performed for several years. In the late 1990's application of LCA on buildings began to develop. The Life Cycle Assessment of a

building is based on the CEN/TC 350 standard (Eco-platform). The standard describes four phases (see Table 2) that include the building's total life cycle.

Stage	Module
1. Product stage	Raw materials supply
	Transport
	Manufacturing
2. Construction process stage	Transport
	Construction-installation on site processes
3. Use stage	Use
	Maintenance
	Repair
	Replacement
	Refurbishment
	Operational energy use
	Operational water use
4. End-of-life stage	Deconstruction-demolition
	Transport
	Waste treatment
	Final disposal

Table 2 - The four phases that describes the LCA on a building (Zabalza et al. 2013)

In the *product stage* the supply of starting materials and the needs of transport has been considered, and so has the manufacturing processes of all the included materials used for the construction of the building and the energy equipment (Zabalza et al. 2013).

In the *construction process stage* transportation of construction materials and energy equipment of the building needs to be evaluated. Similarly, the energy consumption of the machinery necessary for constructing the building and the waste occurred during the construction process including the transport and the final disposal of this waste has been included (ibid.).

The *use stage* of the building includes all the impacts associated with the operation and maintenance of the building throughout its whole lifetime. The operation of the building covers the consumption of energy that is needed for heating, cooling and hot water. Since a building need to be maintained, the impact of that maintenance needs to be included. The impact can be associated with the manufacture of the new

products and equipment, their transport from the factory to the building and the final disposal of the products and equipment replaced (ibid.).

The *end-of-life stage* considers the processes of deconstruction, transport and final disposal of all the construction materials and the energy equipment used throughout the service life of the building. It is also necessary to consider the final disposal scenario for each material; whether disposal in dumps or incinerators or shipment to classification plants for recycling (ibid.).

2.5 BUILD CLOSER CONTRIBUTE TO MORE SUSTAINABLE BUILDINGS

The resources on the planet are finite. In the current century, the global economy and population is growing more than ever, and therefore humanity is consuming the planet resources more than ever (Goldstein et al., 2012). The global economy is reflected in the development of cities, which is why the big cities around the world play a large role in the scale and direction of material flows (ibid.). This large demand of resource consumption is also a development of greenhouse gases and many forms of pollutions. The impacts each city has also vary from local to global impacts. The urban areas are absorbing the population growth around the world through national and international migrations (ibid.). By 2050 approximately 70% of the human population is expected to reside in urban environments (ibid.). This means the environmental pressures will increase parallel to the growth of the planet's urban population. It has become a form of culture that the human activity is concentrated in cities. Over time, the huge development has represented the problem and solution to global sustainability. Since more and more people are moving to the city, the cities have developed an overconsumption of resources and production of pollution.

In sustainable building, residential development and the suburbs are considered an evil, because the rate of settlement is not very high. In Denmark large parts of the population move out to the suburbs with a great desire for home-ownership, large

room, private garden, peace and quiet and better family-life (Kristiansen et al., 2001).

This leads to more land consumption, more energy consumption, and more transport needs (ibid.). Rather than expanding residential areas, it should be build higher and closer, and the city should be packed and not spread. It will therefore be necessary to mix housing and business. The benefit of that would be less transport-intensive, because there will be a better population base for public transport and shorter distances between home and work (ibid.).

The basic components of the city are the buildings. To create more sustainable cities every new house and every conversion needs to meet the requirements, which are greatly reduced resource consumption and improved usability in its life cycle from construction through its lifetime to its disposal, with a high degree of recycling.

The different components in a city are linked by a technical infrastructure that delivers energy, water, information technology services and disposal of sewage and solid waste. The technical infrastructure contributes to the environmental impact, but at the same time it also promotes community development based on high consumption. Therefore it is not only the buildings that must be more sustainable. There is a need for the development of a more sustainable society (ibid.).

In the cities, there is an extensive transportation of people and goods. So the sustainability must take care of the growing traffic on all fronts. The transportation needs to make with more efficient vehicles, and consumers must shift from private cars to public transport, walking, bicycling, and in general reduce the need for environmentally unfriendly transportation. To meet the criteria, a city must focus on developed availability instead of increasing distances (ibid.). To income the accessibility the citizen need to get around, at a reasonable time and money.

The green areas and lakes are important in the city. They contribute to overall well-being, and are important for the climate and a part of the city transport of substances (ibid.). The green areas are important for sustainability in two ways: they help increase welfare, and they have a potential to get the city textural circuit work better.

As mentioned already, the cities are where very large parts of the population live and works – and more are expected to come in the future. Attractive, well-functioning and vibrant cities are in itself an important social welfare. It is about conservation of the best buildings and urban green areas.

A city spends. Living, driving a car, maintaining housing, buying things for the home and garden, using the city's offer in terms of culture and entertainment - it is all consumption. The housing and urban-oriented expenditure represents over half of the total household consumption (ibid.). A city also indirectly affects consumption by maintaining and promoting. Large homes provide a high consumption and long distances require a lot of transportation. Therefore, it is difficult to imagine a more sustainable consumption with less material consumption without changing the layout of the city. Sustainable development requires to find out how the city with its neighborhoods and housing should be adapted if the welfare needs to be increased at the same time as the consumption have less environmental impact (ibid.).

Earlier it was explained how sustainability works on a large scale, so following the effect that sustainable cities have on sustainable buildings will be explained. The construction and renovation of buildings leads to high-energy consumption and large quantity of materials. By demolishing building large amounts of waste are created. The greatest environmental impact occurs in the use-phase (ibid.). The residence is for most families the largest consumer goods. Its qualities together with its surroundings and the urban environment are great importance for welfare and health. Therefore a building needs to reduce resource consumption, but at the same time increase welfare. This can be implemented on new constructions, renovations and uses of buildings. In new buildings, there is great freedom in the choice. The work can be done with brand alternative designs of the buildings, choice of building materials and new housing types. That can further on be worked with in terms of the land around the buildings and buildings interactions with their environment, e.g. soil, hydrological conditions, local climate, opportunities for water management and residents recreational needs (ibid.).

A study conducted by Benjamin Goldstein sheds light on sustainability in cities. The result of that study pointed out how sustainable buildings can contribute to sustainable cities. For instance, low consumption of meat and dairy per capita (Goldstein et al. 2012); the fewer amounts of food miles traveled by air, the less environmental impact will be caused. Instead, agriculturally productive regions nearby needs to be used, which can negate the need to import (ibid.). In this context, there is also the consideration towards fossil fuel depletion, natural land transformation and urban land transformation to show how lower usage of private transport in the city can provide positive environmental benefits (ibid.)

3. PROJECY METHOD

This chapter explains chronologically how this project has been handled. The chapter explains the conducted phases of data collection, system modelling and documenting the LCI results with regard to the masses of the used material that was used in the Breathable House.

A methodological framework was used to establish a full inventory for the Breathable House. The following steps forming the basis of the analysis:

- Data collection
- Modelling the system
- Calculating the LCI results

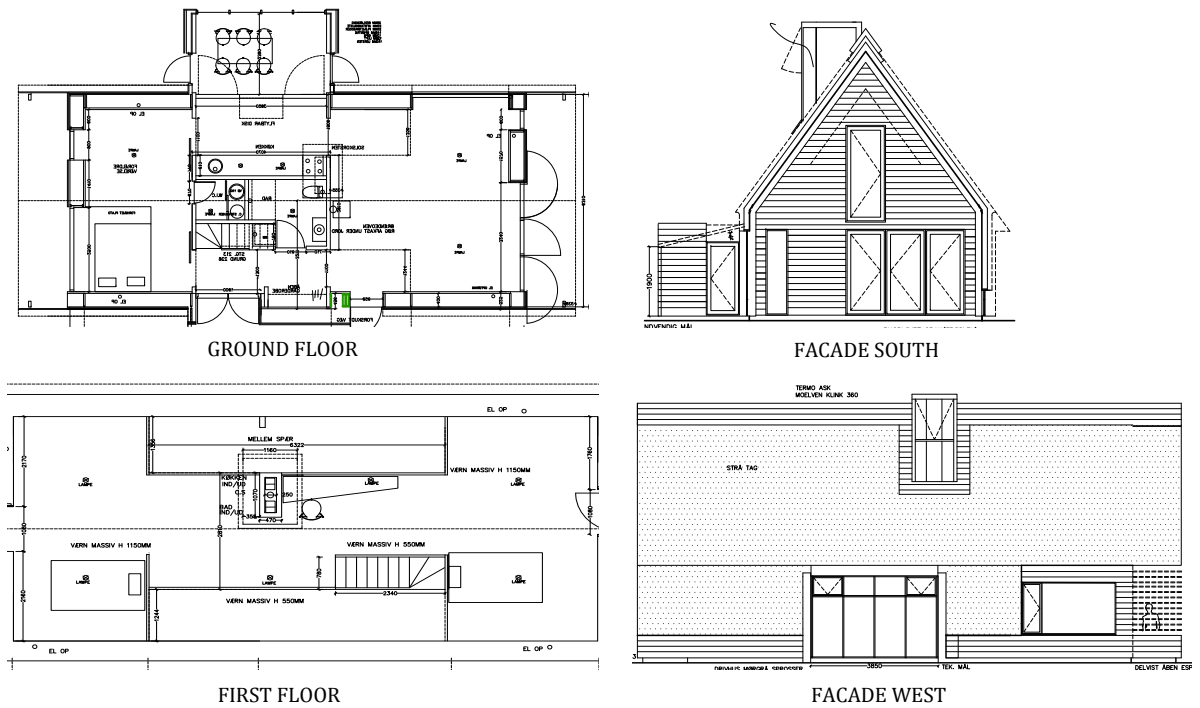
The data collection in this thesis is based on a generic data set. The generic data set is a type of data where some of the data is not measured for the specific system studied. The information that cannot be measured can be stoichiometric or other calculation models. When the data is collected, the modelling of the system can be done. There are several ways of modeling the system. Using diagrams to show the complete flow of the building is one option. Modeling the system in a software program is also a possibility but assumptions need to be made for lacking or missing

data and information. In the calculation step all calculation procedures and assumptions need to be documented and explained. This is important for a second part to be able to model the system based on this document.

3.1 CASE STUDY – THE BREATHABLE HOUSE

The Breathable House, as illustrated in Figure 3.1, is a single-family house located in the city of Ringsted, Denmark. The Breathable House is carried out as a project by Egen Vinding & Datter. The house gross with an area of 146m² and an 11m² winter garden. The house is in two-storey and consists of a living room, a kitchen, one bathroom, one bedroom and an open first floor that can be used for different purposes. The house also includes a winter garden as an integrated part of the kitchen.

The materials used for the house are environmental and sustainable. The house is founded on recycled glass, concrete and steel that forms the bearing structure. The façade and roof are mounted with diffused materials that ensure that moisture is not accumulated to cause problems in the construction. The windows and external doors are respectively triple or quadruple glazed and the internal floor are covered with Egen og Vinding & Datters homemade clay. 95% of insulation used in the house consists of paper-wool made from recycled paper waste and the rest 5% consist linen insulation.



**Figure 3.1 – Illustration of the layout and façade of the Breathable House
 (Egen Vinding & Datter, 2015)**

The Breathable House meets the building code requirements for density, hence it will have less need for ventilation. In this respect, both electricity and resources for ventilation can be saved.

3.2 CASE STUDY – THE REFERENCE HOUSE

The reference house, illustrated in Figure 3.2, is a single-family house with gross of 149m². The house consists a living room, kitchen, dining room, four bedrooms, two bathrooms and a scullery all in one storey (SBI, 2015).

The foundation of the house is made of concrete, the socket is insulated with lightweight concrete blocks and the ground slab is reinforced concrete on EPS with wooden or tiled flooring. The external walls consist of concrete, mineral wool insulation and masonry. The roof is made of wooden roof trusses with a solid under-roof and roofing tiles, with mineral wool insulation and a ceiling of surface mounted

plasterboards. The inner walls are concrete with plaster and painted glass felt, and aluminum. Windows are triple glazed panes (SBI, 2015).

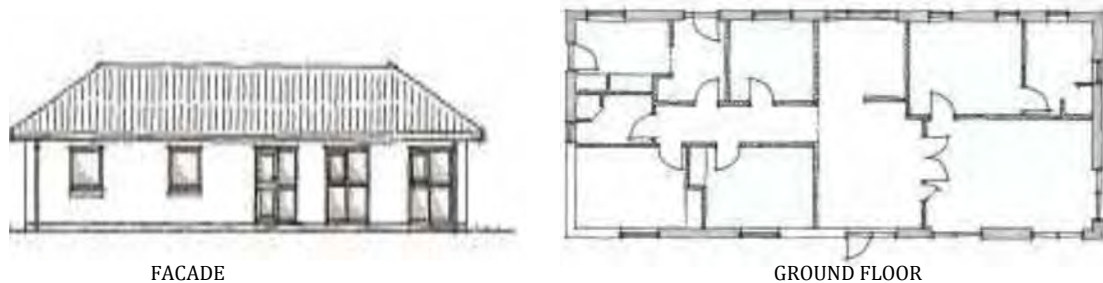


Figure 3.2 – Illustration of the layout and façade of the Reference House (SBI, 2015)

3.3 DATA COLLECTION

In the data collection step, data on the building materials are needed for the Life Cycle Inventory. This data includes data for type of materials used, amounts of building materials and used physical properties of materials such as density.

For a solid foundation for this LCA study, high quality data has been attempted to be obtained. First, for the foreground processes where primary specific data was desired, Egen Vinding & Datter were able to provide some data on these. As these have not been recorded by first-hand for the purpose of this LCA study they have not been treated as primary data, rather they have been considered as secondary data. Although they are indeed recorded data representing a single process, which initially makes them specific data, they did not fulfill the data needs for this specific LCA study. Hence, these were not regarded as specific data, but considered as average data. Nevertheless, this data does cover building materials in terms of 'input' (resource/material). Other foreground processes where data has not been provided by Egen Vinding & Datter, research has been done in search for secondary data to enable rational assumptions and estimates for data on these processes. Given that none of the processes as provided by Egen Vinding & Datter and as assumed and estimated exist in the Quantis Suite 2.0 used for modeling the system, the processes modeled are newly constructed. The manual adjustment for the processes is to

ensure that the data corresponds as much as possible with the data provided as well as with the rationalized assumptions and estimations. Inevitably, the high amount of secondary data does have implications for consequential uncertainties for the study as a whole.

3.4 APPLIED MODEL FOR CALCULATION

In the modeling of the building system for the Breathable House, the life cycle has been documented as tables describing the data used for modeling. The main focus of the study was to comprehend the Breathable House with the reference house to how sustainable the Breathable House is. The lifetime for both houses was set to cover 50 years of use without a disposal stage at the end of its life cycle. Data used for the modeling of the Breathable House have mainly been based on Quantis Suite 2.0. All the densities of the different materials are based on research data. Most datasets have been altered to represent the materials and processes in the life cycle of the Breathable House in the best possible way. The data used for the reference house was all given from SBI 2015.

3.5 CALCULATING LCI RESULTS

3.5.1 MATERIALS AND MANUFACTURING STAGE

For the Breathable House, data on the materials used has been provided by Egen Vinding & Datter and amounts of these has been calculated and is documented in Table 3-5. Egen Vinding & Datter uses subcontractors for the production of some of the different components for the Breathable House, where they themselves at their own facility is responsible for build and e.g. produce their own clay.

INDOOR MATERIALS		
Geotextile	2250	kg
Technopor	4730	kg
Radon Barrier	774	kg
Clay	23.220	kg
Pine Floor Slabs	7920	kg

Pine Construction	3287	kg
Plasterboard	3539	kg
Paper Wool	32.505	kg
Linen Wool	798	kg
Homatherm	1134	kg
Compressed Claystone	9532	kg

Table 3 - Internal material composition for the Breathable House

OUTDOOR MATERIALS		
Radon Barrier	945	kg
Earth Anchor	739	kg
Concrete	10.320	kg
Thermal Ash	710	kg
Thatched Roof	17	kg
Fir	7191	kg
Sikasil E silicon fugue	293	kg
Bitumen	206	kg

Table 4 - External material composition for the Breathable House

WINDOW MATERIALS		
Slow growing pine	772	kg
Rubber	53	kg
Metal	2	kg
Glass	3271	kg

Table 5 - Window material composition for the Breathable House

3.5.2 TRANSPORTAION

Data for calculating transportation distances and types of transportation are assumptions based on provided data from Egen Vinding & Datter. It has been assumed that all types of transportation are with van, since all the subcontractors are based in different regions in Denmark.

TRANSPORTATION			
Operation, van < 3,5t		1249	km

Table 6 – Transportation distances for regions in Denmark

4. RESULTS

This chapter presents the LCA results of the case study the Breathable House. The inventory data has been generated in the LCA software Quantis Suite 2.0 and based on these results derived from the software, the results of this study will be documented.

4.1 LCA ANALYSIS

Figure 4.1 presents the environmental impact and resource use contributions from the life cycle stages, and it shows that impacts from the indoor materials consumption are especially significant, counting for as much as 88,4 % of the total “Ecosystem quality”. Impacts from the rest categories are in the low end of 80,66% - 86,86% of the total impacts. This is the case in “Human health” (80,66%), “Climate change” (88,4%), “Resources” (87,48%) and “Water withdrawal” (86,66%). A closer look into the building materials contribution to this will happen later in this chapter. The results splitting the impact contributions in internal and external materials, windows and transport.

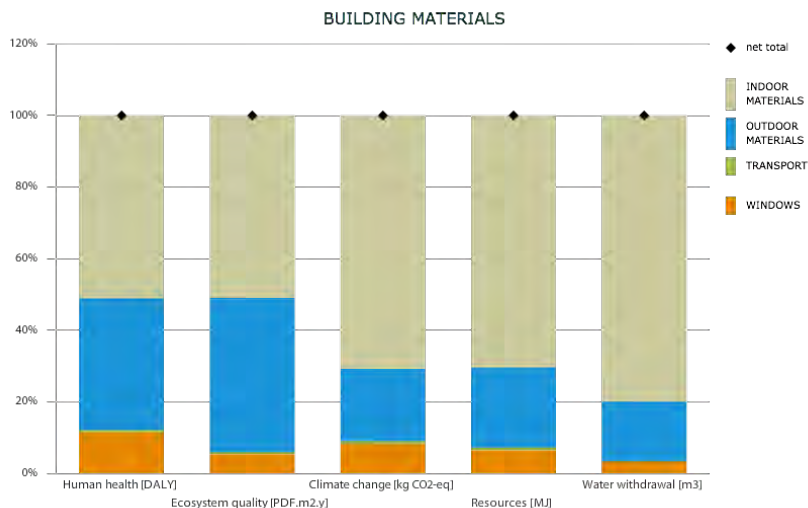


Figure 4.1 – Environmental impact and resource use contributions from the life cycle stages.

Figure 4.2 shows the relative contributions to the impact potentials from different categories of building materials used in the construction phase. Since the Breathable House has a long list of materials, the most dominating materials have been highlighted. The first potential impact is from the geotextile. The material geotextile dominated in four out of five categories. In the “Human health” its impact is of 25,51%. In “Climate change” (42,55%), “Resources” (39,53%) and finally “Water withdrawal” which is the biggest impact with (70,88%). The geotextile is used in association with soil and have the ability to separate e.g. concrete. It is made of polypropylene or polyester (SAFEBORAD, 2015). Because of the material the impact is large.

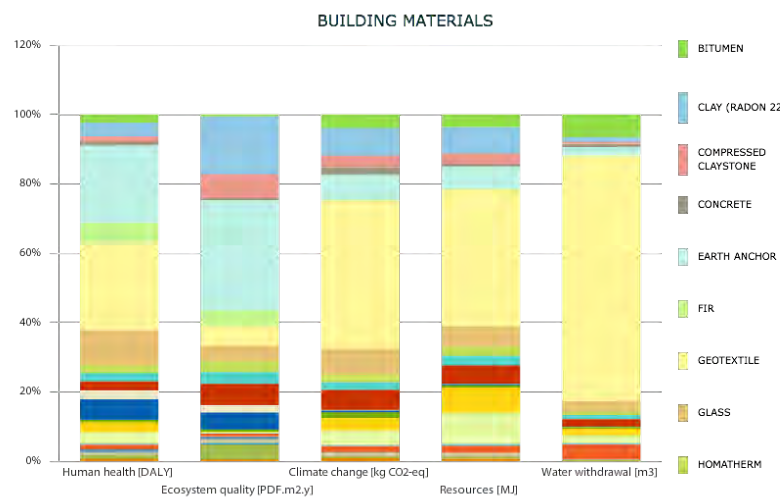


Figure 4.2 – Environmental impact and resource use contributions from the life cycle stages in detail.

The second potential impact is from the steel that is used in earth anchor. The biggest consumption is at the “Ecosystem quality” with 31,79%. In the “Human health” its impact is of 22,26%. In “Climate change” (7,9%), Resources” (6,35%) and finally “Water withdrawal” which is the least impact with 2,4%. The manufacture process of steel demands much energy and therefore the biggest impact is “Ecosystem quality”.

The third potential impact is glass. The environmental impacts are distributed as following: “Human health” (10,06%), “Ecosystem quality” (4,3%), “Climate change” (2,88%), “Resources” (5,73%), and finally “Water withdrawal” (15,88%). The great impact is caused by the large amount of energy that is needed to melt the glass. In the following section the categories has been expanded to show the environmental impact from the differet materials in a 50-year-perspective.

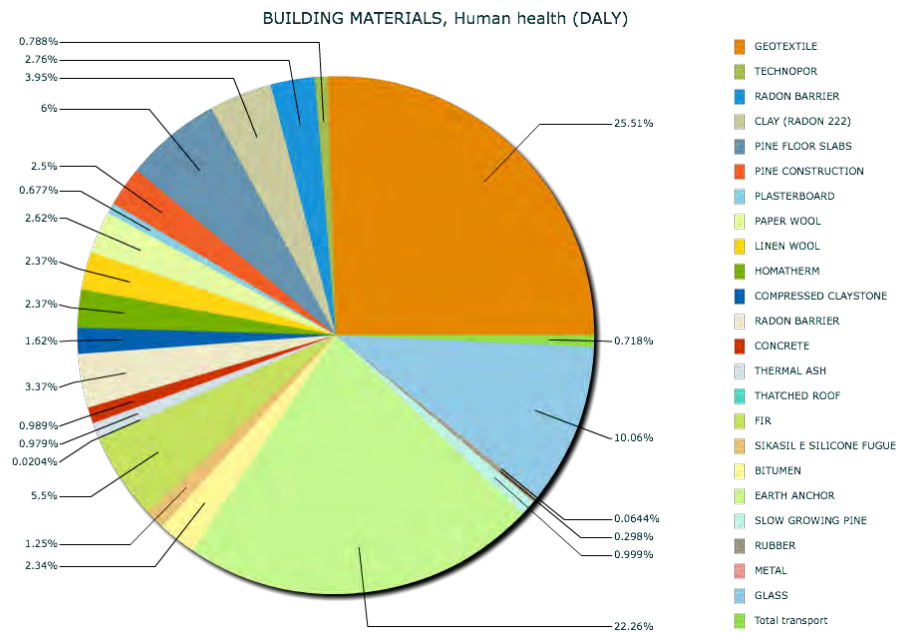


Figure 4.3– Building Materials, Human Health

Figure 4.3 shows the material composition of the category “Human health”. The four largest loads respectively are geotextile, glass and steel. It is, of course, also these materials as the Breathable House consists mostly of chemicals and enegy demand. The transport of materials accounts only 0,718% of the complete cycle.

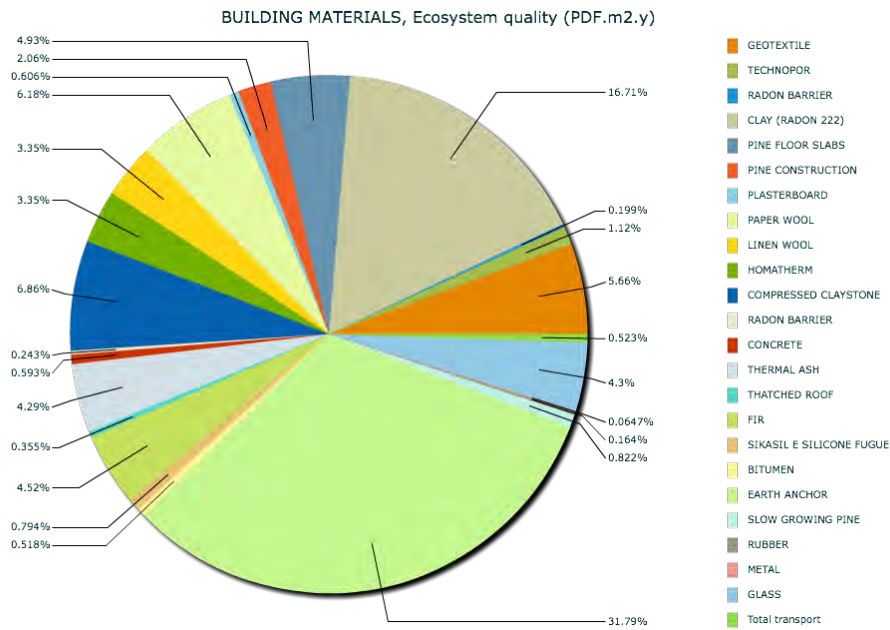


Figure 4.4- Building Materials, Ecosystem quality

Figure 4.4 shows the material distribution for “Ecosystem quality”. The biggest impacts come from clay and compressed claystone since these materials are taken directly from the ecosystems. Besides these, steel is present as the biggest impact in the life cycle.

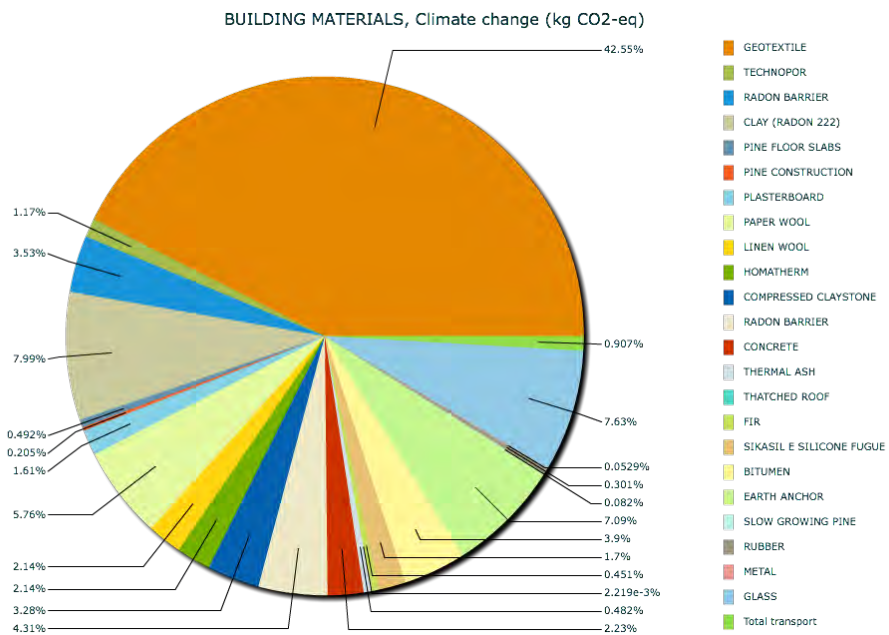


Figure 4.5- Building Materials, Climate change

Figure 4.5 shows the material distribution for “Climate change”. When comparing the impact scores for climate change, clear distinctions that may seem obvious can be observed. The materials that involve geotextile, clay (radon 222) and glass have the highest impact scores.

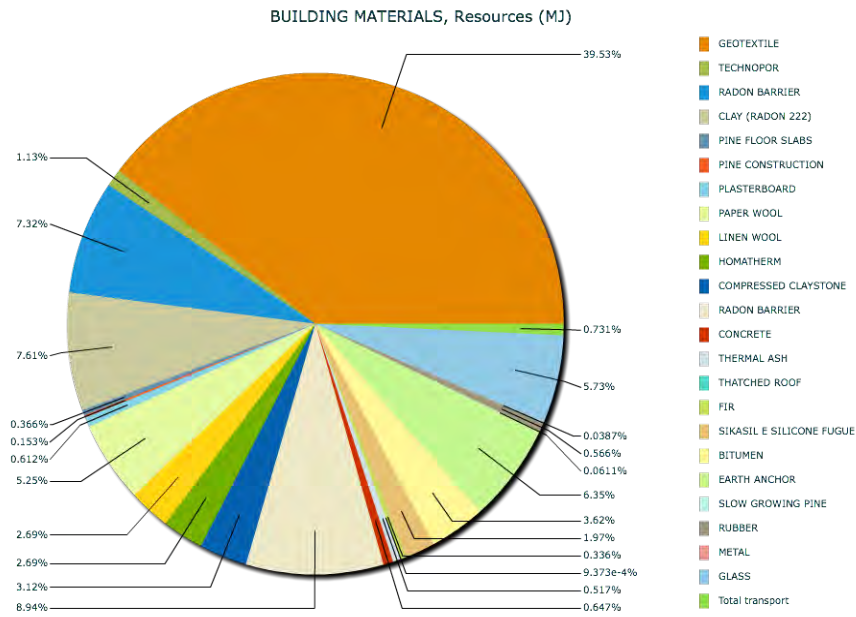


Figure 4.6- Building Materials, Resources

Figure 4.6 shows the material distribution for “Resources”. When comparing the impact scores for resources, the same pattern as for “Climate change” can be seen. 39,53% of the energy is used on the geotextile. 7,61% is used on clay (radon 222) and 7,32% of the total energy is used on radon barrier.

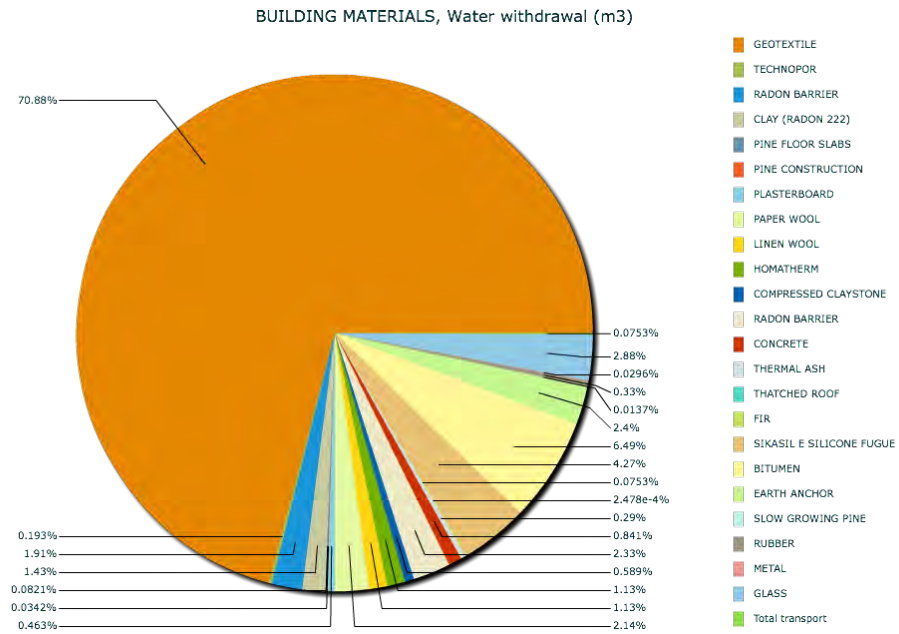


Figure 4.7- Building Materials, Water withdrawal

Figure 4.7 shows the material distribution for “Water withdrawal”. When comparing the impact scores for water withdrawal the pattern is much different from previous results, with more than 70% of the total impact comes from the geotextile.

Now that the LCA results regarding the Breathable House have been documented, the following section will be a comparison of the Breathable House compared to the reference house from SBi 2015. Figure 4.8 shows the climate change impact from the two houses:

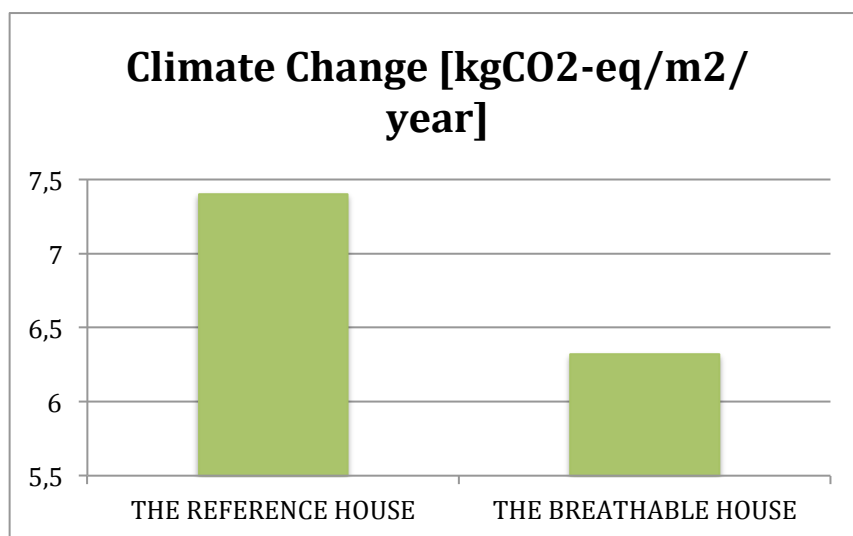


Figure 4.8- Comparison between The reference house and the Breathable House

According to SBi 2015 the reference house has an environmental impact with 3,1 kg CO₂-eg/m²/year over 120 years. As it was concluded earlier that the Breathable House is estimated a lifetime of 50 years, the calculations have been redone for the reference house for a more appropriate comparison. The reference house's impact per year for 50 years is 7,4 CO₂-eg/m²/year, which is compared to the Breathable House with the total environmental impact of 6,32 CO₂-eg/m²/year.

5. DISCUSSION

This discussion chapter focuses on the sustainability of the Breathable House compared with the reference house from SBi 2015. Furthermore, the choice to not cover the indoor climate will be explained and finally the disposal phase will hypothetically be explained and discussed. The results from the parameterized model constructed in Quantis Suite version 2.0 has been presented in a previous chapter and will in the following section be investigated, explained and put into perspective.

During the preparation of this project, it was necessary to make some assumptions underway. The first level of assumptions was made in calculations of the various amounts of materials. Egen Vinding & Datter delivered measurable drawings but the drawing did lack some physical measures. Therefore some decisions were made to continue the analysis. The kind of assumptions that were made included length of walls and thickness of the window frame, but overall these assumptions might have small impact on the overall results.

In the modeling phase, as mentioned earlier, Quantis Suite 2.0 was used. The LCA software includes a library of standard values for different materials. However, it was not possible to find all the materials and therefore, it was necessary to find some that were similar. This could be for example by the material properties.

Since Egen Vinding & Datter has used recycled materials in the Breathable House, this cannot be modeled in Quantis Suite. Therefore it has been estimated that 10% of the results from Quantis Suite correspond to the exact mass used in construction. These assumptions could have been done better if it was possible to edit in the different materials in the software program.

5.1 INDOOR CLIMATE

Egen Vinding & Datter has focused their project on using environmental and sustainable materials that are also suitable to handle moisture. This way they can ensure that it doesn't accumulate moisture or problems in the construction. The used building materials have limited amounts of environmentally harmful substances, which prevent harmful degassing in the indoor environment. The Breathable House, which meets the building code requirements for density, will have less need for ventilation. This means saving both electricity and resources for ventilation.

This thesis has not studied the indoor climate, since it is not possible to do calculation on it. Currently, it seems that there is no modeling software program on the market that can handle such calculations on indoor environment. So although the indoor climate is a big part of the Breathable House project, this thesis could not explain this.

5.2 DISPOSAL PHASE

This project did not manage to explain what would happen at the disposal phase. In the theory chapter the term cradle-to-grave was presented and determined for the Breathable House. In the upcoming section the disposal phase will be explained hypothetically.

Since the Breathable House consists of many different materials, only the most utilised materials will be discussed in this section. The different scenarios for materials disposal phase have been discussed with Per Sørensen from Egen Vinding & Datter.

After 50 years the Breathable House lifetime has come to an end. The clay used in the floor construction will be returned to the ecosystem, since it is natural material.

The roof made of straw will be sent for incineration or through compost water, so later on it can be used for soil improvement rescue

The ash-tree, pine, glass and paper wool have a recycling rate of 90-95%. This means these are materials that can be utilised, e.g. in construction of a new Breathable House.

The plasterboard used will be recycled. Furthermore wallpaper, glue, paint, glass fabric, screws, etc. will also be recycled (Miljø- og Fødevareministeret, 2016). As the world looks like today, apart from recycling, landfill can also be a possible method of disposal.

The materials such as steel and concrete have a recycle rate for 90% (Teknologisk, Dansk Stålnstitut, 2016). Steel will after the use phase be reused in other projects. Old steel can become new steel again without sacrificing quality (ibid). Regarding the concrete it's crushed and used in Danish roads, squares and backfill where concrete is replacing natural gravel or soil (ibid.) The last material is linen wool, where all of it will be incinerated.

Discussing the results you can identify a clear pattern that shows the greatest environmental impact comes from. In all categories that the internal materials stand out. In the category "Human health" it's the geotextile that has the biggest impact. This is because the geotextile is a composition of different chemicals, which gives it high volatility that is almost 50% (Figure 5.1).

Taking a look at "Ecosystem quality" in figure 5.2, compacted clay and clay has the greatest impact. This is because here material is taken directly from the ground and used in the construction of the house. However, it must be noted that Quantis Suite does not take reservations for the disposal phase over the 50 years the house has stood, and which earlier was explained in the previous section, that about 95% of clay returned back to nature. This implies that the result does not reflect a perfectly correct view of reality.

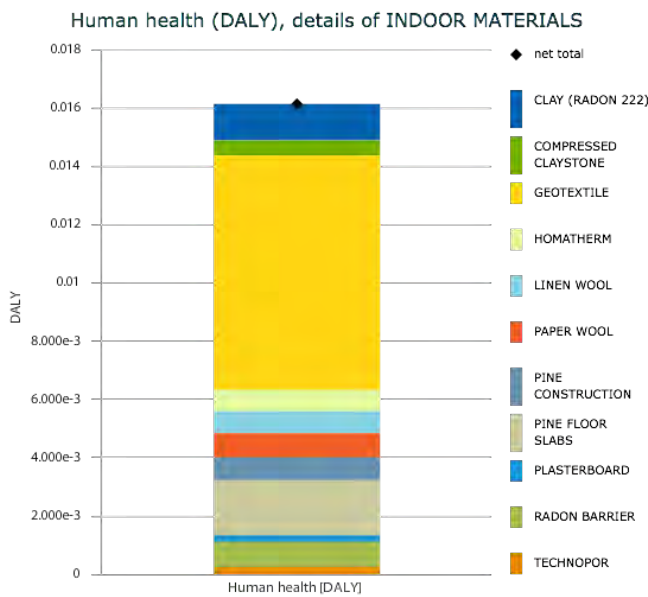


Figure 5.1 Human health impacts from internal materials

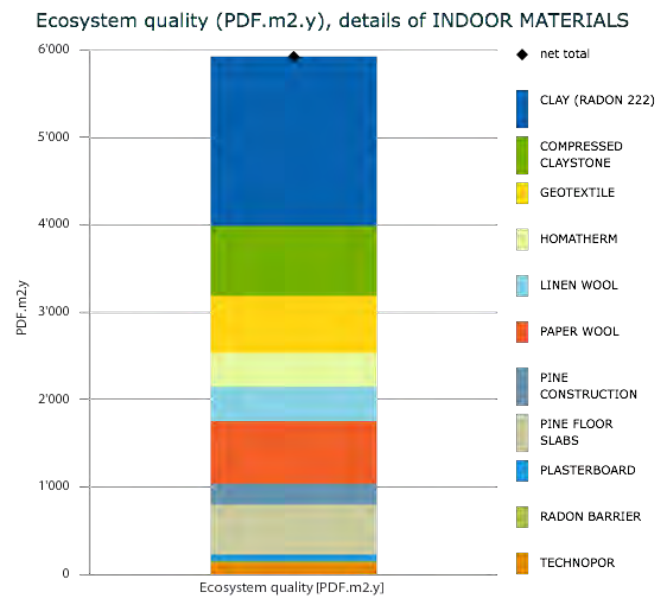


Figure 5.2 Ecosystem quality impacts from internal materials

In the category “Climate change”, the biggest CO₂-emissions are from geotextile with almost 60% of the total impact. Again, this is due to the production of the membrane, which affects the performance so much.

Although the greatest environmental impact does not come from the exterior materials, still it’s here where the heavy material steel is. This has the significance on the results that this material contributes as the largest influence and is the one that stands out. From the existing knowledge base it is known that production steel emits CO₂, and therefore these results were expected, therefore it was expected that this would be the result. However, the disposal phase needs to be mentioned. In the previous section the method for recycling of steel has been described. The results would have been low if the disposal phase was included in the calculation. Figure 5.3 and 5.4 shows the “Human health” and “Ecosystem quality” impacts.

The smallest impact in this context is the transport. Egen Vinding & Datter has made great effort to get the majority of the materials from local suppliers. That makes the total transport distance of 1249 km for all the materials. This of course makes the whole CO₂-calculation much lower than usually.

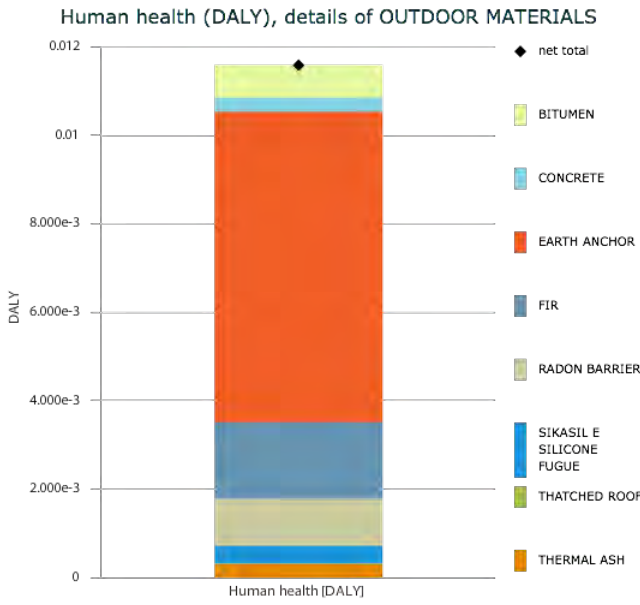


Figure 5.3 Human health impacts from external materials

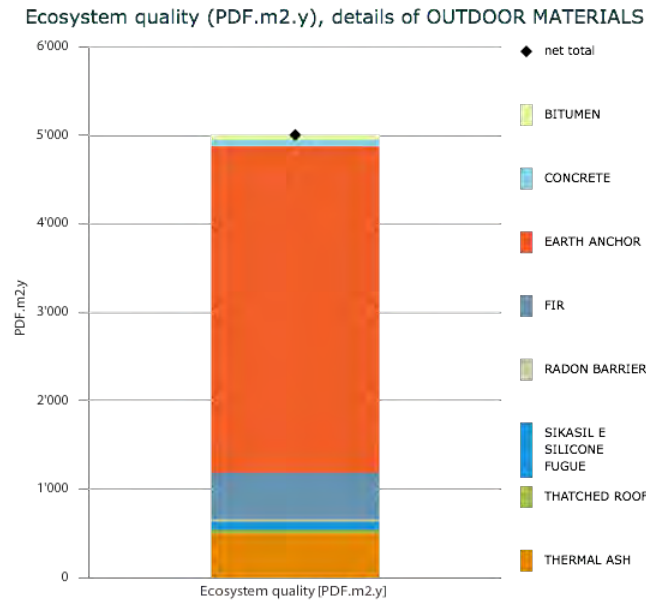


Figure 5.1 Ecosystem quality impacts from internal materials

6. CONCLUSION

As can be seen from the results the geotextile and steel was not preferable if it is in context with “Human health” and “Ecosystem quality”. Since this project didn’t include the disposal phase in the calculations, it was not possible to identify the final environmental impact after the house has been demolished.

Through comparing the Breathable house with a standard Danish reference house it was concluded that the Breathable house has a smaller environmental impact than the reference house. More precisely, the final result turns out to be 6,32 against 7,4 kg CO₂-eq/m²/year which is a great improvement.

With respect to recommendations for future LCA iterations, uncertainties related to data representativeness and predictions on future scenarios for disposal can be addressed. Collection of process specific data to limit uncertainties on data representativeness while extrapolation could help address predictions on future scenarios for disposal.

7. SOURCES

- **Brejnsrod, K.**, The absolute sustainable building, 2015
- **Cabeza, L., Rincón, L., Vilarino, V., Perez, G., Castell, A.**, 2013. Life cycle assessment and life cycle energy analysis of buildings and the building sector by
- **Sumiani, Y., Rashid, A., Faiz, A., Noorsaidi, M.**, 2013. A Review of the
- <http://www.globalgoals.org>
- **Hauschild, M.**, Putting numbers on sustainability., 2015
- <http://www.thwink.org/sustain/glossary/ThreePillarsOfSustainability.htm>
- <http://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/about.html>
- **Bayer, C., Gamble, P., Gentry, D., Joshi, S.**, 2010. AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice.
- Dansk-Standard, *DS/EN ISO 14040, 2008, Miljøledelse – Livscyklusvurdering – Principper og struktur.*
- **Birkved, M., Houschild, M., Jørgensen, A.**, Inventory analyses
- **Laurent, A., Hauschild, M.**, 2015, Life Cycle Inventory Analysis
- <http://www.eco-platform.org/cen-tc-350.html>
- **Zabalza, I., Scarpellini, S., Aranda, A., Llera, E., Jánez, A.**, 2013. Use of LCA as a tool for building ecodesign. A case study of a low energy building I Spain, pp 3905.
- **Goldstein, Benjamin.**, 2012. Hybrid Urban Metabolism Models and Sustainable Urban Development
- **Kristiansen, K., Gram-Hanssen, K., Attwell K.**, 2001. Bypolitik og Bæredygtighed
- **Statens Byggeforskningsinstitut – Aalborg Universitet København.**, 2015. Bygningens Livscyklus – Identifikation af væsentlige bygningsdele, materialegrupper og faser i en miljømæssig vurdering (SBI)
- <http://www.saferoad.dk/?id=1173&c=Geotekstiler>
- <http://ecoinnovation.dk/mudp-indsats-og-tilskud/resultater-og-cases/cases/case-gypsum-genanvendelse-gips/>

- <http://www.teknologisk.dk/projekter/genanvendelse-af-beton/introduktion/36285>
- http://www.steelinfo.dk/dsi_genbrug.php

Bilag 7

EGEN VINDING & DATTER
DEFENSE OF BACHELOR THESIS PROJECT

The Breathable House

INVENTORY ANALYSIS | TAIF ADEL ADNAN ALAZZAWI
TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK



content

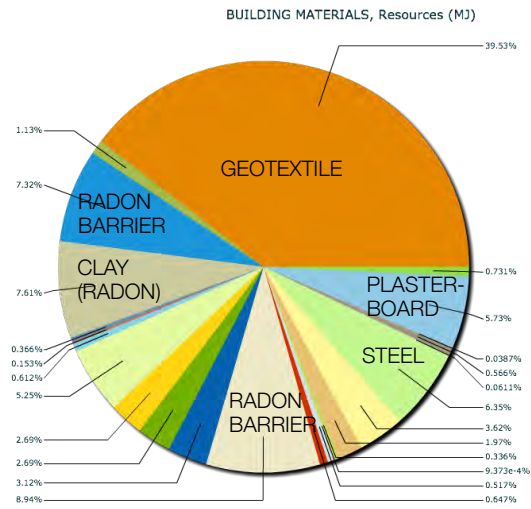
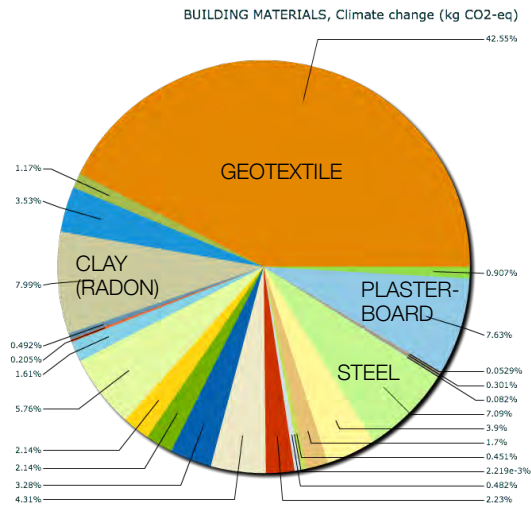
1. Presentation of the bachelor project
2. Presentation of corrections
3. Discussion of results
4. Presentation of the Life Cycle Assessment
5. Presentation of further studies
 - *Project 1: Upcycle House*
 - *Project 2: Det vedligeholdelsesfri hus – renewal*
 - *Project 3: Det foranderlig hus*
 - *Project 4: Kvotehuset*
 - *Project 5: The Mini CO₂ House*
6. Dividend of the bachelor project

presentation of the bachelor project

- INVENTORY ANALYSIS
 - ENVIRONMENTAL IMPACT
 - ENERGY CONSUMPTIONS
- DATA COLLECTING
- SYSTEM MODELLING

presentation of corrections

BEFORE

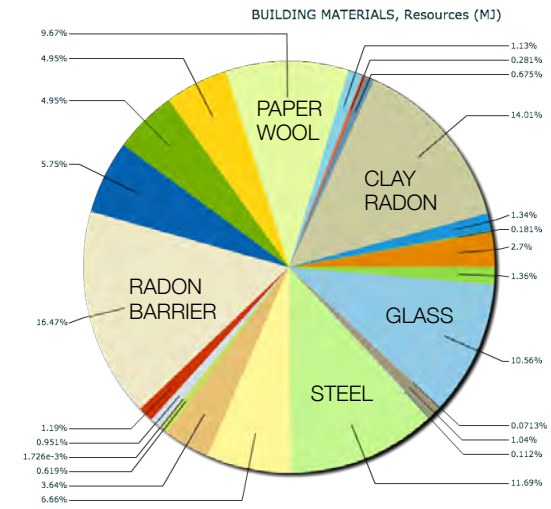
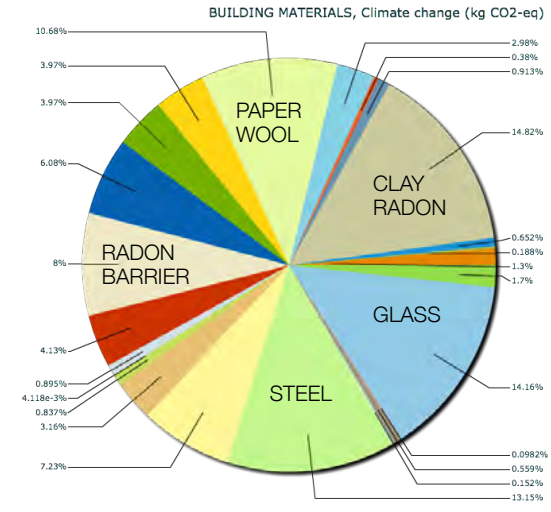


6,32 kg CO₂-eq/m²/year for 50 years



3,32 kg CO₂-eq/m²/year for 50 years

AFTER



discussion of results



THE REFERENCE HOUSE
7,4 kg CO₂-eq/m²/year
for 50 years



THE BREATHABLE HOUSE
3,23 kg CO₂-eq/m²/year
for 50 years

discussion of results

MATERIALS AND MANUFACTURING STAGE

INDOOR MATERIALS			
Geotextile	2250	163	kg
Technopor	4730	41	kg
Radon Barrier	774	77	kg
Clay	23.220		kg
Pine Floor Slabs	7920		kg
Pine Construction	3287		kg
Plasterboard	3539		kg
Paper Wool	32.505		kg
Linen Wool	798		kg
Homatherm	1134		kg
Compressed Claystone	9532		kg

OUTDOOR MATERIALS			
Radon Barrier	945		kg
Earth Anchor	739		kg
Concrete	10.320		kg
Thermal Ash	710		kg
Thatched Roof	17		kg
Fir	7191		kg
Sikasil E silicon fugue	293		kg
Bitumen	206		kg

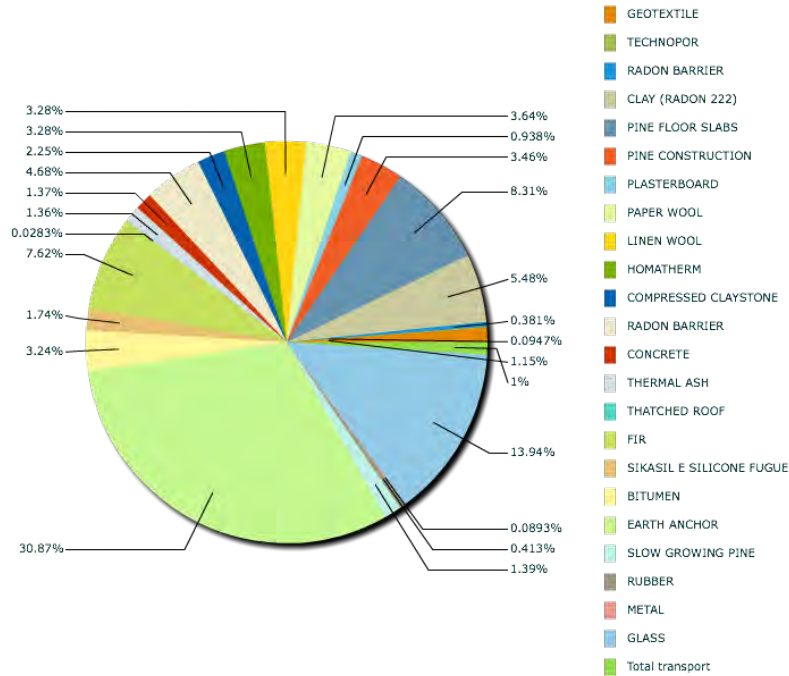
WINDOW MATERIALS			
Slow growing pine	772		kg
Rubber	53		kg
Metal	2		kg
Glass	3271		kg

TRANSPORTATION

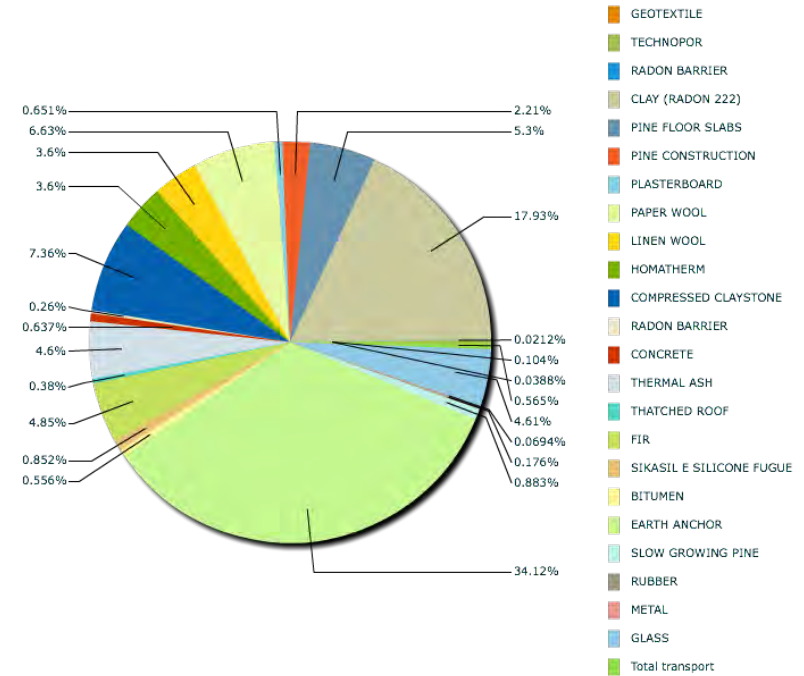
TRANSPORTATION			
Operation, van < 3,5t	1249		km

presentation of the Life Cycle Assessment

BUILDING MATERIALS, Human health (DALY)

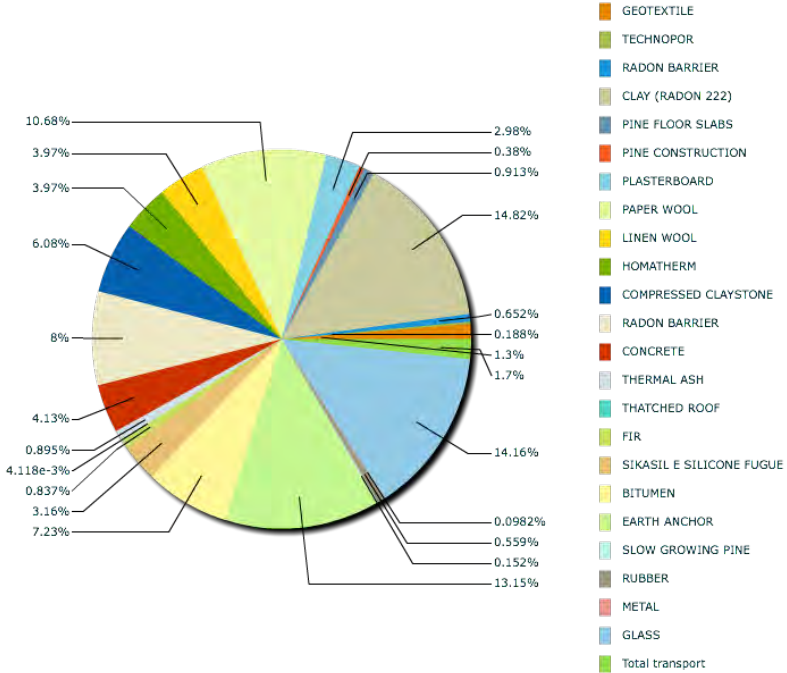


BUILDING MATERIALS, Ecosystem quality (PDF.m2.y)

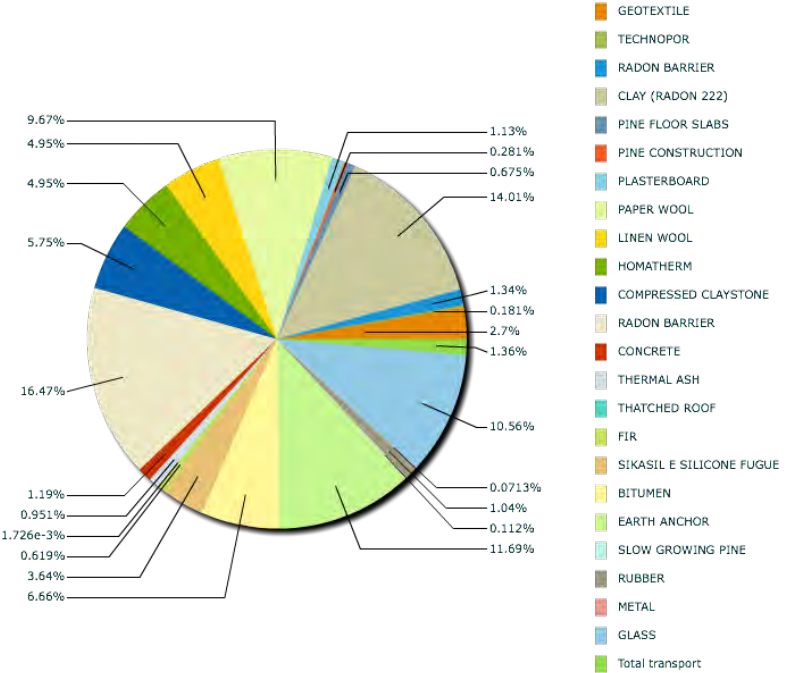


presentation of the Life Cycle Assessment

BUILDING MATERIALS, Climate change (kg CO2-eq)



BUILDING MATERIALS, Resources (MJ)



presentation of further studies

Project 1: Upcycle House



- **Architect:** Lendager Architects
- **Single Family House:** One-plan with living room, kitchen / dining area, 4 bedrooms, utility room, cool chamber and 1 bathroom
- **Area:** 129 m²
- **Year:** 2013

Project 2: Det vedligeholdelsesfri hus - renewal



- **Architect:** Arkitema Architects
- **Single Family House:** One-plan kitchen / living room, bathroom, 4 bedrooms, 2 lofts and a control room
- **Area:** 156 m²
- **Year:** 2013

presentation of further studies

Project 3: Det foranderlig hus



- **Architect:** Henning Larsen Architects, GXN
- **Single Family House:** Two-plan kitchen / living room, bathroom on the ground floor and bath, roof terraces and 3 rooms on the first floor
- **Area:** 146 m²
- **Year:** 2013

Project 4: Kvotehuset



- **Architect:** Plus Office Architects
- **Single Family House:** One-plan kitchen / living room, bathroom, 3 bedrooms, a multi-room, 1 utility room, a larder and a greenhouse
- **Area:** 138 m²
- **Year:** 2013

presentation of further studies

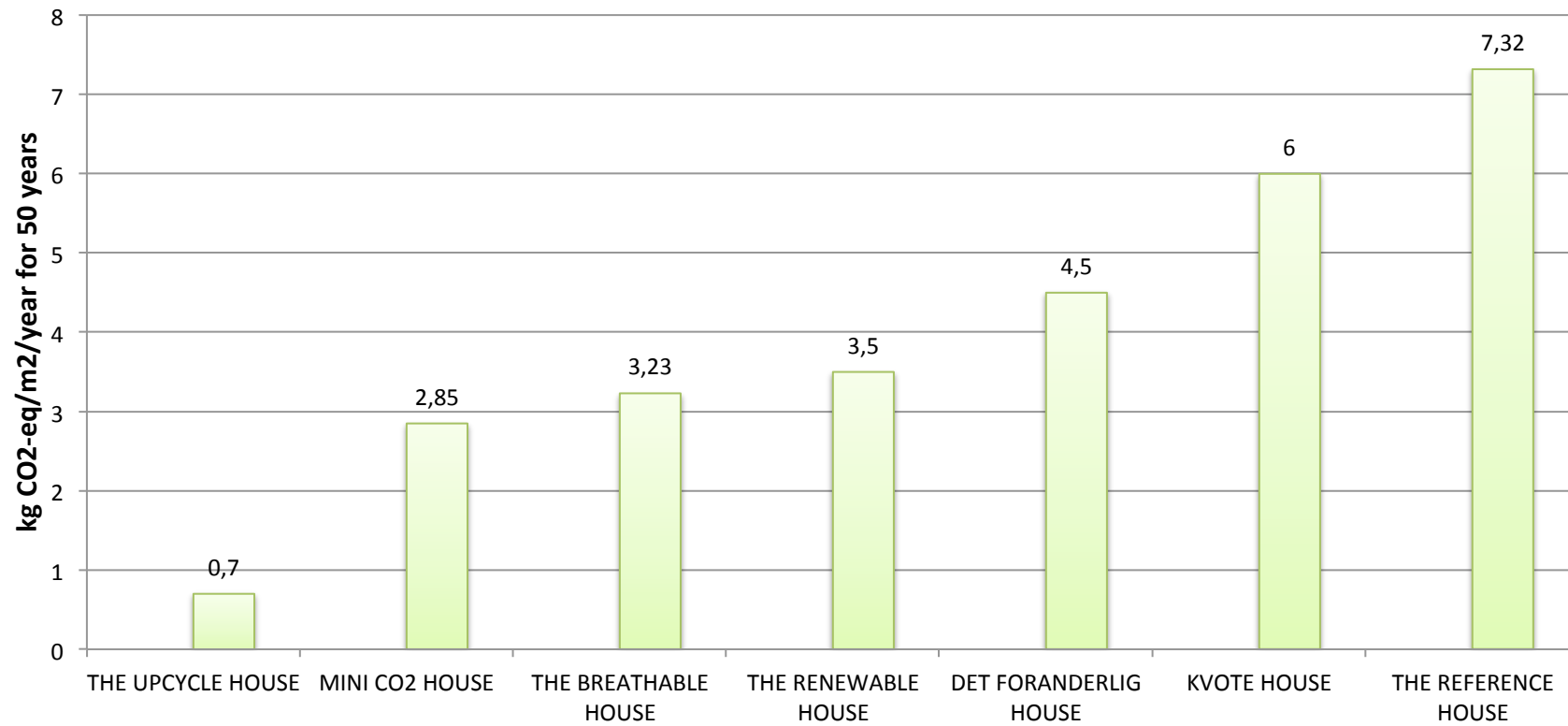
Project 5: The Mini CO₂ House



- **Architect:** LUPLAU POULSEN
- **Single Family House:** One level with central hallway / walk, bedroom with walk-in closet, dining room, living room, open kitchen, 2 bathroom / toilets and 3 bedrooms.
- **Area:** 157 m²
- **Year:** 2014

presentation of further studies

Comparison between sustainable buildings



dividend of the bachelor project



COMPLEX FIELD



DATA COLLECTION



TIME-CONSUMING



KNOWLEDGE



CONNECTING PEOPLE

Bilag 8

Luftkvalitet i Det Åndbare Hus

Egen Vinding og Datter ApS



Titel:

Luftkvalitet i Det Åndbare Hus

Rekvirent:

Egen Vinding og Datter
Att. Per Sørensen
Haslevvej 81
4100 Ringsted

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 4
2630 Taastrup
Tlf. 7220 2000
Byggeri og Anlæg
Bygninger & Miljø
Nadja Lyng Lyng

Sagsansvarlig: Nadja Lyng Lyng, tlf. 7220 1219, nal@teknologisk.dk

Kvalitetssikring: Thomas Witterseh, tlf. 7220 2311, twi@teknologisk.dk

Opgave nr.: 655256

Version nr.: 3

Dato: 6. juni 2019

Resultater af Instituttets opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder fx vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag. Instituttets navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionssekretariatet.

Indhold

Sammenfatning.....	4
1. Indledning	4
2. Formål	4
3. Beskrivelse af huset	5
4. Prøvningsmetoder.....	6
4.1. Sensorisk bedømmelse	7
4.2. Kemisk analyse	7
4.3. Prøveudtagningsbetingelser	7
5. Vurderingsgrundlag.....	8
6. Resultater og vurdering	9
6.1. Sensorisk bedømmelse	9
6.2. Kemisk analyse	9
6.3. Prøveudtagningsbetingelser	11
7. Samlet vurdering	11
Bilag 1: Sensorisk bedømmelse – Resultatoversigt	12
Bilag 2: Luftkvalitet - kemiske analyseresultater	14

Sammenfatning

Der er udført i alt seks målinger af luftkvaliteten over en periode på 3,5 år siden huset blev opført. På baggrund af de første fem målinger, udført i løbet af de første to år, vurderede vi, på baggrund af de tyske miljømyndigheders vejledende grænseværdier, at huset ikke var egnet til længerevarende ophold som fx beboelse, da der var risiko for, at personer ville kunne opleve helbredsmæssige gener. Det var primært forekomsten af aldehyder, terpenener, organiske syrer, Cyclo/iso-alkaner i høje koncentrationer samt den samlede koncentration (TVOC), som lå til grund for denne vurdering. Luftsiftet blev under den 5. måling målt til at være langt under kravet i Bygningsreglement fra 2015. Det blev vurderet at et øget luftsifte ville reducere koncentrationen af kemiske stoffer i rumluften. Det var dog uvist om et øget luftsifte vil kunne forbedre luftkvaliteten tilstrækkeligt.

Seneste måling blev udført 1,5 år efter den forrige. I det foregående år har huset været beboet af en familie. Ved den seneste måling er koncentrationerne reduceret væsentligt og på baggrund af målingerne vurderes luftkvaliteten at være acceptabel til beboelse.

Målingerne af luftkvalitet er udført 9. november 2015, 24. november 2015, 9. december 2015, 15. februar 2016, 20. november 2018 og 13. maj 2019.

1. Indledning

Det Åndbare Hus er resultatet af et forskningsprojekt med det formål at opføre et hus uden brug af dampspærre, hvor konstruktionerne kan fungere som fugtbuffer og hvor fugten kan diffundere gennem konstruktionerne uden risiko for, at der opstår skimmelvækst. Projektet er finansieret af Realdania, Miljøstyrelsen og Den A.P. Møllerske Støttefond. Teknologisk Institut er rekvireret til at udføre dokumentationsmålinger af fugtforhold og luftkvalitet i det færdige hus. Nærværende rapport omhandler luftkvalitetsmålingerne, som er udført efter aftale med Per Sørensen, Egen Vinding og Datter. Målingerne er udført af Lis Winther Funch, Thomas Witterseh og Nadja Lyng, Teknologisk Institut, Byggeri og Anlæg. Huset, der stod færdigt i 2015, er opført på adressen Haslevvej 81, Ringsted.

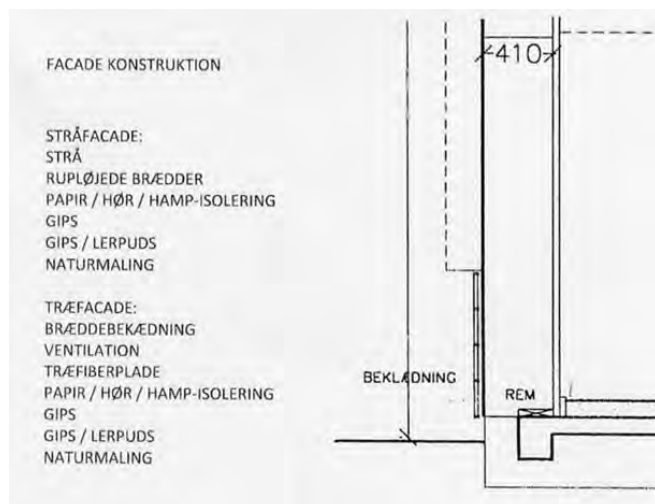
2. Formål

Formålet med undersøgelserne har været at bestemme luftkvaliteten i nyopført forsøgs-hus inden ibrugtagning og under beboelse. Bestemmelsen er foretaget ved både kemisk analyse og sensorisk bedømmelse.

Da der ved de første målinger i efteråret 2015 blev målt meget høje koncentrationer af kemiske stoffer, blev det besluttet at udvide målingerne med løbende dokumentation af luftkvaliteten. Nærværende rapport omhandler luftkvalitetsmålinger udført i huset over en 3,5-årig periode med i alt 6 målinger.

3. Beskrivelse af huset

Huset er beregnet til en familie med 1-2 børn. Huset har et boligareal på ca. 100 m².



De indvendige vægge udgøres af komprimerede lersten pudset med lerpuds og malet med naturmaling, hvilket er en linoliemaling udviklet af Energiens Hus ApS.

Gulvet i stueetagen er opbygget af ler og behandlet med linolie og bivoks. Seneste linoliebehandling er oplyst at være påført d. 2. november 2015. Der er i alt påført cirka 30 liter olie. Gulvet på første sal er et ubehandlet plankegulv i fyrretræ.

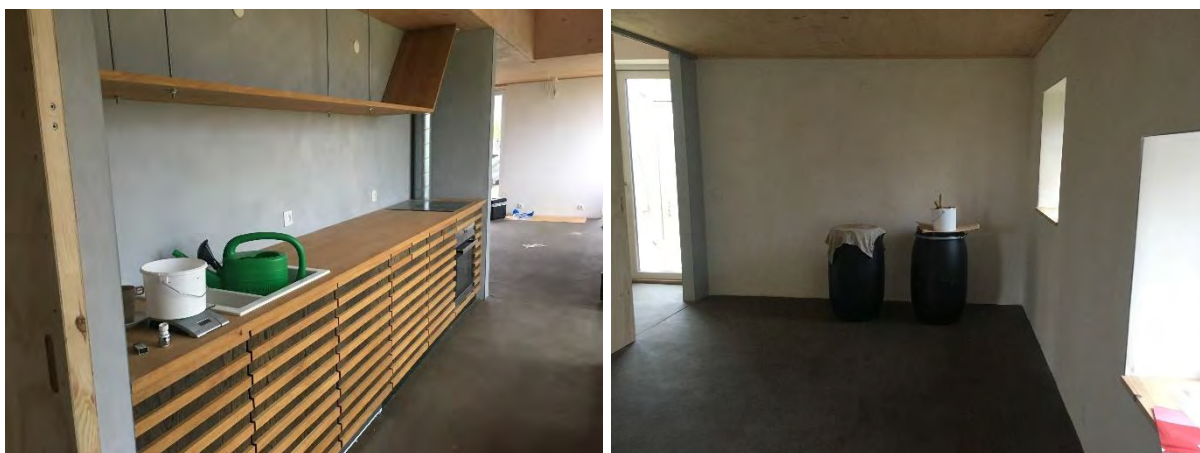
Lofterne i stueetagen er et glat bræddeloft i fyrretræ. På første sal er der loft til kip, og de skrå lofter er pudset og malet med naturmaling.

Vinduerne er af kernefyrretræ, som er sprøjtemalet 3 gange med linoliemaling. Indvendige døre er skydedøre udført i krydsfiner.

Køkkenet er et snedkerkøkken, hvor køkkenelementer er udført i massivt hårdt træ.

Skorstenen er muret i komprimeret lersten, pudset med lerpuds og efterfølgende malet med naturmaling.

Huset var ubeboet og umøbleret under målingerne 1 til 5, mens huset var møbleret og beboet i et år forud for og under 6. måling.



Fotos taget under den 5. måling hvor huset fortsat var ubeboet og umøbleret



Fotos taget under den 6. måling den 13. maj 2019

4. Prøvningsmetoder

Prøvningsmetoden er foretaget i henhold til "Dansk Selskab for Indeklima: Standard Test Method for Determination of the Indoor-Relevant Time-Value by Chemical Analysis and Sensory Evaluation, 3rd ed. 2005 og Prøvnings- og mærkningskriterier for huse, 1. udgave 2005 og Dansk Indeklima Mærkning "Indeklimamærkning af huse. Procedure for prøvetagning, 1. udg. 2006".

Der er foretaget øjebliksmåling af temperatur og luftfugtighed med elektronisk termometer/hygrometer, mærke Testo 435 under hver prøvetagning.

Desuden blev luftskiftet målt med sporgas (R134a) efter henfaldsmetoden (Tracer gas decay method, ASTM standard E741-11). Metoden giver et gennemsnitsluftskifte over 1-2 timer for hele huset. Henfaldet af R134a er målt med Brüel & Kjær Photoacoustic Gas Analyser, model 1302. Måling af luftskifte er udført to gange under hhv. 1. og 5. måling.

4.1. Sensorisk bedømmelse

Luft er udtaget i specialdesignet prøvechamber i 400 liters Tedlar-poser. Efter prøvetagningen er poserne lukket tæt, og de sensoriske bedømmelser er udført i laboratoriet senest dagen efter prøvetagningen.

Et utrænnet panel på min. 20 personer har bedømt intensitet og acceptabilitet af luften i prøvetagningsposen. Resultaterne fremgår af Bilag 1.

4.2. Kemisk analyse

Der er opsamlet luftprøver til analyse for flygtige organiske forbindelser (VOC'er) og aldehyder. Analysemetoderne følger internationale standarder og er egnet til at analysere VOC'er og aldehyder. Der opsamles luftprøver specifikt for aldehyder, da formaldehyd er det eneste stof, som der findes en grænseværdi for i Danmark (mere om dette i afsnit 5: Vurderingsgrundlag).

Luftprøverne er opsamlet ved at suge en kontrolleret mængde rumluft gennem opsamlingsmedier specifikke for de kemiske forbindelser. Luftprøverne til analyse af VOC'er udtages og analyseres som dobbeltbestemmelse. De anvendte pumper er af mærket GilAir Plus.

Opsamlingsmedium for:

Aldehyder:	DNPH-rør (C ₁₈ polymer, coated med 2,4-dinitrophenylhydrazin)
Flygtige organiske forbindelser (VOC'er):	Tenax TA

Aldehyder er efter eluering med acetonitril analyseret ved HPLC (væske kromatografi) med UV detektion i henhold til ISO 16000-3. Indoor Air – Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds – Active sampling method.

VOC'er er analyseret ved GC-MS i henhold til ISO 16000-6. Indoor Air – Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor air and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID. Kvantificering er udført på baggrund af kalibrering med rene referencestoffer. Denne anvendte metode dækker alene kemiske stoffer, der kan adsorberes på Tenax TA, og som kan desorberes termisk. De organiske stoffer, som er kategoriseret som meget flygtige (VVOC'er), er typisk underestimeret ved denne opsamlings- og analysemetode. De identificerede VVOC'er er markeret med <C6 i resultattabellen. Visse semiflygtige organiske stoffer (SVOC'er) detekteres ikke med denne metode.

4.3. Prøveudtagningsbetingelser

Ved under 1. måling og til og med 5. måling var huset umøbleret og ubeboet. Ved 6. måling har huset været beboet i et år. Det er aftalt med Egen Vinding og Datter at huset er opvarmet til stuetemperatur og at vinduer og døre i huset holdes lukket i minimum 8 timer forud for målingerne.

1. måling:

Udført d. 9. november 2015. Gulvet i stueetagen har været færdigbehandlet i en uge. Teknikrum, bad og glashus er endnu ikke færdige, og dørene blev holdt lukkede ind til disse rum. 1. måling anses for at være et "worst case" scenarie.

Der er foretaget måling af luftskiftet i hele huset i forbindelse med 1. måling. Luftskiftet er målt til $0,4 \text{ h}^{-1}$. Der er ved den første måling udtaget prøver både i stueetagen og på 1. sal. Der er udtaget luftprøve midt i stuen og i det nordvendte værelse på 1. sal. Temperaturen var på prøvetagningstidspunktet $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$ og luftfugtigheden 60% .

2. måling:

Udført d. 24. november 2015. Temperaturen var på prøvetagningstidspunktet $21 \text{ }^\circ\text{C}$ og luftfugtigheden 55% .

Der er ved denne og efterfølgende målinger udelukkende udtaget prøver i stueetagen, og luften er opblandet ved hjælp af et antal ventilatorer placeret rundt om i huset under målingerne.

3. måling:

Udført d. 9. december 2015. Der er alene udtaget prøver i stuen. Temperaturen var på prøvetagningstidspunktet $24 \text{ }^\circ\text{C}$ og luftfugtigheden 45% .

4. måling:

Udført d. 15. februar 2016. Der er alene udtaget prøver i stuen. Temperaturen var på prøvetagningstidspunktet $20,5 \text{ }^\circ\text{C}$ og luftfugtigheden 45% .

5. måling:

Udført d. 20. november 2017. Der er alene udtaget prøver i stuen. Temperaturen var på prøvetagningstidspunktet $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ og luftfugtigheden 55% . Der er foretaget måling af luftskiftet i hele huset i forbindelse med 5. måling. Luftskiftet er målt til $0,1 \text{ h}^{-1}$.

6. måling:

Udført d. 13. maj 2019. Der er alene udtaget prøver i stuen. Temperaturen var på prøvetagningstidspunktet $21,2\text{-}22,4 \text{ }^\circ\text{C}$ og luftfugtigheden 40% . Aftrækskanal og udeluftsventiler i vinduer blev åbnet forud for målingen.

5. Vurderingsgrundlag

Formaldehyd er det eneste stof, der i Danmark findes anbefalet grænseværdi for i indeklimaet. Den anbefalede øvre tærskel er $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Da vi ikke i Danmark har grænseværdier eller retningslinjer for andre kemiske stoffer end formaldehyd, er vurderingerne af luftkvaliteten foretaget på baggrund de tyske myndigheders: "Health and Environmental Hygiene, Guide values for indoor air quality" fra 29.04.2013 (<http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit>). Heri vurderes, at en samlet koncentration af alle kemiske stoffer mellem 300 og $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ er acceptabel og uden

risiko for normalbefolkningen, under forudsætning af, at ingen af enkeltstofferne overskrider de anbefalede værdier. TVOC værdier i området 1000-3000 µg/m³ bør ikke overskrides i rum beregnet til længere tids ophold.

Guidelines for TVOC (her er ikke medtaget de kemiske stoffer, som er letflygtige (VVOC'er) og tungtflygtige (SVOC'er)):

Niveau	Koncentration [µg TVOC/m ³]	Hygiejnisk vurdering
1	≤ 300 µg/m ³	Ingen indvendinger
2	>300-1.000 µg/m ³	Ingen indvendinger, hvis ingen af de individuelle guidelineværdier er overskredet
3	>1.000-3.000 µg/m ³	Indvendinger af betydning
4	>3.000-10.000 µg/m ³	Alvorlige indvendinger
5	>10.000 µg/m ³	Uacceptabelt

Sensorikbedømmelserne er sammenholdt med kriteriet fra Dansk Indeklima Mærkning gældende i 2016. Her var kravet fra Dansk Indeklima Mærkning en acceptabilitet på minimum 0,1 og en intensitet på maksimum 2.

6. Resultater og vurdering

6.1. Sensorisk bedømmelse

Jf. det sensoriske panels bedømmelse i bilag 1 vurderes lugten i huset ved *1. måling* som værende uacceptabel (-0,33) og med moderat til stærk lugtintensitet (2,6). Kravet fra Dansk Indeklima Mærkning er en acceptabilitet på minimum 0,1 og en intensitet på maksimum 2.

Lugten bedømmes ved *3. måling* som værende acceptabel (0,3) og med svag lugtintensitet (1,2). Kravet fra Dansk Indeklima Mærkning er opfyldt, og herefter er der ikke udført sensoriske bedømmelser ved de følgende målinger. De enkelte sensoriske bedømmelser kan ses i bilag 1.

6.2. Kemisk analyse

Som beskrevet under formål var koncentrationerne af flygtige organiske forbindelser under den *1. måling* høje, og derfor blev målingerne gentaget flere gange for at følge udviklingen. Den seneste måling (*6. måling*) er udført ca. 3,5 år efter *1. måling*.

Ved *6. måling* er den samlede koncentration af kemiske stoffer faldet væsentligt i forhold til de øvrige målinger, og til et niveau som ikke længere er væsentligt højere end hvad vi typisk måler i naturligt ventilerede boliger. Det samlede antal af identificerede stoffer er ligeledes faldet ved *6. måling* i forhold til de øvrige målinger hvor antallet af identificerede stoffer var forhøjet i forhold til, hvad vi typisk måler.

Der blev i luften ved de første fem målinger blandt andet fundet aldehyder, umættede aldehyder og organiske syrer i meget høje koncentrationer. Det er overvejende sandsynligt, at de er afgangninger fra linolien. Aldehyder og organiske syrer er flygtige organiske forbindelser, der er karakteristiske ved deres lugt og irritative egenskaber.

Desuden blev der ved de første fem målinger fundet meget forhøjede koncentrationer af cyclo/iso-alkaner. Det vides ikke, hvor disse forbindelser stammer fra. Ved 6. *måling* er koncentrationen af cyclo/iso-alkaner dog faldet betydeligt.

Formaldehyd er det eneste stof, der i Danmark findes en anbefalet grænseværdi for i indeklimaet. Den anbefalede øvre grænseværdi er $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der er målt op til $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket ikke bør give anledning til gener.

Koncentrationen af acetaldehyd overskred under 1. *måling* de tyske sundhedsmyndigheders anbefalede værdi på $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ med målte koncentrationer 130 og $142 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på hhv. stueetagen og 1. salen. Koncentrationen af acetaldehyd faldt dog til under den anbefalede værdi ved de følgende målinger, men undtagelse af 3. *måling*, hvor temperaturen var højere. Ved 6. *måling* blev den laveste koncentration målt på $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ indtil de to sidste målinger, hvor koncentrationen var faldet til hhv. $161 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ved 5. *måling* og $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ved 6. *måling*.

Summen af mættede, acykliske, alifatiske, C4-C11 aldehyder lå ved de første målinger meget højt og med en samlet koncentration på $221 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ved den sidste måling er den anbefalede værdi på $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ikke længere 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 terpenener er stort set uændret de første 2 år af måleperioden, og koncentrationen ved 5. *måling* lå på $466 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket er langt over den anbefalede værdi på $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ved 6. *måling* lå koncentrationen på $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og derved er den anbefalede værdi ikke længere overskredet. Fyrretræ er kendt for at kunne afgasse høje koncentrationer af terpenener.

Ved de første 5 målinger overskred den samlede koncentration (TVOC) de tyske sundhedsmyndigheders anbefalede værdier. Ifølge Teknologisk Institut og de tyske sundhedsmyndigheder anses summen af koncentrationer af kemiske stoffer (TVOC) på over $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for værende problematiske, og over $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for meget problematisk. Den anbefalede TVOC-værdi på $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bør ikke overskrides i rum beregnet til længere tids ophold. TVOC-koncentrationen var ved 5. *måling* på $4431 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og var selv efter to år fortsat langt over $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ved den 6. *måling* var TVOC-koncentrationen dog faldet til $710 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og ligger dermed i det interval hvor de tyske myndigheder ikke vurderer at der er indvendinger, så længe ingen af de individuelle anbefalede grænseværdier er overskredet. Ingen af de individuelle anbefalede grænseværdier er overskredet ved 6. *måling*.

En stor andel af TVOC-koncentrationen kommer af den høje sum af andre iso/cyklo alkaner, som stort var uændret i de første to år. Mens summen af iso/cyclo-alkaner er faldet ved 6. *måling*, er summen af terpenener uændret i perioden.

6.3. Prøveudtagningsbetingelser

Luftskiftet blev målt første gang under 1. *måling*. På dette tidspunkt fremstod huset ikke helt færdigbygget, fx manglede der låsecylindere i yderdøre, og aftrækskanaler var åbne og uden spjæld. Luftskiftet blev dengang målt til $0,4 \text{ h}^{-1}$. Da luftskiftet blev målt igen under 5. *måling*, blev det målt til $0,1 \text{ h}^{-1}$. På det tidspunkt var aftrækskanaler lukket til, sandsynligvis for at kunne opretholde en luftfugtighed på 50 % i forbindelse med målinger af fugttransport i konstruktionerne. Tilførsel af udeluft (luftskiftet) har stor betydning for luftkvaliteten. Det vides ikke hvornår eller i hvor lang periode i løbet af de to år aftrækskanalerne har været lukket til.

Der er fundet mindre udsving i de målte koncentrationer under de første fem målinger, som kan forklares ved udsving i temperaturen, idet afgang af kemiske stoffer stiger med stigende temperatur.

Ved den 6. *måling* har huset været beboet i et år og det må formodes at luftskiftet i den beboede periode samt under målingen var højere, end det var tilfældet under den foregående periode.

7. Samlet vurdering

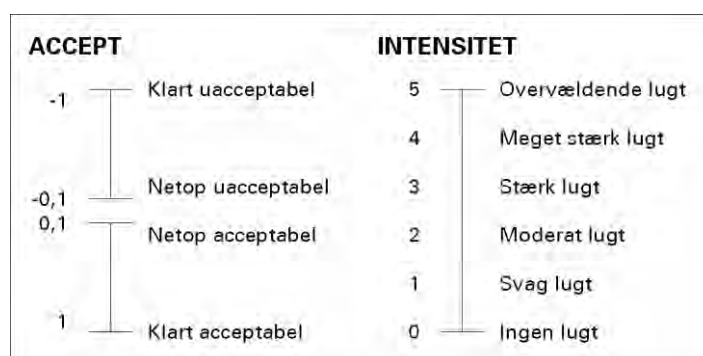
På baggrund af den seneste måling vurderer vi, jf. de tyske myndigheders vejledende værdier, at huset nu er egnet til længerevarende ophold som fx beboelse, og at der ikke længere er øget risiko for, at personer kan opleve helbreds-mæssige gener ved længerevarende ophold i huset.

Tidligere var det primært forekomst af aldehyder, terpenener, organiske syrer og cyclo/iso-alkaner 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 afgang som er årsagen til de lavere koncentrationer ved sidste måling.

Bilag 1: Sensorisk bedømmelse – Resultatoversigt

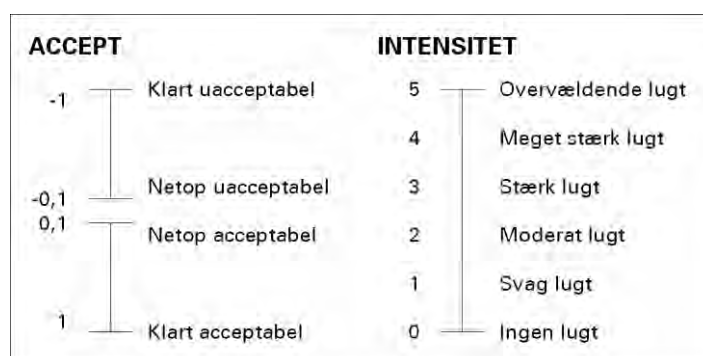
Prøve nr.: 655256 **Modtaget:** 09-11-2015 **Testdato:** 10-11-2015
Betegnelsen: Åndbare hus (LWF) **Ordre:** 655256
Kommentarer: Prøver opsamlet i Tedlarposer af BEKA, LWF 09-11-2015.
 Sensorik lufttester 10-11-2015

	Reference Accepterbarhed	Reference Intensitet	Prøve Accepter- barhed	Prøve Intensitet
1	0,95	0,2	-0,15	2,4
2	1,00	0,2	0,60	0,4
3	0,90	0,3	-0,75	3,1
4	0,15	1,3	-0,45	2,9
5	0,90	0,2	-0,10	1,6
6	0,90	0,5	-0,10	2,8
7	0,90	0,1	-0,65	2,8
8	1,00	0,0	0,10	2,0
9	0,10	1,0	1,00	0,0
10	0,95	1,0	0,40	2,0
11	0,80	0,8	-0,35	2,1
12	1,00	0,0	-0,15	2,9
13	0,85	0,4	-1,00	5,0
14	0,55	1,4	-0,90	3,5
15	-0,75	3,0	-0,95	4,8
16	0,95	0,1	-0,95	3,9
17	0,95	0,3	-0,35	2,5
18	1,00	0,1	0,10	2,5
19	1,00	1,0	-1,00	5,0
20	0,90	0,3	-0,30	1,5
Median	0,90	0,3	-0,33	2,6



Prøve nr.: 655256 **Modtaget:** 09-11-2015 **Testdato:** 10-12-2015
Betegnelse: Åndbare hus (LWF) **Ordre:** 655256
Kommentarer: Prøver opsamlet i Tedlarposer af TWI 09-12-2015.
 Sensorik lufttester 10-12-2015

	Reference Accepterbarhed	Reference Intensitet	Prøve Accepter- barhed	Prøve Intensitet
1	1,00	0,1	-0,30	2,3
2	0,85	0,9	-0,35	4,2
3	0,45	0,7	-0,20	2,3
4	0,90	0,1	0,30	0,8
5	0,90	1,0	0,55	1,2
6	1,00	0,0	0,90	0,7
7	1,00	0,0	-1,00	3,0
8	0,85	0,3	0,55	1,1
9	0,95	0,1	0,30	1,5
10	0,90	0,4	0,25	1,5
11	0,40	0,8	0,95	0,2
12	0,95	0,3	0,65	0,9
13	0,20	1,3	0,10	2,5
14	0,95	0,2	0,75	1,0
15	1,00	0,0	1,00	0,1
16	0,20	1,0	-0,30	1,2
17	1,00	0,0	-0,35	1,4
18	0,70	1,0	0,35	1,7
19	-0,20	1,9	-0,80	4,0
20	0,95	0,0	1,00	0,1
21	0,65	1,0	0,30	0,8
Median	0,90	0,3	0,30	1,2



Bilag 2: Luftkvalitet - kemiske analyseresultater

De identificerede komponenter er angivet i tabellen nedenfor som koncentrationer i $\mu\text{g}/\text{m}^3$

		1. måling Stueetage 9/11-15	1. måling 1. sal 9/11-15	2. måling Stueetage 24/11-15	3. måling Stueetage 9/12-15	4. måling- Stueetage 15/2-16	5. måling- Stueetage 20/11-17	6. måling Stueetage 13/05-19
ALDEHYDER								
Formaldehyd <C6	50-00-0	37	41	26	34	14	23	13
Acetaldehyd <C6	75-07-0	130	142	69	106	45	28	22
Propanal <C6	123-38-6	309	305	92	109	36	11	3
Propenal (Acrolein) <C6 (umættet)	107-02-8	5	5	-	-	-	-	-
Butanal <C6	123-72-8	24	28	15	16	16	13	2
trans-2-Butenal <C6 (umættet)	123-73-9	12	12	-	4	-	-	-
Pentanal	110-62-3	129	136	75	67	36	43	9
trans-2-Pentenal (umættet)	1576-87-0	25	25	7	7	3	-	-
Hexanal	66-25-1	625	654	237	246	124	115	29
2-Furaldehyd	98-01-1	3	3	-	1	-	2	-
trans-2-Hexenal (umættet)	6728-26-3	7	7	-	4	2	-	-
Heptanal	111-71-1	40	40	21	24	12	12	4
trans-2-Heptenal (umættet)	18829-55-5	16	15	3	-	-	-	-
Benzaldehyd (aromatisk)	100-52-7	5	5	3	-	2	6	3
Octanal	124-13-0	81	67	38	36	18	17	6
trans-2-Octenal (umættet)	2548-87-0	36	33	-	-	2	3	-
Nonanal	124-19-6	147	140	64	71	46	21	18
Decanal	112-31-2	10	10	-	-	6	-	7
KETONER								
Acetone <C6	67-64-1	211	193	107	180	104	62	22
6-Methyl-5-Hepten-2-on	110-93-0	-	-	-	-	-	-	3
2-Butanon (MEK)	78-93-3	-	-	10	302	7	4	-
2-Pentanon	107-87-9	8	8	6	5	2	2	-
2-Hexanon	591-78-6	3	3	-	-	-	-	-
2-Heptanon	110-43-0	9	8	6	4	2	4	-
Cyclohexanon	108-94-1	-	-	-	1	-	-	-
ALKOHOLER								
Ethanol <C6	64-17-5	17	16	-	21	-	-	150

TEKNOLOGISK

		1. måling Stueetage 9/11-15	1. måling 1. sal 9/11-15	2. måling Stueetage 24/11-15	3. måling Stueetage 9/12-15	4. måling- Stueetage 15/2-16	5. måling- Stueetage 20/11-17	6. måling Stueetage 13/05-19
2-Propanol <C6	67-63-0	5	5	4	-	8	-	45
n-Propanol <C6	71-23-8	47	36	17	15	-	3	-
n-Butanol	71-36-3	25	28	9	18	11	22	7
iso-Butanol	78-83-1	-	-	-	-	-	5	-
1-Penten-3-ol	616-25-1	39	39	12	9	2	-	-
n-Pentanol	71-41-0	58	62	33	25	12	31	6
1-Hexanol	111-37-3	32	31	14	11	4	-	2
1-Heptanol	111-70-6	10	9	3	-	-	-	-
Phenol (aromatisk)	108-95-2	3	2	-	-	-	-	-
n-Octanol	111-87-5	13	11	6	5	2	-	1
GLYCOL,-ETHERE,-ESTRE								
Methylacetat <C6	79-20-9	6	7	-	6	5	5	3
Styren (aromatisk)	100-42-4	-	-	-	-	-	2	-
Dimethylstyren (aromatisk)	-	-	-	-	-	-	3	-
Ethylacetat	141-78-6	-	-	-	275-?	-	-	17
2-Methoxyethanol	109-86-4	3	2	-	-	-	-	-
1,2-Propandiol	57-55-6	16	9	-	14	-	-	5
Butylacetat	123-86-4	2	2	-	-	-	-	-
Butylglycol	111-76-2	11	12	-	5	-	11	3
Hexylenglycol	107-41-5	6	6	-	-	-	2	-
Styren (aromatisk)	100-42-4	-	-	-	-	-	2	-
Dimethylstyren (aromatisk)	-	-	-	-	-	-	3	-
A,2-Dimethylstyren (aromatisk)	26444-18-8	-	-	-	-	-	4	-
2-Phenoxyethanol	122-99-6	-	-	-	-	3	-	-
TXIB	6846-50-0	-	-	-	-	-	-	2
ALIFATISK KULBRINTER								
n-Pentan <C6	109-66-0	-	-	-	21	9	-	-
Undecan (C11)	1120-21-4	8	9	-	-	-	-	-
Cyclopentan	287-92-3	-	-	-	-	4	-	-
Dodecan (C12)	112-40-3	52	60	41	33	12	1	-
Tridecan (C13)	629-50-5	198	230	146	200	91	32	2
Bicyclohexan	92-51-3	-	-	-	-	60	-	-
Tetradecan (C14)	629-59-4	220	258	185	268	135	128	31
Pentadecan (C15)	629-62-9	29	35	28	37	21	50	16
Hexadecan (C16)	544-76-3	2	3	-	3	-	8	3

TEKNOLOGISK

		1. måling Stueetage 9/11-15	1. måling 1. sal 9/11-15	2. måling Stueetage 24/11-15	3. måling Stueetage 9/12-15	4. måling- Stueetage 15/2-16	5. måling- Stueetage 20/11-17	6. måling Stueetage 13/05-19
Heptadecan (C17) >C16	629-78-7	1	1	-	-	-	-	3
AROMATISKE KULBRINTER								
Toluen	108-88-3	3	3	3	3	2	6	-
Ethylbenzen	100-41-4	-	-	-	-	-	15	-
M,p,-Xylener	1330-20-7	-	-	-	-	-	14	-
o-Xylen	95-47-6	-	-	-	-	-	6	-
TERPENER								
a-Pinen	80-56-8	280	300	230	335	285	273	36
Camphen	79-92-5	8	10	5	13	21	15	3
b-Pinen	18172-67-3	36	46	21	35	22	23	2
Myrcene	123-35-3	-	-	5	6	5	6	-
3-Caren	498-15-7	157	170	151	167	128	155	17
p-Cymene (aromatisk)	99-87-6	7	7	6	6	5	8	2
Limonen	5989-27-5	50	60	40	47	32	35	11
ORGANISKE SYRER								
Myresyre <C6	64-18-6	97	43	-	-	68	17	-
Eddikesyre	64-19-7	165	155	105	145	110	269	133
Propansyre	79-09-4	262	223	139	77	38	21	8
Butansyre (smørsyre)	107-92-6	21	19	10	10	7	6	-
Pentansyre	109-52-4	27	22	15	10	4	5	4
Hexansyre	142-62-1	214	145	54	56	15	16	10
2-Ethylhexansyre	149-57-5	14	8	-	-	-	-	-
Heptansyre	111-14-8	14	8	-	-	-	1	1
Octansyre	124-07-2	-	-	5	7	2	3	3
Nonansyre	112-05-0	-	-	-	-	-	2	3
ANDRE								
Trimethylsilanol<C6	1066-40-6	-	-	-	3	-	-	-
Fluorforbindelse	-	1	-	-	-	-	-	-
2-Ethylfuran	3208-16-0	18	16	-	7	4	-	-
2-Butylfuran	4466-24-4	-	-	-	2	-	-	-
n-Pentylfuran	3777-69-3	13	14	7	7	-	5	-
Hexamethylcyclotrisiloxan	541-05-9	2	3	2	4	-	3	-
Octamethylcyclotetrasiloxan	556-67-2	-	-	-	-	-	2	-
Decamethylcyclopentasiloxan	541-02-6	6	4	-	5	4	-	-

TEKNOLOGISK

		1. måling Stueetage 9/11-15	1. måling 1. sal 9/11-15	2. måling Stueetage 24/11-15	3. måling Stueetage 9/12-15	4. måling- Stueetage 15/2-16	5. måling- Stueetage 20/11-17	6. måling Stueetage 13/05-19
Sum andre Cyclo-/iso-alkaner (Både VOC og SVOC)	-	3530*	4123*	3533*	4366*	2665*	2980*	451
Sum andre Siloxaner	-	10	10	-	-	-	-	-
Sum andre C4-Benzener	-	4	4	4	3	1	5	-
Sum andre Terpener	-	12	12	2	15	15	24	-
Sum andre uidentificeret	-	27	19	-	5	-	-	-
Sum af VVOC'er	-	900	833	330	515	305	162	260
Sum af VOC'er		6752*	7343*	5284*	6521*	3984*	4431*	710
Sum af SVOC'er		1	1	<1	206	<1	28	151

VVOC: Meget flygtige organiske stoffer <C6

VOC: Flygtige organiske stoffer C6-C16

SVOC: Tungt flygtige organiske stoffer >C16

* Resultaterne kan være højere, idet der er større usikkerhed omkring kvantificering pga. de meget høje koncentrationer.

Bilag 9

Håndværkerinterviews

Først lidt overvejelser om metode:

Kvalitativ metode

Interviewpersonerne er ikke tilfældigt udvalgt (stikprøve), men er udvalgt ud fra deres baggrund, fordi de skønnes at være særligt værdifulde kilder.

Interview bliver gennemført som halvstrukturerede interviews efter "Tragtmodellen". Dvs. jeg starter med at stille åbne spørgsmål, som har til formål at få deltagerne til at uddybe deres egne erfaringer, meninger og holdninger. Disse åbne spørgsmål bliver efterfølgende fulgt op med mere specifikke spørgsmål og med tilhørende opfølgningsspørgsmål. Interviewguiden er lavet på forhånd i samarbejde med styregruppen.

Egen forforståelse

Vi har bevidst arbejdet på ikke at lægge op til bestemte svar. Samtidig har vi prøvet at klargøre vores egen forforståelse / hypoteser:

Barrierer for udbredelse af metoder og materialer fra Det Åndbare Hus:

- "Vi gør som vi plejer"
- "det er mere besværligt"
- "det er ikke dokumenteret"
- "det er dyrere "

Andre problemstillinger:

Maling: begrænset holdbarhed af maling, begrænset mulighed for farvetoning, manglende kendskab til problematikken om diffusionsåbne materialer, indeklima og allergi (MI).

Lersten og lerpuds: manglende kendskab til materialerne

Tømrer arbejdet: sammensætning af materialer, efterspørgsel på træhuse frem for muret byggeri,

Informanter

Tømrere: 2

Murere: 2

Malere: 4

Forhandlere af maling: 2

Spørgeguide:

En kort intro til hvorfor vi laver disse interview:

Formål: at indsamle erfaringer, der kan bidrage til at formidle viden og resultater fra projektet Det Åndbare Hus til fagpersoner i byggebranchen og øge kendskab til og salg af EVDs byggematerialer og – metoder.

Forskellige typer start-spørgsmål: (afhænger af informanten)

1. Hvad er din erfaring med at arbejde med bæredygtigt byggeri?
2. Hvorfor synes du det er interessant at arbejde med bæredygtigt byggeri - specifikt med:
 - a. Diffusionsåbne konstruktioner
 - b. Materialer med en minimal afgang af uønskede og giftige kemiske stoffer
 - c. Hensyn til ressourceanvendelse, genbrug og CO₂ bevågenhed?

Hovedspørgsmål	Uddybende spørgsmål	
Hvad er din erfaring med at arbejde med bæredygtigt byggeri?	Hvad er din baggrund? Hvor har du hørt om bæredygtigt byggeri først? /evt. hvordan blev du interesseret i det? Har du arbejdet med konventionelt byggeri?	
Synes du det er interessant at arbejde med bæredygtigt byggeri – og hvorfor?	Nej: hvad skal der til for at motivere dig / hvad interesserer dig af byggefaglige emner? Ja: hvad synes du er særlig vigtigt / interessant?	
Hvilke fordele og ulemper ser du ved metode/produkt i f.t. andre byggematerialer /metoder (a-c)	Arbejds miljø / gener? Økonomi? Tid, hurtigere / langsommere at arbejde med? Logistik, vejrlig og lign.?	
Hvad ved du om produkterne?	Håndtering Hvordan / hvorfor / baggrund... LCA – miljøegenskaber / mærkninger	
Hvad ved du om brugeres oplevelse af indeklima / miljø f. t. metoden / produktet?	Hvad er din egen oplevelse? Har du fået tilbagemeldinger fra brugere / kolleger eller andre?	
Motivation?	Glæde ved at arbejde på den måde? Arkitektur / udtryk / signalværdi fra byggemåde og materialevalg?	

	Vision om det gode byggeri ...	
Har du andre input?	Forslag til udvikling / justering af metoder? Forslag til formidling af projektet / metoder? Forslag til folk vi skal tale med?	

Fagspecifikke spørgsmål:

Tømrere:

Sammensætning af forskellige materialer for at sikre diffusion?

Naturmaterialer / valg af materialer uden afgang af giftige stoffer?

Arbejde med strå som tagmateriale?

Tætnede med konstruktive løsninger frem for fugemasse?

Murere:

Lersten – erfaring fra før / første gang du arbejder med det?

Lerpuds – ditto

Standardisering / certificeringer, test, krav fra bygherrer,

Udvikling – f.eks. murværk uden mørtel

Maling:

Hvordan er Naturmaling at arbejde med?

Lugt, tørretid, resultat, pris?

Farvetoning?

Hvor mange gange overmaling er det din erfaring er nødvendig ... evt. i forskellige situationer

Holdbarhed – er det noget du har en holdning til / erfaring med?

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 CO₂, 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