

# Teknisk rapport - Det Åndbare Hus



Udgivet september 2019, Egen Vinding og Datter.



## Indhold

1. Visionen .....	3
2. De vigtigste resultater.....	4
3. Spændende nytænkende arkitektur .....	5
4. Den konkrete konstruktion .....	8
5. Ydervægge .....	9
6. Indervægge .....	10
7. Isolering .....	11
8. Ler .....	12
9. Maling, spartelmasse og fugemasse.....	14
10. Stråtag og stråvægge .....	15
11. Vinduer og døre med god LCA .....	17
12. Ventilation .....	19
13. Indeklimamålinger .....	20
14. Varmesystemet er et testprojekt i sig selv .....	28
15. Perspektiver for byggeriet og bygningsreglementet .....	29
16. Idéer til fremtidige undersøgelser .....	30

Projektet er støttet af MUDP under Miljøstyrelsen, Realdania og Den A. P. Møllerske Støttefond, og gennemført i samarbejde med HOUSE Arkitekter, Stråtagskontoret, DTU, Teknologisk Institut, Helt Huse, Steen Møller og Hans Dollerup.

Publikationen er udgivet af Egen Vinding og Datter, august 2019.

Tekst og foto (hvor andet ikke er angivet): Jette Hagensen / Egen Vinding og Datter

Kan citeres frit med angivelse af kilde

ISBN: 978-87-997994-2-8

### 1. Visionen

#### Et bud på fremtidens byggeri med godt indeklima i højsædet og brug af diffusionsåbne konstruktioner som alternativ til forceret mekanisk ventilation

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. I projektet er det vores mål at sikre både et godt indeklima og et godt arbejdsmiljø, og samtidig undgå brug af uønskede kemiske stoffer. Vi arbejder med valg af materialer ud fra Livscyklus principper og ønsker samtidig at reducere det samlede energibehov mest muligt.

Det Åndbare Hus er et eksempel på fremtidens bæredygtige byggeri, der forfølger et alternativt teknologisk spor, hvor vi med diffusionsåbne konstruktioner kan reducere behovet for ventilation og skabe enkle velfungerende alternativer til forceret mekanisk ventilation. Principperne for Det Åndbare Hus er netop udsprunget af en erfaring om, at behovet for ventilation er mindre i et åndbart hus, selvom dette er lufttæt.

Vores vision med projektet var og er:

#### En vision om det enkle, sunde miljøvenlige hus, og om dialog med branchen

- At bidrage til at finde og udbrede nye veje i byggeriet, der løser en række udfordringer med indeklima, arbejdsmiljø og det ydre miljø, samt energi og klima.
- At bygge, teste og dokumentere et hus, hvor vi har brugt gode, velkendte byggematerialer og byggeteknikker, såvel som bæredygtige tiltag og materialer med teknologisk nyhedsværdi.
- At være i dialog med interesserede parter i byggebranchen og samfundet om, hvordan vi skaber fremtidens bæredygtige, sunde boliger og bygninger.

#### Stråtag og stråvæg rammer bagdøren i Det Åndbare Hus ind.

- og et kig gennem 1. sal forbi solskorstenen



Foto: Jane Ostermann-Petersen



## 2. De vigtigste resultater

**Målinger viser, at fugt kan transporteres gennem klimaskærmen, når den er opbygget efter helt bestemte principper**

Med byggeriet af Det Åndbare Hus og gennemførelse af en række test af indeklimaet i huset har vi dokumenteret, at man kan skabe et godt indeklima med en ideel relativ luftfugtighed på 40-60 % uden brug af mekanisk ventilation.

Målingerne viser således, at fugt svarende til fugtafgivelse fra 3-5 personer kan diffundere gennem klimaskærmen i et sådant omfang, at det er tilstrækkeligt til at sikre god fugthåndtering, uden nogen brug af ventilation. For at opnå dette, skal man vælge diffusionsåbne materialer, og følge bestemte byggeprincipper. Byggematerialerne skal monteres helt tæt mod hinanden, så fugten kan bevæge sig igennem hele klimaskærmen fra det ene materiale til det andet. De enkelte materials Z-værdi har betydning, ligesom placering af isoleringen for at undgå kulde, og måske andre forhold kan spille ind. Dette uddybes nedenfor.

**Ventilation er nødvendig for at sikre godt indeklima. Det kan med fordel ske med naturlig opdrift, der ikke kræver brug af el i driftsfasen**

I praksis skal man tilføje ventilation for at opretholde en god ilt/CO<sub>2</sub>-balance, og sikre at afgangener af uønskede stoffer, akutte lugte fra køkken og bad, mv. bliver fjernet fra indeklimaet. Denne ventilation kan ske ved hjælp af teknologi, der udnytter naturlig opdrift (termisk opdrift), f.eks. aftrækskanaler, ventilations skorsten, ventilationsvinduer eller andre teknologier, som ikke bruger energi i driften. Disse kan suppleres med manuel udluftning (åbning af vinduer og døre). Man kan også vælge at bruge mekanisk (forceret) ventilation, især til udluftning fra køkken og bad.

**Solskorstenen på Det Åndbare Hus bidrager både med frisk forvarmet luft og med et smukt og levende ovenlys**



Foto: Morten Pihler

### **Byggematerialer kan give uønsket afgasning til indeklimaet**

Et andet væsentligt tema i projektet er luftkvalitet, som vi har fået målt på med fokus på afgasning af uønskede stoffer. Dette kan være afgørende for behovet for ventilation og for indeklimaet i det hele taget.

### **Uønskede stoffer som Mi er valgt fra i projekteringen**

Vi har i projekteringen af Det Åndbare Hus søgt at undgå 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) der bl.a. anvendes i maling. Vi har også forsøgt at undgå en række andre uønskede stoffer, som fortsat anvendes indenfor byggeriet.

### **Der var alligevel en uventet høj koncentration af flere uønskede stoffer i indeklimaet**

Målingerne af afgasning i Det Åndbare Hus har på trods af dette vist, at der har været en uventet høj koncentration af flere uønskede stoffer i indeklimaet. Det drejer sig om alifatiske aldehyder, alkaner, terpener, organiske syrer og 'sum af andre Cyclo-/ iso-alkaner'. Vi ved p.t. ikke præcist, hvor disse stoffer stammer fra. Det er alment kendt, 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. En anden mulighed er måske køkkenelementerne eller limen i etagedækket.

### **Afgasningen af uønskede stoffer er nu faldet til et acceptabelt niveau**

Afgasningen af uønskede stoffer i indeklimaet er i overensstemmelse med vores forventning nu faldet og indeklimaet er OK. Dette er målt ved en afsluttende måling af luften i indeklimaet i maj 2019. Resultaterne uddybes nedenfor.

## **3. Spændende nytænkende arkitektur**

### **En arkitektur, der signalerer rummelighed og åndbarhed**

Det Åndbare Hus er tegnet og projekteret af arkitekt Søren Blicher fra HOUSE Arkitekter. Hans idé var, at hele huset skulle udstråle miljøvenlighed og omtanke for naturen på en moderne og indbydende måde.

Der er derfor valgt en åben planløsning, som signalerer rummelighed og dermed understreger åndbarheden. Huset er bygget med en rammekonstruktion, der giver frihed til at have en åben planløsning uden bjælker på tværs.

### **Arkitekturen, såvel som nogle af de valgte materialer og konstruktioner er ikke de mest almindelige valg**

Gennem det åbne rum svæver en bro, der forbinder to indskudte etager. Disse førstesalsrum står i åben forbindelse med stueplanet. Mindre børn kan være på deres egen hylde, og stadig være i kontakt med deres forældre. Når børnene bliver ældre, kan der etableres flere vægge.

Valget af stråtag underbygger signalet om åndbarhed og der er lagt vægt på, at Det Åndbare Hus præsenterer alle de valgte byggematerialer på bedste vis.

### **Et diffusionsåbent hus kan dog laves med mange forskellige arkitektoniske udtryk**

Et diffusionsåbent, sundt og bæredygtigt hus kan laves med stort set alle typer af arkitektoniske udtryk. Det kan også ligne et typisk typehus på en dansk villa-vej. Det er vigtigt, da dette kan være et mere oplagt valg i nogle tilfælde.

I Det Åndbare Hus viser vi en række materialer og konstruktioner, der ikke er almindelige – endnu. Dette er en ekstra dimension i udviklingsprojektet, der dog samtidig bygger på en række traditionelle byggeskikke.

En kerne af ler bygges op midt i huset – som vægge omkring bad og teknik rum, og med køkken langs den vestlige side



Materialer som ler og træ skaber en unik stemning af både tradition og fornyelse

Den bærende konstruktion er lavet af præfabrikerede spærrammer af træfiberplade, som er isoleret med bomuldsisolering. Det ligner i høj grad en almindelig spærkonstruktion, som muliggør den rummelige arkitektur, hvor man flere steder har et kig på tværs af de to etager. Etagedækket, der er lavet af massivt træ, er limet sammen i plader, der tilsammen udgør en helhed med to værelser på første sal og et åbent repos i mellem, der har udtryk af en svævende bro med udsyn til *underetagen*.

Lergulvet i stueetagen, indervægge af ubrændte lersten omkring bad, køkken og solskorsten og de lerpudsede vægge, giver en smuk, rustik atmosfære, der er kombineret med det synlige træ og et fint lysindfald.

Husets åbne konstruktion styrker kontakten mellem børn og forældre i hele huset. Lyset fra solskorstenen ses her øverst. Det er med til at give et fantastisk indirekte lys, der veksler med årstiderne



Foto Morten Pihler



### **Valget af byggematerialer og -metode sikrer en tæt men diffusionsåben konstruktion, og tager samtidig hensyn til miljø og sundhed**

I Det Åndbare Hus har vi valgt byggematerialer som træ, træfiberplader, ler, linolie, papirisolering, hør-/hampeisolering, gips og naturmaling, der alle sikrer, at konstruktionen er diffusionsåben (åndbar). Udvendt er materialer som thermoask og stråtag af rør og elefantgræs med til at sikre åndbarheden og giver samtidig et smukt look.

Mange byggematerialer indeholder uønskede kemiske stoffer, der i en periode efter ibrugtagning vil afgasse og medføre problemer for indeklimaet. Der sker typisk afgasning fra maling, fra en række spartel- og fugemasser, fra overfladebelægninger og fra produkter, der indeholder lim.

Inden valg af de aktuelle byggematerialer foretog vi en screening af muligheder og kom bl.a. frem til at gips og lerpuds ikke har nogen afgasning af kemiske stoffer, mens naturmaling (linolie-emulsionsmaling) har en meget lav afgasning. Fra træ vil der altid være en naturlig afgasning, der dog aftager over tid. Vi var derfor klar over at der ville være nogen afgasning fra materialerne, og de forskellige målinger ville bidrage til at kortlægge omfanget heraf.

### **Tætheden er målt til 0,8 l/s pr. m<sup>2</sup> og overholder dermed kravet i BR 2018**

Et andet vigtigt forhold, er at bygningen er vindtæt (tæt for konvektion). En Blowerdoor test har vist at tætheden i Det Åndbare Hus er på 0,8 l/s pr. m<sup>2</sup> og dermed overholder kravet i BR 2018 (max. 1 l/s pr. m<sup>2</sup>). Testen blev foretaget i efteråret 2016. Tætheden er sikret ved at sætte gipspladerne forskudt, og dække hjørnesamlinger med en plaststrimmel, der monteres mellem de to lag gips. Træfiberpladen og papirisoleringen har også en tæthed, der bidrager til at væggen bliver vindtæt. Der er således ikke behov for yderligere vindbremse.

Vi har været meget opmærksomme på ikke at bryde tætheden i forbindelse med diverse installationer. Vi har desuden valgt at undlade at sætte en installationsvæg op bag indervæggen, som man ofte gør. I stedet har vi arbejdet med andre løsninger til at sikre tæthed ved gennembrydningerne. Herved har vi vist, hvordan tæthed kan løses på en mere økonomisk fordelagtig måde end med installationsvæg, f.eks. ved brug af de særligt tætte stikkontakter, der i dag er at få på markedet.

Ledninger og rør er placeret i en kanalføring i gulvet. Derfra er de trukket videre rundt i spær-facaderammerne. Alle kabler er trukket til et skab, etableret med adgang udefra, så man kan aflæse målinger uden at åbne huset. Det betyder, at vi i måleperioden kunne aflæse målingerne uden at bryde lufttætheden i huset.

### **Som terrænisolering er valgt Technopor, der er fremstillet af genbrugsglas**

### **Fundamentet er støbt som et lille rammefundament på 15x40 cm for at begrænse forbruget af beton**



**Ved valg af bygge-materialer er det helt afgørende at vælge det rette materiale på rette sted**

I vægge og tag er det afgørende, at alle materialer er gode til at transportere fugt, således at fugt fra indeklimaet kan bevæge sig igennem materialerne. Og de materialer, der er direkte til stede i indeklimaet, skal så vidt muligt ikke afgive uønskede kemiske stoffer.

Som terrænisolering er det andre egenskaber, der er vigtige. Her skal isoleringsmaterialet bl.a. have en bæreevne, der kan klare husets vægt via rammefundamentet. Vi kunne alternativt have valgt EPS, der besidder disse egenskaber, men for at tilføje en ekstra fordel i f.t. cirkulær økonomi har vi valgt at bruge opskummet glas (Technopor). Det er et tysk produkt, lavet af genbrugsglas.

Der er også brugt beton til fundamentet, dog i begrænset mængde, da der blot er støbt en ramme på 15 x 40 cm. Vi har valgt at begrænse beton forbruget, da beton er en af de store CO<sub>2</sub> syndere.

*”Det Åndbare Hus er interessant, fordi det er meget enkelt, der er ikke en masse teknik og der er ikke ret meget, der kan gå galt. Det har lave omkostninger til drift og vedligehold og dermed en god totaløkonomi, og så er det sundt at bo i.”*

*Søren Peter Nielsen, arkitekt, V2C*

**De komprimerede ubrændte lersten, der er anvendt i Det Åndbare Hus, er produceret lokalt på adressen og af lokal overskudsjord**



#### **4. Den konkrete konstruktion**

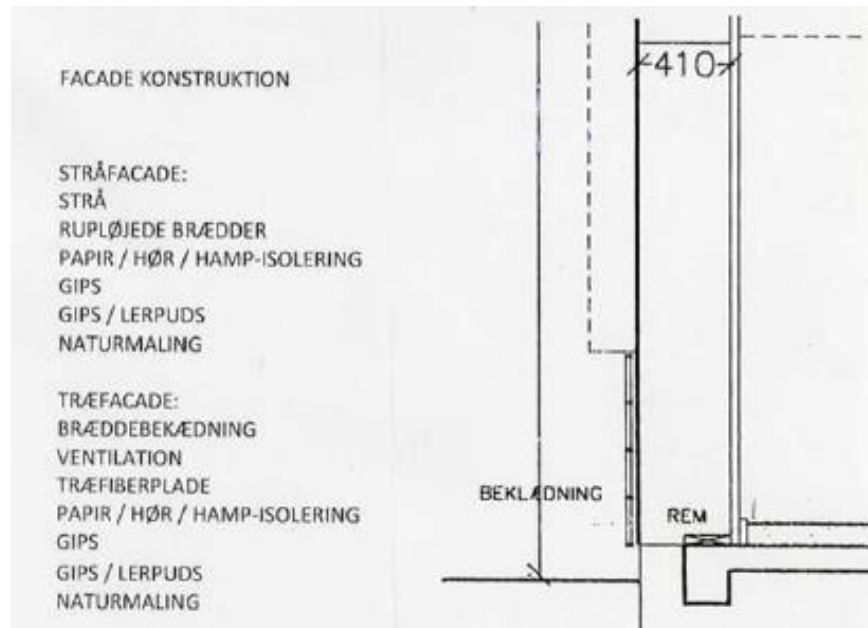
**En konstruktion med strå og rupløjede brædder monteret tæt mod hinanden kan håndtere fugt**

Ydervæggene er bygget op omkring et træskelet, som vi har beklædt indvendig med to lag gips og nogle steder med en lerplade med lerpuds, samt naturmaling.

Udvendigt på træskelettet i gavlene har vi monteret en træfiberplade (ca. 38 mm). På langsiderne har vi i stedet lagt et lag rupløjede brædder. Mellem plade eller brædder og gipsvæg isoleres med papirisolering. Det kunne lige så vel have været isoleret med hør, hamp eller træfiberisolering. (Disse materialers fugtegenskaber er stort set ens). Isoleringstykkelsen er i alt 410 mm. Hertil kommer isoleringsværdien af træfiberplade og strå.



Snit af ydervæg fra Skitseprojekt af arkitekt Søren Blicher, HOUSE Arkitekter



## 5. Ydervægge

**Alle materialer er diffusionsåbne og gode til at håndtere fugt**

De materialer, vi har valgt at bruge til klimaskærmen på Det Åndbare Hus, er alle diffusionsåbne eller åndbare: Naturmaling, gips, træ og træfiber, lersten og lerpuds, hør-, hamp- og papirisolering samt strå.

Disse materialer er samtidig hygroskopiske, det vil sige, at de er gode til at optage vanddamp direkte fra luften og afgive fugtighed til luft igen. I praksis vil materialerne trække fugt til sig og søge at opnå en fugtmæssig ligevægt, så der til enhver tid vil være lige meget fugt på hver side af materialet.

**Rejsegilde på Det Åndbare Hus i maj 2015**



**Omhyggelig udførelse, hvor alle materialer slutter tæt mod hinanden, sikrer at bygningen kan håndtere fugten. Det bidrager samtidig til at mindske behovet for ventilation**

Det handler om at sammensætte materialerne på en måde, så fugten kan bevæge sig gennem hele konstruktionen, uden at der ophobes fugt eller opstår andre problemer.

Væggen skal sammensættes af materialer med ovenstående egenskaber og bygges op, så materialerne slutter tæt mod hinanden. Det har gennem flere år været vores erfaring, at vi ikke har nogen problemer med fugt, når vi er omhyggelige med udførelsen af en sådan konstruktion. Vores hypotese er, at dette skyldes, at fugten kan bevæge sig uhindret fra det ene materiale til det andet og bliver afgivet til udeluften hhv. indeluften.

**Diffusionsåbne konstruktioner sikrer en passende luftfugtighed i indeklimaet**

Det betyder i praksis at der til enhver tid vil være et godt miljø indendørs, der hverken er for fugtigt eller for tørt. Projektet har bekræftet denne hypotese. Målinger har vist, at vi ved at bruge hygroskopiske materialer og sikre, at fugten kan bevæge sig igennem hele konstruktionen og at der ikke ophobes fugt og opstår problemer med fugt eller råd, ved en belastning svarende til at der opholder sig 3-5 personer i huset.

**Thermotræ som yderbeklædning har lang holdbarhed og kræver ikke ret meget vedligeholdelse**

Som en særlig detalje har vi på den nederste del af facaden under stråvæggen og på gavlene valgt en beklædning med brædder af Thermoask. Det er asketræ, der er varmebehandlet - en proces, der tager 48 timer, og som får træet til at holde i op til 60 år. Lader man det være, patinerer det til en sølvgrå nuance. Olierer man det jævnlige, bibeholder det sin varme, mørke lød.

**Etageadskillelsen er lavet af fyrretræ, som er limet sammen i 5 lag (CLT) Vi havde aftalt brug af melamin lim, der har en meget bedre LCA, men dog en meget lille afgang af aldehyd. Ved en fejl fik vi CLT limet med urea lim. Den har en rigtig dårlig LCA, men derimod ingen afgang**



### 6. Indervægge

**Ved valg af indvendige vægge har vi lagt vægt på minimal afgang af uønskede stoffer.**

Vi har eksperimenteret med forskellige typer af indervægge. I den midterste kerne omkring baderum og køkken er væggene muret op i ubrændte komprimerede lersten. Det giver en god masse af ubrændt ler, som er god til at optage og afgive fugt og varme – og som derved bidrager til et godt indeklima. Leren bidrager også til et godt lydmiljø.

**Samtidig har vi valgt at bruge meget ler, der er godt til at optage og afgive fugt og varme, og har en god profil i f.t. LCA**

Væggene i det bagerste rum i stueetagen er beklædt med lerplader. Disse er pudset med lermørtel for at blive helt tætte, svarende til to lag gips med forskudte samlinger.

Lerstenene over køkkenbordet er foreløbig pudset med lerpuds. De bør have en afsluttende behandling med silikat (vandglas), linolie eller lignende, så de bliver lettere at rengøre og vedligeholde. I vådrummet har vi behandlet de pudsede lervægge med 3 lag linolie.

De øvrige overflader, både lersten og lerplader har vi pudset med lerpuds, nogle steder med indfarvet lerpuds for at variere farveindtrykket.

**De udsatte hjørner er forstærket med et stålprofil, hvorpå vi har pudset med lermørtel**



## 7. Isolering

**Isolering skal kunne håndtere fugt og livscyklusanalysen skal være fornuftig**

Når man vælger, hvilke isoleringsmaterialer man vil bruge til et bæredygtigt byggeri, er det vigtigt at se på tre ting:

- er materialerne gode til at håndtere fugt?
- indgår materialet i en cirkulær materialeøkonomi og har det en fornuftig LCA (livscyklus)?
- er arbejdsmiljøet i orden?

Ved langt de fleste isoleringsarbejder i Danmark anvendes mineraluld, som jo har bidraget til meget store energibesparelser i bygninger, men som ikke rigtig opfylder nogen af de her nævnte egenskaber.

I Det Åndbare Hus er valgt at bruge følgende isoleringsmaterialer:

- papirisolering,
- isoleringsmåtter af hør, hamp og bomuld
- træfiberisolering i form af træfiberplader

Det er alt sammen gode eksempler på moderne, velegnede isoleringsmaterialer til vægge og tag. De har alle gode egenskaber til brug i diffusionsåbne konstruktioner og vil bidrage til et godt indeklima, da de er hygroskopiske og gode til at optage og afgive både fugt og varme.



Arbejdet med hør er behageligt og giver ikke gener ved hudkontakt, som mineraluld gør.

Udførelsen kan dog kræve lidt tilvænning, da hørbats er anderledes at skære i end f.eks. mineraluld



En dampspærre, der er utæt, kan give problemer med fugt og dermed er der risiko for skimmelsvamp

I langt det meste byggeri bygges i dag med dampspærre eller dampbremse, der skal sikre, at fugten ikke kondenserer og skaber problemer i konstruktionen. Men det kan være svært at undgå, at der kommer utætheder i dampspærren. Dette kan både ske, mens man monterer en dampspærre, og især i snævre rum kan det være svært at sikre tætheden. Der vil også ofte være utætheder ved stikkontakter, hvor der dog nu er kommet modeller på markedet, der skulle kunne hjælpe på dette.

Når brugerne af huset senere borer huller til at hænge ting op på væggene, vil mange ikke vide, hvor dampspærren sidder, og man kan så komme til at bore hul i denne. Hvis dampspærren er utæt, vil der være risiko for ophobning af fugt og dermed risiko for udvikling af skimmelsvamp.

*”Mange idioter som mig selv bruger et for langt bor og laver hul i membranen, så der kommer fugt. Der er jo kun 5 cm fra indersiden af væggen til dampmembranen.”*

*Kai Drewes, formand for bestyrelsen i EVD Ejendomme A/S*

## 8. Ler

Lersten og lergulve kan med fordel laves af lokal lerjord

Ler anvendt som byggemateriale har gode egenskaber for indeklimaet, fordi det kan optage og afgive fugt, som ellers altid er en udfordring i et hus. Ler kan effektivt lagre varme, har markante lyddæpende egenskaber og kan endda være med til at regulere lugte i et rum. Lerjord er endvidere en råvare, der findes i store mængder - i modsætning til mange andre materialer der anvendes i byggeri. Røddler og blåler, som bruges til brændte mursten, er i dag er blevet en knap ressource.

### **En livscyklus vurdering af ler som byggemateriale er meget positiv**

En livscyklusvurdering af lerjord som byggemateriale viser mange positive resultater, bl.a. er energiforbruget til komprimerede lersten i fremstillingsfasen kun 1/20 af den energi, der bruges ved fremstilling af f.eks. beton eller brændte mursten. Alt spildmateriale kan desuden genbruges og ved nedrivning kan lerjorden gå direkte tilbage til naturen.

### **Lerjord har også fordele i f.t. indeklima og arbejdsmiljø**

Desuden er arbejdsmiljøet godt. Der er ikke problemer med, at materialet ætser huden, som kalk og cement gør. Og så har ler jo nogle rigtig gode egenskaber i bygningen. Ler kan optage og afgive fugt og varme og bidrager derved til et godt indeklima. Lersten vejer en halv gang mere end almindelige mursten, og stenens tyngde forbedrer væggenes lydæmpende egenskaber.

### **Lergulv og pudsede lervægge kan også give et fint visuelt særpræg til stemningen i huset**

I Det Åndbare Hus er gulvet i stueetagen lavet af ubrændt ler og behandlet med linolie. Det giver en dyb varm farve og en overflade der kan minde om linoleum. Vi har valgt at lave de indvendige vægge omkring bad, teknik rum og køkken af ubrændte komprimerede lersten. Stenene er produceret lokalt af overskudsjord fra byggepladser mv. som er presset i EVDs lerstensfabrik få hundrede meter fra Det Åndbare Hus.

De fleste af lerstensvæggene og nogle af de indvendige vægge er lavet af gips og lerplader og pudset med lerpuds. Til nogle vægge er der brugt indfarvet lerpuds i en dueblå nuance.

### **Lerplader som alternativ til gips eller træ**

Nogle steder har vi valgt at sætte lerplader på de indvendige vægge som alternativ til gipsplader. Disse er lavet af moræneler, som jo har flere fordele: Det findes i stor mængde, det er diffusionsåbent, og det er både fugtdynamisk og varmedynamisk i højere grad end gips, da der i gipsen er en ganske stor overgangsmotstand fra plade til plade. Samtidig er varmfylden i lerpladerne større end varmfylden i gipspladerne.

### **Lergulvet giver rummet karakter og indbyder til leg, her stuen i Det Åndbare Hus**



Foto Morten Pihler

Lerpladerne er lette at montere.



## 9. Maling, spartelmasse og fugemasse

### Et hus uden MI

I Det Åndbare Hus har vi valgt helt at undgå materialer, der indeholder konserveringsmidlet methylisothiazolinone (MI), der ifølge Astma- og Allergiklinikken ved Gentofte Sygehus er stærkt allergifremkaldende, et problem der desværre er i eksplosiv vækst. MI kan give kraftige allergiske reaktioner, såsom ånde-  
drætsbesvær og hudirritationer

### Plastmaling afgiver uønskede stoffer, som oftest også MI

De fleste traditionelle vandbaserede plastmalinger indeholder MI eller MI lignende stoffer. Hertil kommer en afgangning af skadelige kemiske stoffer, så længe malingen er våd.

### I Det Åndbare hus er der malet med naturmaling uden tilsætning af konserveringsmiddel

EVD har gennem mere end 20 år udviklet og produceret miljøvenlig linolieemulsionsmaling også kaldet Naturmaling til vægge og lofter. Den er fri for MI og er som en af ganske få danske malinger indeklimatestet. Testen fra indeklimatestningen viser, at der er en ganske lille afgangning de første 10 timer efter påføring. Derefter er der ingen afgangning.

Vi har valgt at bruge naturmaling uden tilsat konserveringsmiddel i Det Åndbare Hus.

### Naturmaling har en indeklimatestning og er fri for MI

Naturmalingen er fri for organiske opløsningsmidler og for konserveringsmidlet MI og andre skadelige stoffer. Den er desuden diffusionsåben, hvilket betyder, at den kan bidrage til en sund fugthåndtering, og at den spiller godt sammen med moderne diffusionsåbne isoleringsmaterialer.

### Ny forskning viser, at der kan være en kombinationseffekt, når man maler på f.eks. en OSB plade.

Rapporten 'Afgangning fra byggematerialer i NO-Tech' udgivet af Realdania i 2019, har testet afgangning fra naturmaling og sammenlignet med en almindelig akrylmaling. Sidstnævnte afgasser jf. testresultaterne væsentlig flere flygtige organiske stoffer end linolieemulsionsmalingen. Rapporten viser dog også, at der kan opstå kombinationseffekter, når man f.eks. maler med linolie på træ, eller naturmaling på OSB-plade. Dette bør undersøges nærmere, se afsnit 13.

### Uventet afgangning af uønskede stoffer i Det Åndbare Hus

Målinger i Det Åndbare Hus har vist, at der er nogle uventede problemer med forholdsvis høje afgangninger af uønskede stoffer i byggeriet. Det drejer sig om alifatiske aldehyder, alkaner, terpenener, organiske syrer og det der summeres op som 'sum af andre Cyclo-/ iso-alkaner.' Dette uddybes også i afsnit 13.



**Fugemasser giver ofte problemer med afgang af uønsket kemi. I Det Åndbare Hus har vi så vidt muligt undgået brug af fugemasse.**

Mange lavenergibyggerier gør brug af kemiske fugemasser for at sikre tæthed i byggeriet og leve op til krav i Bygningsreglementet. Det understreger behovet for at finde løsninger, der arbejder med helheder, så man undgår at fokus på tæthed for at spare energi ikke resulterer i, at der ikke tages konsekvente hensyn til miljø og sundhed. Det er således velkendt, at der i meget af det eksisterende byggeri er problemer med afgang af f.eks. phthalater fra byggevarer og biocider fra overfladebehandling.

I Det Åndbare Hus er der kun anvendt fugemasse i forbindelse med glasskorsten og glashus, og her sidder fugen udvendigt, så der er ikke nogen risiko for afgang til indeklimaet.

*”Et ensidigt fokus på energibesparelser kan gå ud over indeklimaet. Vi har set rigtig mange eksempler på at det er gået galt.”*

*Geo Clausen, DTU Byg*

## 10. Stråtag og stråvægge

**Strå er godt til at håndtere fugt**

Efter en miljøscreening af bl.a. stålpladetag, tegl, diverse tagmembraner som f.eks. tagpap, samt strå var det vores konklusion, at stråtag er et godt og oplagt valg af tag. Strå har gode egenskaber i en åndbar konstruktion, fordi det tillader, at udeluften strømmer igennem taget og ventilerer til det fri. Det er samtidig hydrofilt forstået på den måde, at det fordeler det vand, der måtte være, jævnt i materialet og afgiver det til tilgrænsende materialer/luft med lavere relativ fugtighed.

**Stråtaget her under udførelse**

**Vi har valgt at bruge tagrør, der har en finere struktur, til stråvæggene og Miscantus til taget.**

**Stråtag og stråvægge har som et særligt plus bidraget til en flot arkitektur, der giver huset karakter.**



## Teknisk rapport – Det Åndbare Hus, september 2019.

Såvel tegl, tagpap og stålpladetag kan også anvendes i en åndbar konstruktion. Her skal der etableres en afstand mellem bræddelag og tag, hvorfra fugten kan ventileres bort.

### En LCA har vist at stråtag er det mest klimavenlige tag

En LCA har vist, at stråtaget er det mest klimavenlige tag af alle. Hvis man vælger at tække med Miscantus, der er en art elefantgræs, som har vist sig meget lovende til stråtag, opnår man en række ekstra fordele set i perspektiv af at sikre bæredygtighed hele vejen rundt. Miscantus er nemlig egnet til grundvandsbeskyttelse, er velegnet til økologisk drift, og kan dyrkes lokalt i Danmark. Tagrør har også nogle fine egenskaber, de er gode til at rense vandet på vejen mod vådområder, fordi det bruger kvælstof og tilbageholder tungmetaller.

### Når vi bruger tagrør og elefantgræs, der er dyrket lokalt, opnår vi en endnu bedre LCA profil

I Det Åndbare Hus har vi desuden bidraget til at teste en ny konstruktionsmåde, der kan løse de problemer, der tidligere har været med stråtage i form af brandrisici og risiko for fugt og heraf følgende råd og svamp. Det er sket via et samarbejde med Tækkemændenes branchekontor ([www.straatagetskontor.dk](http://www.straatagetskontor.dk))

### Ved at vælge rupløjede brædder får vi en diffusionsåben konstruktion, der også reducerer risiko for brandspredning

Metoden handler om at strået sømmes fast på et undertag af rupløjede brædder. Det skal slutte helt tæt til undertaget for at undgå ekstra tilførsel af ilt og derved reducere brandudvikling. Brædderne bliver monteret på en trækonstruktion, der rummer 410 mm isolering (papir, hør eller hamp) og hertil kommer tagbeklædning af strå, der har en isolerende effekt. Som indvendig afslutning sættes to lag gips.

### En ny metode til at reducere risiko for brand og fugt er afprøvet med godt resultat

Vi er via Straatagets Kontor blevet opmærksomme på at der er eksempler på nedsat levetid på stråtage monteret direkte på undertag. I disse tilfælde er der brugt mineralsk isolering og uorganisk undertag, som ikke kan håndtere fugt.

Da man begyndte at udnytte 1. sal på bygninger med stråtag og ønskede at isolere mere end selve stråtaget, har man konstateret en opfugtning af strået på visse årstider, der har haft den uheldige effekt at stråtaget er blevet nedbrudt bagfra. Den problematik blev løst ved at etablere en luftspalte mellem den isolerede konstruktion og stråtaget. Således kan den uønskede fugt ventileres væk. For at undgå en forhøjet risiko for brandspredning pga. den øgede ilttilgang, lagde man en branddug under stråtaget. Men det har den ulempe, at man mister noget af isoleringseffekten fra stråtaget og samtidig skal bruge ekstra materialer og økonomi på branddugen.

*”Jeg er temmelig overbevist om, at taget i Det åndbare Hus lever lige så længe som de såkaldte ventilerede tage. Årsagen er, at taget ånder sammen med den øvrige konstruktion, og at der dermed ikke ophobes fugt eller dannes kondens inde i stråtaget. Det har målingerne med lave fugtprocenter inde i taget vist tydeligt.*

*Jørgen Kaarup, Straatagets Kontor*

I dette projekt afprøver vi om den diffusionsåbne konstruktion kan fjerne den uønskede fugt uden en luftspalte, hvorved vi udnytter isoleringsværdien af stråtaget bedre og sparer branddugen.

I vores tagopbygning anvender vi hydrofile materialer i hele konstruktionshøjden. Derfor forventer vi ikke nedsat levetid. Men da det er første gang det bliver udført på denne måde, vil vi selvfølgelig følge det meget nøje.

Dansk Brandteknisk Institut har netop gennemført nye brandtest, med forskellige løsninger monteret direkte på undertaget uden lægter, bl.a. med mineraluld og masonit, eller branddug.

I Det Åndbare Hus er vi gået skridtet videre og bruger rupløjede brædder, der ligeledes har en brandreducerende funktion, der dog p.t. ikke er testet. Brædderne er valgt, fordi de i modsætning til de løsninger, der er testet, kan transportere fugten ud gennem konstruktionen.

**Tagryggen er lavet at thermoask der matcher fint med farven på stråtaget**



Foto: Morten Pihler

### 11. Vinduer og døre med god LCA

**Linoliemalede vinduer af kernetræ har lang levetid og lave krav til vedligehold**

De døre og vinduer der bliver sat i Det Åndbare Hus er produceret på Egen Vinding og Datters vinduesfabrik. EVD Vinduer var faktisk det første byggeprodukt, som firmaet satte i produktion sidst i 1980'erne. EVD var motiveret af egne erfaringer om, at de fleste vinduer på markedet var konstrueret på en måde, så de rådne op efter 15 år.

EVDs mål var at producere et vindue med lang levetid og lille behov for vedligeholdelse, som samtidig ikke skabte problemer i form af affald ved nedrivning af bygningerne.

**Høj andel af kernetræ fra træer, der er vokset langsomt og dermed er mere modstandsdygtige overfor fugt**

EVD Vinduet er produceret af kernetræ fra langsomt voksende fyr. Det har derfor større modstand mod vandskade. Det er malet med linoliemaling, hvorved 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, der kun skal behandles hvert 5.-10. år, med linolie, og med tiden med linoliemaling efter behov for at friske farven op.

Denne type træ stammer fra Lapland, og er stadig er en rigelig ressource. Træerne er 100-150 år gamle og har en kerneandel på 85-100 %. De stykker træ med den største kerneandel bliver brugt til bundstykkerne og det nederste af vinduet, som er mest udsat for råd.



**EVD vinduet kan fås i specialdesign i den form og farve man ønsker og med to eller tre lag vinduesglas**



**Vinduerne kan holde i mere end 100 år**

Ved at anvende langsomt voksende harpiksholdigt kernetræ og behandle dem med linolie-maling er holdbarheden erfaringsmæssigt mere end 100 år. Alle dele kan ved nedrivning skilles ad og bortskaffes.

**Linoliebehandling bidrager til lang levetid og lavt behov for vedligeholdelse**

Vinduerne imprægneres ikke med giftige imprægneringsvæsker, men sprøjtemales 3 gange med linolie-maling. Linolien trænger ind i træet og den hærdner ved iltning og udvider sig under hærdningen, så porerne i træet lukkes for fugt-indtrængning.

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 plast-maling, der ikke giver beskyttelse af træet mod vand. Plast-malingen revner, fordi træet under malingen giver sig, men malingen kan ikke optage bevægelserne, og tillader regnvand at komme ind i træet. Det vand, der kommer ind i træet via fugt, der stammer fra beboelsen, havner bag malingen og kan ikke komme væk.

**EVD har som led i projektet udviklet et ventilationsvindue. Det er sket med god hjælp fra Horn Groups A/S, der har leveret ventilerne**

**I ventilationsvinduet bliver den friske luft foropvarmet på vej ind i huset uden brug af el**



## 12. Ventilation

<b>Mekanisk ventilation bør ikke være det oplagte valg</b>	Et af problemerne ved at anvende mekanisk ventilation er, at ventilationsanlæg skal renses og vedligeholdes for ikke at ophobe støv og skabe grobund for skimmelsvamp og derved øge risiko for allergi mv. Og det er jo bare ikke alle, der får rensset anlægget regelmæssigt.
<b>En del ventilationsanlæg kører ikke optimal</b>	Det er EVDs erfaring, at der i nogle byggerier er installeret tekniske anlæg, der er så komplicerede, at mange brugere ikke overkommer at sætte sig ind i, hvordan de skal indstilles. Der er desuden en del brugere, der oplever problemer med støj og træk fra ventilationsanlægget og med lugt fra nabolejligheder, der kommer ind i deres lejlighed via ventilationskanalerne.
<b>Det koster både i anlæg og drift hvis man vælger forceret mekanisk ventilation</b>	Desuden bruger ventilationssystemer jo strøm og samtidig mister en hel del varme ud af huset.  Varmegenvinding kan reducere dette tab, men det koster så både strøm og materialer og dermed økonomi i både etablering og drift. Hvis anlægget ikke renses, kan der desuden være et øget elforbrug pga. tilstoppede kanaler.
<b>Det Åndbare Hus er et eks. på et andet udviklingsspor for bygningsteknologi</b>	Det vil derfor alt andet lige være bedre, hvis man kan undgå at skabe et behov for mekanisk ventilation, og det er godt at udvikle byggeri i flere teknologispør.
<b>Håbet var at kunne dokumentere, at man kan skabe et ideelt indeklima med lavt forbrug af energi og ressourcer i et åndbart hus</b>	Ventilation er et helt centralt emne i projektet om Det Åndbare Hus. Håbet var, at vi kunne dokumentere, finjustere og udbrede erfaringer og viden om, hvordan man kan sikre et ideelt indeklima med et minimum af energi- og ressourceforbrug til at sikre den nødvendige ventilation.  Formålet med projektet var bl.a. at teste, hvor meget fugt, der kan diffundere gennem konstruktionen og vurdere hvad behovet for ventilation er i f.t. øvrige forhold som lugt og afgangning fra byggematerialer og indbo.
<b>EVDs hypotese om at fugt fra en familie kan diffundere ud gennem klimaskærmen er blevet bekræftet</b>	Resultater af test og målinger viser, at med en diffusionsåben konstruktion, der er lavet efter de bedste principper og hvor man har været præcis i sin udførelse – så kan fugt, der svarer til det, en familie på 3-5 personer typisk producerer, diffundere ud gennem klimaskærmen. Det betyder at der i en sådan konstruktion ikke er behov for ventilation til at håndtere fugt. Dette er et vigtigt resultat idet det viser, at diffusionsåbne konstruktioner med rette kan have en vigtig plads i fremtidigt byggeri.
<b>Fortsat behov for ventilation men den kan med fordel ske uden brug af strøm</b>	Der vil dog fortsat være behov for ventilation til at sikre en god balance mellem ilt og CO <sub>2</sub> , og til at bortlede lugte, afgangning fra indbo og materialer, mv. Denne ventilation kan ske med såvel teknologier baseret på naturlig opdrift, som med forceret mekanisk ventilation, der anvender strøm i driften.
<b>Solskorsten og ventilationsvinduer kan bidrage til dette</b>	Vi har i Det Åndbare Hus bygget en solskorsten midt i huset, som bidrager til ventilationen og samtidig giver et godt lys i bygningen. Vi har desuden afprøvet et nyudviklet ventilationsvindue, der foropvarmer den friske luft, på vej ind i huset, der også ventileres ved almindelig åbning af vinduer og døre efter behov.

### 13. Indeklimamålinger

**Indeklimamålinger foretaget af TI omfatter fugt, lugt og afgang af uønskede kemiske stoffer**

Teknologisk Institut har foretaget en række test og målinger, af fugt, lugt og indhold af uønskede kemiske stoffer. Fugtmålinger (temperatur og relativ luftfugtighed) i konstruktionerne er udført i perioden 1.11. 2015 – 13.5. 2019, og træfugtmålinger er lavet en gang om ugen fra 14.11. 2015 og frem. Målingerne fortsætter. Der er opsat 33 dataloggere i isoleringen, inde i huset og udenfor.

**Fugtmålingerne blev forsinket. Men de er som planlagt blevet gennemført med tilførsel af fugt igennem 12 måneder**

Testen er udført på denne måde: De første to vintre blev der ikke tilført fugt. Bevægelserne af fugt i konstruktionen i denne periode afspejler derfor bevægelser i fugten udendørs. Den tredje vinter (2017) er huset ved hjælp af en fugtmaskine konditioneret med fugt til 50 % relativ fugtighed. Det svarer til et ideelt indeklima (40-45% RF om vinteren og 60-65% om sommeren). Den tilførte fugt har været på niveau som dimensioneret, (7-10 liter/døgn, afhængig af hvad der skal til for at opretholde 50% RF).

**Huset var i denne periode lukket helt af for ventilation**

Resultater fra dette år (fra sommer 2017 til sommer 2018) er derfor det vigtigste datamateriale, der kan dokumentere fugtbevægelse gennem den diffusionsåbne konstruktion. Som uddybet nedenfor var huset i hele perioden lukket helt af, så den eneste mulighed for affugtning var igennem klimaskærmen.

Det betyder, at der har været en ekstrem situation i huset, da der ikke har været nogen form for ventilation, som der ellers altid vil være i en bolig.

**Der er monteret både trådløse følere og følere tilsluttet med ledninger bag isoleringen i begge etager og i gulvet i Det Åndbare Hus.**



Foto: Per Sørensen

**Målinger af lugt er foretaget med et panel på 20 personer**

Målinger i f.t. lugt er foretaget med sensoriske målinger, hvor en luftprøve udtages og et panel på 20 tilfældige personer vurderer lugten. Der er mange ting som kan være svære at måle på, og det er vigtigt at være obs på, hvad der er kvantitativt og hvad der er kvalitative resultater. For eksempel er en lugttest (blindtest) med 20 tilfældigt udvalgte personer, mere præcist end en umiddelbar vurdering af lugt.



### Der er gennemført ekstra målinger af uønsket kemi

Der er udført seks målinger af indholdet af uønskede kemiske stoffer, hvilket er 2-3 flere målinger end planlagt. De er udført efter standardmetoder af Teknologisk Institut d. 9.11., 24.11. og 9.12. 2015, d. 15.6. 2016, d. 20.11. 2017 og d. 13.5. 2019.

Fra 1. maj 2018 til sommeren 2019 var Caroline og Sune Nors Glad testfamilie i Det Åndbare Hus sammen med deres søn Rikard.



### To af de tre ydervægskonstruktioner i Det Åndbare Hus, har håndteret den tilførte fugt godt.

Testresultaterne viste, at de 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. To af tre ydervægskonstruktioner håndterede fugten godt.

Det Åndbare Hus er opført med tre forskellige typer klimaskærm. Alle typer er isoleret med 410 mm papirisolering eller isolering af hør eller hamp. (De to materialers fugtegenskaber er stort set ens). Uden på isoleringen går stråtaget ned og indgår i den øverste del af facaden, hvor den bidrager til isolering. Stråvæggen er lagt uden på et lag af rupløjede brædder, som strået monteres tæt op mod. Under stråvæggen fremstår huset med en ydre facadebeklædning af thermoask.

I gavlene er ydervæggen afsluttet med en træfiberplade (Homatherm), der er isolerende, og dernæst med thermoask. Der er et mellemrum under beklædningen, hvor fugt fra konstruktionen kan ventileres væk. Indvendig er væggene beklædt med et lag gips og et lag lerpuds, nogle steder med en lerplade eller to lag gips, samt naturmaling. eller med et lag upløjede brædder og herpå er lagt.

### Dette kan opsummeres som tre grundtyper af ydervægskonstruktioner:

1. Gavlene, (syd og nord) er opført med stor diffusionsåbenhed ude (Homatherm træfiber-plade, 40 mm, der har en dampdiffusionsmodstand på ca. 1,1) og inde (gips/ler. (To lag gips af 13 mm har en dampdiffusionsmodstand på samlet 1,26 jf. producenten Knauf). 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.

**Gavlen er isoleret udvendigt med 40 mm træfiberisolering**

Gavlene i Det Åndbare Hus er isoleret udvendigt med 40 mm træfiberisolering fra Homatherm der her ses til højre for den orange farvede stolpe, der skal indgå i spærkonstruktionen.

Der mangler nu kun montage af en klemliste/afstandsliste og beklædningsbrædder af thermoask yderst på gavlen.

De vandrette brædder til højre i billedet er langsiden på huset – se også foto af den færdige gavl nedenfor



Foto: Morten Pihler



**Fugtmålingerne er foretaget først uden tilførsel af fugt, så med tilførsel af fugt svarende til en gennemsnitsfamilie, og endelig mens en test-familie boede i huset**

**Når man bygger med de bedste principper for diffusions-åbne konstruktioner, kan fugt svarende til det, en familie på 3-5 personer producerer ved almindelig levestandard, passere igennem konstruktionen.**

**Vi har målt på fugt i konstruktionen i tre forskellige situationer:**

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. En familie lever i huset med normal fugtproduktion og ventilation ved kogeplader og bad/toilet samt ventilationsvinduer og ventilationsmulighed fra døre/vinduer og udluftningskorsten. (1.5.2018 – sommeren 2019)

I situation 1, uden ventilation og uden tilførsel af fugt, 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.

Men der er her et målepunkt, der har vist høje værdier for træfugt, specielt i den 3. vinter. Dette målepunkt er placeret på østsiden af huset, på en ydervæg, hvor der ikke er yderligere isolering udenpå det rupløjede bræt, der tjener som vindspærre, umiddelbart under facade-beklædningen. Se foto nedenfor



**Ved ydervæg type 3 har der vist sig problemer med ophobning af fugt**

Det handler om ydervægskonstruktion nummer 3, hvor det altså har vist sig, at når den yderste flade (vindspærren) er kold (ikke isolerende) og forholdsvis diffusionstæt (inde/ude: 1:10) og når vi udsætter huset for den ret ekstreme påvirkning, hvor vi tilfører fugt uden at der er ventilation i bygningen, så kan der opstå problemer med fugt og efterfølgende skimmelsvamp.



**Det er interessant læring, at problemet med fugt opstår netop, hvor der ikke er isolering udvendigt udenpå den kolde vindspærre, og hvor den udvendige diffusionsmodstand er højere end den indvendige**

Dette er et vigtigt resultat. Det betyder, at når vi har vindspærre i form af en kold og diffusionstæt flade som f.eks. rupløjede brædder som yderste eller 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. Det har samtidig 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 ydervægs-konstruktion nr. 3.

*"Det er såkaldt 'teknisk fælleseje' at man anbefaler et forhold på diffusionsåbenhed ude og inde på 1:10, men vores forventning var dog ud fra tidligere erfaringer at 1:1 ville fungere godt. Da vi ønsker at fremme diffusionen for at få fugten ud af huset uden et ventilationsanlæg ved i stedet at skabe størst mulig diffusionsåbenhed både inde og ude. Det er det vi har ønsket at teste i projektet."*

*Lars Jørgensen, udviklingsdirektør, Egen Vinding og Datter*

**Lergulvet i glashuset bliver til**



Foto: Ida Nielsen

**Måling af afgangning af uønskede stoffer har også vist overraskende resultater**

**Målinger af afgangninger i indeklimaet**

Målingerne af indeklimaet har, som nævnt ovenfor, helt uventet vist at luften indeholder et forholdsvis højt indhold af flere uønskede stoffer: alifatiske aldehyder, alkaner, terpenener, organiske syrer og det, der kaldes 'sum af andre Cyclo- / iso-alkaner' i indeklimaet.

Teknologisk Institut skriver i deres rapport 'Luftkvalitet i Det Åndbare Hus' s. 9:

**Koncentrationen af flere stoffer var ved de første målinger højere end ventet og overskred de tyske sundhedsmyndigheders anbefaling**

---

*"Koncentrationen af acetaldehyd overskred under 1. måling de tyske sundhedsmyndigheders anbefalede værdi på 100 µg/m<sup>3</sup> med målte koncentrationer 130 og 142 µg/m<sup>3</sup> på hhv. 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 µg/m<sup>3</sup>. Stoffet er mistænkt for at være kræftfremkaldende i henhold til IARC (International Agency for Research on Cancer).*

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

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

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

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

**Ingen resultater overskrider dansk lovgivning og afgangningen af uønskede stoffer er nu på et acceptabelt niveau også i f.t. tyske anbefalinger**

Det skal dog understreges, at ingen af disse resultater overskrider danske vejledninger eller lovgivning. En 6. måling, der blev gennemført af Teknologisk Institut d. 13.5.2019 viser, at afgangningen af uønskede stoffer i indeklimaet nu er faldet til et acceptabelt niveau, og de vurderer her, at dette skyldes et øget luftskifte samt en med tiden reduceret afgangning.

**Det er kendt at der kan være en uønsket afgangning fra linolie. Men denne var både uventet høj og langvarig**

Dette er i overensstemmelse med EVDs forventning, men det er desværre ikke muligt at vurdere i hvor høj grad det lave luftskifte er årsag til de høje værdier.

Egen Vinding og Datter havde forventet at finde en afgangning af aldehyder og organiske syrer, som vi mener primært stammer fra lergulvet fra kombinationen af ler og linolie. Her er varigheden af afgangning dog længere og kraftigere end forventet. Vores forventning var, at kurven for afgangning ville falde hurtigt og derefter flade ud – og i løbet af 28 dage ville være uproblematisk. Sådan er det ikke gået.

**Fyrretræ afgasser terpener, og der er forholdsvis meget fyrretræ i Det Åndbare Hus**

Det er kendt viden, at terpenerne stammer fra træ (mængden kan øges ved kombination af træ og linolie), men også her har de høje koncentrationer overrasket. 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.

**Desværre har vi ikke et godt sammenligningsgrundlag fra et benchmark hus. Men meget tyder på, at der er nogle former for afgangning, som vi er fri for i dette hus**

En ekstrabevilling fra Realdania har muliggjort, at vi kunne tage ekstra analyser og følge udviklingen. Vi har i samarbejde med TI evalueret resultaterne undervejs, og Dette

Vi har desværre ikke i projektet et entydigt sammenligningsgrundlag for afgangning 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 dette.

*"Der er stigende behov for at deklarere kemikalieindholdet i byggematerialer, der indeholder flere og flere tungt flygtige kemikalier. Indeklimaet er en stor cocktail."*

*Professor Lars Gunnarsen, SBI*

**Familien Nors Glad har været rigtig godt tilfreds med indeklimaet i Det Åndbare Hus**





**Solskorstenen, der var lukket til under den første del af test forløbet, er nu åbnet og bidrager med lys såvel som frisk, foropvarmet luft**



**På grund af et for lavt luftskifte i Det Åndbare Hus er afgasningen af uønskede kemiske stoffer sandsynligvis foregået langsommere end det ellers ville være tilfældet**

Luftskiftet i Det Åndbare Hus har i en del af perioden desværre været for lavt. TI har målt luftskiftet to gange, ved henholdsvis 1. og 5. måling. Første måling viste et luftskifte på 0,4 h-1, hvilket blev vurderet som OK. Men ved 5. måling var luftskiftet på 0,1 h-1. Kravet til luftskifte i bygninger til beboelse er i dag på min. 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup>, svarende til 0,3 h-1. Det er ikke påvist hvor længe luftskiftet har været for lavt, da der ikke er lavet luftskiftemåling mellem 1. og 5. måling. Der blev dog aftalt efter 3. måling, at der fremadrettet skulle luftes ud i huset 10 min. om dagen. Hidtil var der ikke luftet ud.

Det var EVDs opfattelse, at luftskiftet skulle være minimalt, for at skabe en ekstrem situation, så vi kunne måle på en 'worst case situation' i f.t. 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.

Da luftskiftet blev målt til 0,4 h-1 d. 9.11.2015 blev det vurderet som OK, og udluftningen blev derfor ikke øget, før der ved 5. måling d. 20. november 2017 blev konstateret et meget lavt luftskifte på 0,1 h-1. TI har efterfølgende kommenteret, at de ikke har været bekendt med denne opfattelse.

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

**Det lave luftskifte kan have bidraget til de høje koncentrationer**

Det skal understreges at tilstedeværelsen af uønskede stoffer ikke er forårsaget af det lave luftskifte, men af materialeafgasning. Men manglende ventilation kan være årsagen til, at der er fundet så høje koncentrationer.

**Luftskiftet påvirker ikke resultater vedr. fugt**

Den manglende ventilation kan også have påvirket fugtsituationen i konstruktionerne. Her vil et øget luftskifte dog alt andet lige trække den rigtige vej, så de resultater vi har fundet, vil stadig være gyldige og evt. vil fugten påvirkes positivt af øget ventilation.

*”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 ydervægskonstruktion 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.”*

*Per Sørensen, måle- og kvalitetstekniker, Egen Vinding og Datter*

#### 14. Varmesystemet er et testprojekt i sig selv

**Vi håber at kunne teste og dokumentere en røgvasker på et senere tidspunkt, og huset er forberedt for dette**

Vi har forberedt huset for et varmesystem baseret på en lille træpilleovn med røgrensning via en røgvasker. Røgvaskeren er opfundet af Sten Møller med inspiration fra de noget større røgvaskere, som findes i fjernvarmeværker.

Røgvaskeren virker på den måde, at røgen trækkes gennem et 11 m langt røgrør, der ligger i gulvet under huset, - med fald mod en brønd udenfor huset. Vandet i røgen kondenserer efterhånden som den nedkøles. Derved omdannes røgen til vand og CO<sub>2</sub>, mens partiklerne opfanges i et filter af plantefibre. Idéen er at undgå partikelforurening og at udnytte brændværdien bedre. Når man blander den basiske aske og det syreholdige vand får man et forholdsvis neutralt materiale, bestående af vand og et gødningssalt. Dette er velegnet f.eks. til at gøde træer. Således indgår opvarmningen af huset i en total cirkulær proces.

Denne del af forsøgsprojektet, hvor det er tanken at teste og dokumentere røgvaskeren, er endnu ikke sat i værk. Foreløbig er opvarmningen i Det Åndbare Hus baseret på el.

Se mere om røgvaskeren: <https://offgridbrenderuphojskole.com/varmesystem>

**Alle installationer er ført under jord og samlet i midten af bygningen, hvor der etableres et teknikrum. Derved undgås unødige gennem-brydninger af klimaskærmen.**

**Den sorte rørstuds, der ses foran lerstene, fører til et underjordisk røgsug og derfra videre til en slambrønd, der ligger sydvest for huset**



Foto fra en af de mange rundvisninger i Det Åndbare Hus

## 15. Perspektiver for byggeriet og bygningsreglementet

### Skimmelsvamp i hver 8. bolig kalder på nye løsninger

Der er alvorlige problemer med fugt og skimmelsvamp i ca. hver 8. bolig i Danmark. Problemerne opstår på grund af fejl i konstruktionen og/eller i driften eller som følge af u hensigtsmæssig beboeradfærd.

Problemerne med skimmelsvamp vokser i disse år. Bl.a. i de almene boliger ses et stigende antal skimmelsager, der ifølge SBI kan udgøre en sundhedsmæssig risiko i f.t. bl.a. hjerte-kar-sygdomme, kræft, infektioner, astma og allergi. Hertil kommer, at 20-40 % af danskerne lider af hovedpine og træthed som følge af dårligt indeklima. Det betyder tab af præstationsevne og indlæringssevne, bl.a. er der i mange folkeskoler meget dårligt indeklima. Der er altså brug for metoder, der minimerer disse sundhedsproblemer, samtidig med at miljø- og energiløsninger optimeres.

### Ønske om ændring af krav til ventilation

I projektet har EVD testet, om det er muligt at bygge et diffusionsåbent hus efter disse principper, uden at der er behov for mekanisk ventilation og uden at der opstår fugtproblemer.

### Krav om at luften i boligen skiftes hver anden time

Bygningsreglementets krav (BR2018) er, at nybyggede boliger skal ventileres, så der sikres et luftskifte på 0,3 liter pr. sekund pr. opvarmet etagekvadratmeter. Det svarer til, at al luft i boligen skal udskiftes mindst en gang hver anden time.

### Mindre ventilation vil have en række fordele både for mennesker, energiforbrug og inventar

Dette projekts intention har været at teste, om man kan have et godt (bedre) indeklima uden at skulle leve op til dette krav. For det kræver både investering i ventilationssystemer og energi, og øger samtidig risikoen for at luftfugtigheden bliver for lav. Hvis den relative luftfugtighed bliver for lav, vil det ofte give gener med udtørring af menneskers slimhinder såvel som udtørring af gulve og inventar. Desuden øges den statiske elektricitet, med deraf følgende gener.

*”Man skal passe på, at luftfugtigheden ikke kommer for langt ned. 7 ud af 10 reklamationer på trægulve er i bygninger med en luftfugtighed under 40%. Især oliebehandlede gulve tørrer ud, da der er åbne træporrer. Den lave luftfugtighed ses især i bygninger med mekanisk ventilation.”*

*Kennie Pinion, distriktschef Wiking Gulve*

### Rikard nyder at lege på det behagelige lergulv i stuen i Det Åndbare Hus





**En anbefaling til det danske bygningsreglement kunne være at lave funktionskrav frem for absolutte krav til luftskifte**

Det er vigtigt, at fugt kan komme ud af bygningen uden at skabe fugtproblemer, skimmel og råd i indeklimaet og i konstruktionerne. Det er også vigtigt, at der ikke er for meget CO<sub>2</sub> i luften i en bolig, og at afgang fra bygning og inventar og lugte fra mad, toilet og lignende ventileres ud.

**Det vil være positivt hvis reguleringen også fremadrettet har fokus på at undgå for lav luftfugtighed i boliger**

Vores anbefaling på baggrund af resultaterne i dette projekt er derfor at indføre et funktionskrav, der skal sikre, at der skabes tilstrækkelig ventilation i boliger til, at det ikke giver problemer i indeklimaet. Det skal præciseres, at der ikke må være for meget fugt, men heller ikke for lidt fugt, og at den samlede løsning skal holde en relativ luftfugtighed på ca. 40-60 % - evt. max. 65% om vinteren.

**Målet må være at sikre et godt indeklima med lavest muligt forbrug af energi og ressourcer**

Der skal samtidig være funktionskrav til indeklimaets luftkvalitet og egenskaber som udover luftfugtighed også handler om CO<sub>2</sub> indhold i luften, og om 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.

Et sådant funktionskrav til ventilation vil kunne reducere behovet for både el, materialer og penge og samtidig skabe et bedre indeklima, ved at bygge diffusionsåbne / åndbare konstruktioner.

### 16. Idéer til fremtidige undersøgelser

**Der er behov for flere undersøgelser både i denne type byggeri med diffusionsåbne konstruktioner og prioritering af materialer ud fra hensyn til indeklima, arbejdsmiljø og LCA**

I forlængelse af dette projekt, ser vi et behov for at undersøge en række forhold nærmere. I relation til fugt vurderer vi p.t. at der er behov for:

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

**Behov for ventilation er også et tema, Egen Vinding og Datter gerne vil arbejde videre med i de kommende år**

**Placering af byggematerialerne i f.t. deres egenskaber, f.eks. Z værdi og et forhold som hvilken vej karrene vender på et træbræt, er temaer EVD ønsker at udforske nærmere**

**Et tema, vi er blevet opmærksomme på i dette projekt og via projektet Sunde Boliger er kombinationseffekter.**

**Det har vist sig at f.eks. linolie og træ afgasser andre stoffer, end de to materialer gør hver især**

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 behov for at finde frem til mere præcist, hvor meget ventilation, der er passende i relation til andre udfordringer, som ilt / CO<sub>2</sub>, radon, afgang og lugte.



## Idéen til udviklingsprojektet Det Åndbare Hus

... udsprang af arbejdet med bæredygtigt og økologisk byggeri i bygge- og udviklingsvirksomheden Egen Vinding og Datter. Vi ønskede at teste og dokumentere en række byggematerialer og -metoder, som gennem mange år erfaringsmæssigt har vist et spændende potentiale. Grundprincipperne er:

- Diffusionsåbne konstruktioner og byggematerialer uden skadelig kemisk afgang
- Fokus på at sikre et rigtigt godt og sundt indeklima
- Fokus på at sikre et rigtigt godt og sundt arbejdsmiljø
- Vidtstrakte hensyn til miljø og klima – i alle faser i byggeriets livscyklus
- At spare energi og ressourcer til mekanisk ventilation, så energiforbruget for byggeriet som helhed i anlæg og drift optimeres set i sammenhæng med minimal brug af uønskede kemiske stoffer

## Denne rapport

... samler testresultater og erfaringer fra projektet Det Åndbare Hus.

## TUSIND TAK for støtte fra

- Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP), under Miljøstyrelsen
- Realdania
- Den A. P. Møllerske Støttefond

## Også mange tak for samarbejdet til

HOUSE Arkitekter, Stråtagets Kontor, DTU, Teknologisk Institut, Helt Huse, Steen Møller og Hans Dollerup.

## Link til rapporter, film og artikler om projektet, se

<https://egenvinding.dk/>

