



Erhverusakademi København

BAK, 7. sem. Specialerapport, KON + ARK

Prædefineret information

Startdato:	09-09-2019 14:00	Termin:	okt 2019
Slutdato:	11-10-2019 14:00	Bedømmelsesform:	Dansk 7-trinsskala
Eksamensform:	Skriftlig prøve	ECTS:	10
SIS-kode:	1019 40701997A000 2407072001 - SKR EP 7TRIN		
Intern bedømmer:	(Anonymiseret)		

Deltager

Navn:	Benjamin Redsted Uhlemann
Kandidatnr.:	13820 2094 okt 2019 2277 3917
UNI-C ID:	(Ikke sat)
KEA-id:	benj5435@kea.dk

Information fra deltager

Tro og love erklæring *:	Ja	Opgaven må gøres tilgængelig i digital eller analog form for studerende og ansatte på KEA via KEAs biblioteks opgavearkiv:	Ja
Indeholder besvarelsen fortroligt materiale? *:	Nej		

ÅNDBART BYGGERI

- Implementering af en miljøvenlig og sund byggemetode



Af Benjamin Redsted Uhlemann
7. semester specialerapport, E2019 7.A - ARK
Bygningskonstruktøruddannelsen
11.10.2019

Titelblad

Titel: Åndbart byggeri
- Implementering af en miljøvenlig og sund byggemetode

Forfatter: Benjamin Redsted Uhlemann

Uddannelsessted: Københavns Erhvervsakademi (KEA)
Prinsesse Charlottes Gade 38
2200 København

Uddannelse: Bygningskonstruktør – Professionsbachelor

Professionsretning: Arkitektur

Årgang: E2019 – 7A

Fagkonsulent: Navn: Søren Olsen
Profession: Arkitekt MAA
Virksomhed: HOUSE Arkitekter
Adresse: Refshalevej 163 A 1.sal
1432 København K
Telefonnr.: +45 28356472
E-mail: Soren.o@house-arki.dk

Pædagogisk vejleder: Navn: Anne Helene Hornhaver
Profession: Underviser
Virksomhed: Københavns Erhvervsakademi

Antal anslag: Max 65.976

Generel info: Alle skriftlige dele af denne publikation kan frit anvendes uden tilladelse fra forfatter, vejledere eller uddannelsesinstitution – der gøres dog opmærksom på at der kan være mulige ophavsretter på illustrationer der ikke tilhører forfatteren.

Ifølge eksamensbekendtgørelse nr. 1519 af 16/12/2013 § 19, stk. 6, bekræfter jeg Benjamin Redsted Uhlemann hermed, at specialerapporten er udfærdiget uden uretmæssig hjælp:



Underskrift – Benjamin Redsted Uhlemann

Forord

Nærværende bachelorspeciale vil undersøge og beskrive det diffusionsåbne og åndbare byggeri, hvilke fordele, udfordringer og risici der er forbundet med byggemetoden, og hvordan det åndbare byggeri kan få en større udbredelse i det danske byggeri.

Specialet er udarbejdet som en del af Undervisningsministeriets lovlige krav til bygningskonstruktøruddannelsens akademiske forløb, af den studerende Benjamin Redsted Uhlemann ved Københavns Erhvervsakademi med professionsretningen arkitektur.

Specialet henvender sig til håndværkere, økobyggere, nysgerrige gør-det-selv-folk, bygherrer, konsulenter, entreprenører, materialeproducenter, politikere, undervisere og ikke mindst mine nuværende og kommende medstuderende som søger inspiration og viden om bæredygtigt og åndbart byggeri.

En stor tak til Søren Olsen og Martin H. Green for jeres store interesse og evige hjælp til udarbejdelsen af følgende speciale. Det har været en indsigtfuld, lærerig og personlig stor fornøjelse, at have muligheden for at kunne sparre med stærkt faglige personer, som aktivt tager et ansvar i den bæredygtige og grønne omstilling og tydeligvis brænder for at fremme det diffusionsåbne og åndbare byggeri i Danmark.

- God læselyst.

Benjamin Redsted Uhlemann – Københavns Erhvervsakademi, oktober 2019

Indholdsfortegnelse

Titelblad.....	1
Forord	2
1 Introduktion.....	5
1.1 Indledning	5
1.2 Formål og målgruppe.....	6
1.3 Begrundelse for emnevalg	6
1.4 Metode og teori	6
1.5 Afgræsning.....	7
2 Grundlæggende viden om fugt.....	8
2.1 Fugt i luften – relativ fugtighed (RH).....	8
2.2 Fugttransport.....	8
2.2.1 Diffusion.....	9
2.2.2 Konvektion	9
2.3 Hygroskopi	9
2.4 Z-værdi.....	10
2.5 Indeklima og fugttilførelse	10
3 Byggeriets udvikling i Danmark.....	11
3.1 Bygningsreglementets indtrædelse	11
3.2 Dampspærrens indførelse.....	12
3.3 Implementeringen af ventilationssystemet	12
3.4 Gældende krav iht. BR18.....	13
3.4.1 Fugt	13
3.4.2 Tæthed.....	13
3.4.3 Ventilation.....	13
3.4.4 Diffusionsmodstandsforhold i konstruktionen.....	14
3.5 Det åndbare byggeri i dag	14
3.6 Opsamling	15
5 Introduktion til åndbare byggeri	15
5.1 Åndbare byggematerialer	15
5.2 Dampspærre – Dampbremse.....	16
5.3 Ventilation.....	17
5.4 Indeklima	18
5.5 Udfordringer og risici	18

5.5.1 Resultater fra Det Åndbare Hus	18
5.5.2 Mindre sårbart og risikofyldt byggeri	19
6 Fra <i>alternativ</i> til kommerciel	20
6.1 Miljømæssig diskrepans	20
6.2 Manglede viden og villighed	21
6.3 Tidssvarende anvisninger	22
6.4 Tværfaglig konflikt.....	22
6.5 Lovmæssige forbedringer	23
6.5.1 Ventilation.....	23
6.5.2 Tæthedskrav	24
6.5.3 Diffusionsmodstandsforhold i konstruktionen.....	24
6.5.4 Maksimums krav til CO ₂ -afledning	25
6.6 Fælles front	25
7 Konklusion	26
8 Litteratur- og kildeangivelser	28
Bilag A: Konstruktions snit ”Det Åndbare Hus”	29

1 Introduktion

1.1 Indledning

På nuværende tidspunkt er den bæredygtige udvikling i fuld gang. Træfiberisolering, papiruld, ålegræs, CLT, ler, halm, hamp, dampbremse m.m. er nu byggematerialer, som ikke er helt sjældne at støde på i byggebranchen. Det ses nu, at flere arkitekter, entreprenører, bygherrer, materialeproducenter m.m. vover sig ud i mere "alternative" og innovative materialer og løsninger. Senest har Realdania bevilget den store tegnestue Henning Larsen Architects til at projektere en tilbygning til Feldballe Friskole på Syddjurs af halmelementer¹

Så hvor stammer denne interesse og dette behov fra? Efter energikrisen i 1970'erne blev der, ifølge direktør Lars Koefod Jørgen hos byggefirmaet Egen Vinding og Datter (EVD), igangsat en kædereaktion af forkerte byggetekniske løsninger, som vi stadig slås med den dag i dag.² Siden oliekrisens krav til energioptimering har der været et øget fokus på, at byggebranchen skal bygge og renovere mere energirigtigt. Væggene i husene er blevet mere isoleret, tæthedskraverne forøget og dermed også behovet for ventilation. Men i takt med de forøgende krav, mener flere i byggebranchen, at vi glemmer at tænke på hvordan dette påvirker indeklimaet i bygningerne. Ifølge Lars K. Jørgensen forekommer der i mange af de moderne huse, som er bygget efter de fremherskende byggemetoder, indeklimaproblemer. Netop denne problemstilling, har EVD i samarbejde med Teknologisk Institut og DTU beskæftiget sig med de seneste år. De har opført, testet og nu dokumenteret, det økologiske og bæredygtige byggeri "Det Åndbare Hus", med hovedfokus på at skabe et hus med et godt indeklima og en minimal miljøbelastning.

EVD er ikke ene om at tage omfattende tests og dokumentation i egen hånd. Arkitektfirmaet EENTILEEN har siden 2015 projekteret, opført, testet og dokumenteret deres åndbare byggeri "Det biologiske hus" i Middelfart og der ses nu at flere virksomheder tager ansvaret om dokumentation i egen hånd. Direktør Michael H. Nielsen for Dansk Byggeri udtaler i Dagens Byggeri, at netop disse undersøgelser og dokumentationer er en forudsætning for, at tilsvarende byggerier i større skala kan blive en del af fremtidens byggeri.³

Så hvordan kan vi i fremtidens boligbyggeri skabe en balance mellem energihensyn og indeklima, og hvordan kan man som rådgiver med ro i maven stå til ansvar for det åndbare byggeri? Skal man som andre virksomheder selv opfinde den dybe tallerken og udføre omfattende tests og dokumentationer? Skal der være godkendte og gennemtestede byggerier at læne sig op ad? Eller skal der være en mere åben og anerkendt tilgang til det åndbare byggeri? Netop disse problemstillinger vil nærværende speciale udfolde, med et hovedfokus på følgende problemformulering:

Hvad er åndbart byggeri, hvilke fordele, udfordringer og risici kan der forekomme ved byggemetoden og hvordan kan det åndbare byggeri implementeres mere i det danske byggeri?

¹<http://syddjurs.lokalavisen.dk/>

² <https://www.apmollerfonde.dk/projekter/det-aandbare-hus/>

³ <http://www.dagensbyggeri.dk/>

1.2 Formål og målgruppe

Formålet med dette speciale er først og fremmest, at jeg som kommende bygningskonstruktør kan skabe mig et differentieret, fagligt og teknisk vidensgrundlag om åndbart byggeri samt hvilke fordele, udfordringer og risici der kan forekomme ved denne byggemetode. Derudover har dette speciale til hensigt at oplyse og udvide læsernes viden om åndbart byggeri, afmystificere og definere risikoen ved byggemetoden, og i sidste instans belyse hvordan vi i Danmark kan fremme det åndbare byggeri.

Specialet kan henvende sig som viden og motivation til personen som selv ønsker at bygge et åndbart byggeri, såvel som den fagkyndige arkitekt, ingeniør, bygherre eller entreprenør, som nysgerrigt og åbent har et ønske om at bidrage til en mere miljømæssigt, socialt og økonomisk bæredygtig udvikling inden for byggeriet.

Sidst men ikke mindst er dette speciale tiltænkt som en opsang til de byggekyndige uddannelser, samt Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, til at anerkende og forøge deres viden om åndbart byggeri og dermed tage et ansvar i den grønne- og bæredygtige omstilling.

1.3 Begrundelse for emnevalg

Personligt har det åndbare byggeri haft min interesse siden starten af mit studie. Under mit studieforløb har jeg gjort brug af studiets metodefrihed, og herudfra konsekvent valgt at undersøge og analysere åndbare byggematerialer til alle studieopgaver. Derudover har jeg under mit tidligere studiearbejde hos Novaform Arkitekterne udarbejdet grundige undersøgelser og analyser af bæredygtige, alternative og åndbare byggematerialer. Dette resulterede i et internt bæredygtighedskatalog med dertilhørende detaljer af åndbare normalkonstruktioner. Dermed har jeg allerede en grundlæggende viden om åndbart byggeri, som jeg gerne vil forøge til min kommende karriere som bygningskonstruktør.

Dertil har jeg personligt og professionelt en vision om at tage et ansvar i den grønne omstilling og gøre en aktiv indsats for at præge byggebranchen i en mere bæredygtig retning, hvilket jeg mener denne byggemetode kan bidrage til.

1.4 Metode og teori

Da det åndbare byggeri primært består af byggematerialer med gode egenskaber til fugthåndtering, vil specialet indlede med en beskrivelse af de grundlæggende fugttekniske begreber, hvor fugten kommer fra og hvordan fugten i indeklimaet påvirker os som mennesker. For at skabe en forståelse for hvorfor vi i dag bygger som vi gør, vil der efterfølgende være et historisk oprids af den danske byggeskiks udvikling, som vil ende ud i en beskrivelse af relevant lovgivning i Bygningsreglementet i henhold til diffusionsåbent byggeri. Efterfølgende vil der være en introduktion, definition og analyse af det åndbare byggeri, des mulige materialer og egenskaber, samt hvilke fordele, udfordringer og risici der kan forekomme ved denne byggemetode.

For at specialet kan tage afsæt i virkelighedens nuværende situation i det åndbare byggeri, vil diskussionsafsnittet udfolde sig gennem interviews med arkitekten Søren Olsen fra House Arkitekter og projektkonsulent Martin H. Green fra papiruldsleverandøren CBI Danmark A/S. Ligeledes vil afsnittet tage afsæt i to aktuelle åndbare byggerier; "Det Åndbare Hus" beliggende i Ringsted og økosamfundet "Karise Permatopia" beliggende i Karise. Diskussionsafsnittet vil diskuteres og belyse initiativer, ændringsforslag mm. til hvordan det åndbare byggeri kan implementeres mere i det danske byggeri, og hvordan byggemetoden kan bevæge sig fra at være *alternativ* til kommerciel.

1.5 Afgræsning

Det er på nuværende tidspunkt stadig meget begrænset hvad der findes af undersøgelser, tests og dokumentation på det åndbare byggeri i Danmark. Det eksisterende materiale omhandler primært enfamiliehuse eller 2 – 3 etagers boligbyggeri, og nærværende special vil derfor afgrænse sig til nyt boligbyggeri i maks. 2 etages højde.

Emnet om åndbart byggeri omfatter også det store og komplekse emne; indeklima. I henhold til dette, vil nærværende speciale afgrænse sig fra brugeradfærd, og have fokus på byggetekniske fordele og risici ift. fugt og fugtrelaterede problemer. Dertil vil specialet afgrænse sig fra brandkrav og branddokumentation.

Det åndbare byggeri består primært af organiske materialer, hvormed denne byggemetode formentlig vil have gode bæredygtige og miljømæssige fordele. Grundet specialets omfang vil de bæredygtige aspekter ift. det åndbare byggeri kun blive berørt kort.

2 Grundlæggende viden om fugt

For at skabe en forståelse for det åndbare byggeri, dets fordele, udfordringer og risici, vil der i følgende afsnit blive gennemgået en grundlæggende teori om de fugttekniske begreber og hvor fugten kommer fra og hvordan fugten i indeklimaet påvirker os som mennesker.

2.1 Fugt i luften – relativ fugtighed (RH)

Luften indeholder en bestemt mængde vanddamp afhængig af luftens relative fugtighed (RH). Luften kan ved en given temperatur kun indeholde en bestemt mængde vanddamp, også kaldet for mætningsindholdet, hvor den højeste mængde vanddamp der kan være i luften er 100%. Vanddampen i luften er målt i gram vand pr. m³, og vil normalt kun indeholde en mindre andel af den fugtmængde, som er maksimalt muligt. Forøges temperaturen, kan luften indeholde større mængder vanddamp. Tilføres der ligeledes mere vanddamp vil mætningsindholdet også stige. Hvis luften med et given vanddampindhold opvarmes, vil den relative fugtighed falde og ligeledes hvis luften afkøles, vil den relative fugtighed stige (se diagram 1). Den relative fugtighed angiver dermed forholdet mellem den mængde vanddamp der er i luften og den største mængde vanddamp der kan være ved samme temperatur.⁴

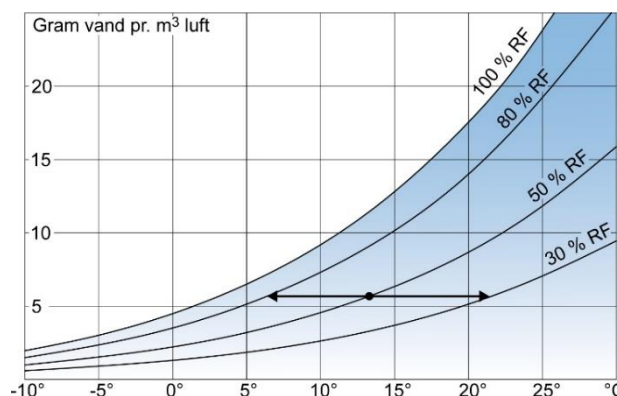
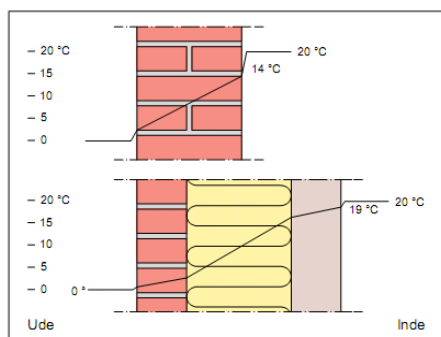


Diagram 1: Vanddampdiagram - SBI 224



Figur 1: Eksempel på temperaturforløbet igennem en isoleret konstruktion – SBI 224

Ved afkøling af luften vil den relative fugtighed som sagt stige. Hvis denne afkøling fortsættes, vil den relative fugtighed fortsat stige indtil den når 100%. Temperaturen hvor den relative fugtighed har nået 100% kaldes for dugpunktet. Hvis luften afkøles yderligere ned end dugpunktet, kan luften ikke længere rumme al vanddampen. Det vand som luften ikke længere kan rumme, vil dermed gå fra at være damp til at være væske og hermed blive udskilt som dug eller kondens.

Ifølge DMI's referenceværdier målt i årene 2001 - 2010 ligger den udendørs relative fugtighed i Danmark gennemsnitligt mellem 78 - 84 %.⁵

2.2 Fugttransport

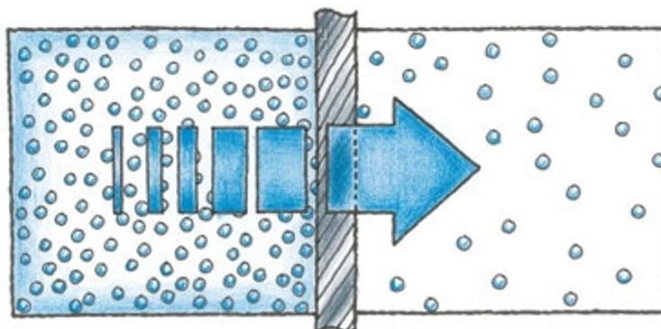
Grundlæggende vil vanddamp altid søge efter at være ligevægtig. Hvis vanddampindholdet ude er lavere end inde, vil vanddampen bevæge sig mod et aftagende tryk og her bevæge sig inde fra boligen og ud i konstruktionen. For en bygning findes der to måder, hvorpå fugten kan transportere sig ind eller ud gennem en konstruktion. Den ene gennem diffusion og den anden gennem konvektion, hvilket vil blive uddybet nedenfor.

⁴ Statens Byggeforskningsinstitut, 1. udg., 2009, "SBI-anvisning 224 – Fugt i bygninger", s. 17-20

⁵ Peter Riddersholm Wang, "Teknisk Rapport 12-23", DMI, Klima- og Energiministeriet, s. 6

2.2.1 Diffusion

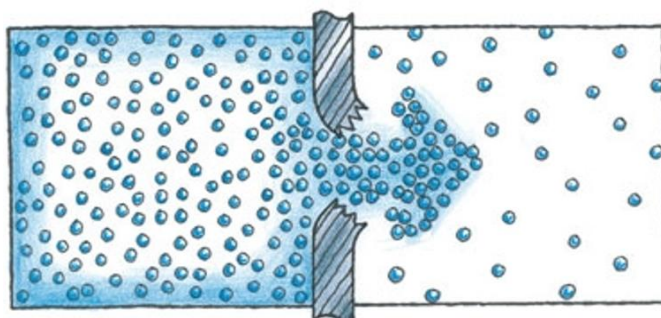
Diffusion sker som følge af vandtransport gennem konstruktions overflader. Vandmolekyler bevæger sig frit i luften og forsøger at fordele sig jævnlige. Diffusionen drives af damptryksforskelle, hvor bevægelsen sker i retningen af et aftagende tryk og vanddampindhold. Inde i bygninger vil der normalt være højere fugtigindhold i luften end udendørs, og der vil derfor være et højere damptryk indendørs end udendørs. Damptrykforskellen vil få fugten til at diffundere ud gennem materialerne i konstruktionerne, så damptrykket bliver ens på begge sider.⁶ Da mange af de konventionelle byggeriers materialer ikke har gode egenskaber til at optage og afgive fugt, er dette en af de primære grunde til at der monteres en tæt dampspærre.



Figur 2: Princip for diffusion - <https://www.isover.dk/>

2.2.2 Konvektion

Konvektion sker som følge af luftgennemstrømning. Fugttransporten ved konvektion drives af trykforskellen på hver side af konstruktionen, og kan skyldes f.eks. termisk opdrift, vindtryk eller mekanisk ventilation. Grundet vanddampens behov for at søge ligevægt vil der ved trykforskelle og utætheder i overfladerne strømme betydelige mængder fugtig luft fra indeluften eller udeluften gennem konstruktionen. Ved et blæsevejr vil der f.eks. blive trykket kold luft ind i konstruktionen, og ved et undertryk vil der blive suget varm indeluft ud i konstruktionen igennem utætheder i klimaskærmen. Passerer den varme luft kolde overflader, vil der opstå kondens, hvilket i større mængder kan medføre fugtproblemer. Utætheder i samlinger, kuldebroer og lign. vil ofte forudsagde højere risiko for fugttransport gennem konstruktionen, end ved diffusion gennem materialer. Grundet den termiske opdrift vil belastningen for konvektion altid være størst i tag- og/eller loftkonstruktioner⁷



Figur 3: Princip for konvektion - <https://www.isover.dk/>

2.3 Hygroskopi

Næsten alle byggematerialer er porøse og består af porer eller hulrum af forskellige karakter. Porrens størrelse og form har betydning for materialets fugtoptagelse og mulighed for fugttransport. En del porer i byggematerialer er ikke modtagelige mod fugt, enten fordi de er for små eller lukkede. De materialer som har poresystemer, der kan binde fugten kaldes for hygroskopiske. De hygroskopiske materialer som kommer i kontakt med fugt i form af damp eller væske, vil enten optage eller afgive fugten.⁸

⁶ Statens Byggeforskningsinstitut, 1. udg., 2009, "SBI-anvisning 224 – Fugt i bygninger", s. 41

⁷ Ibid.

⁸ Ibid., s. 23 -24

Dermed har forskellige materialer forskellige hygroskopiske egenskaber. Nogle kan nemt optage fugt direkte fra luften og nemt afgive fugten tilbage til luften igen, hvorimod andre materialer dårligt eller slet ikke kan optage og afgive fugten. Ved et åndbart byggeri skal man derfor både være opmærksom på de enkelte materialers evne til at håndtere fugt såvel som fugten i den samlede konstruktion.

2.4 Z-værdi

Z-værdi står for vanddampdiffusionsmodstand og udtrykker et materiales evne til at modvirke diffusion af vanddamp. Z-værdien måles i $\text{GPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$ (gigapascal x sekund x kvadratmeter/kilo). Jo højere Z-værdi et materialer har, jo mindre vanddamp kan der trænge igennem materialet. På Tabel 1 ses eksempler på nogle typiske byggematerialers Z-værdier. Beregnes Z-værdien for en konstruktion, skal man blot lægge materialernes Z-værdierne sammen. I en konstruktion er tommefingerregelen, at Z-værdien på indersiden af konstruktionen skal være hhv. 5 - 10 gange større end på ydersiden. Dette er der dog flere holdninger til, hvilket vil blive uddybet nedenfor.⁹

Materiale	Tykkelse	Typisk Z-værdi ($\text{GPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$)
Gipsplade	13 mm	0,3 – 0,5
Mineraluld	100 mm	0,75
Vindspærre af træfiberplade	3 mm	1 - 3
Dampspærre af PVC	-	50
Dampspærre af polyethylen	-	250 - 500
Tagpap	-	500

Tabel 1: Typiske Z-værdier af en række byggematerialer - <https://www.byggeriogenergi.dk/>

2.5 Indeklima og fugttilførelse

For at man kan opnå et sundt og behageligt indeklima anbefaler Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø, at den relative luftfugtighed skal ligge mellem 40 – 60 %, og at man som minimum skal have en relativ fugtighed på 25 – 30 %.¹⁰ Hvis man er allergiker eller overfølsom for husstøvmider, anbefaler Astma-Allergi Danmark dog, at den relative fugtighed skal være under 45 %, hvilket i praksis primært kun er muligt om vinteren.¹¹

Et sundt og behageligt indeklima er vigtigt for vores sundhed og trivsel. Et dårligt indeklima kan forårsage træthed, hovedpine og allergiske symptomer og i værste tilfælde være skyld i mere alvorlige sygdomme som lunge- og hjertekarsygdomme og endda kræft. En europæisk ekspertgruppe anslår, at der i Danmark årligt tabes ca. 22.000 sygdomsjusterede leveår grundet et dårligt indeklima. Der er flere faktorer der kan forudsagde et dårligt indeklima. Dette kan være partikler, bakterier, skimmelsvamp, fugt, støv, kemikalier, PCB og radon. Ser man på fugten, er dette i sig selv ikke skadeligt for vores helbred, men er der fugt i en bygning, kan dette fremme væksten af skimmelsvamp og husstøvmider, som dermed giver et dårligt og usundt indeklima.¹²

Indeklimaet i et byggeri er styret af forskellige faktorer såsom fugttilførelse, temperatur og ventilation. Indeluften tilføres vanddamp fra fordampning fra personer, planter, dyr, samt aktiviteter i bygningen som f.eks. madlavning, badning og vask. Som man kan se i Tabel 2 kommer den største fugtkilde fra mennesker, hvorefter

⁹ <https://byg-erfa.dk/ordbog/z-vaerdi>

¹⁰ https://www.indeklimaportalen.dk/indeklima/luftkvalitet/toer_luft

¹¹ <https://dinhverdag.astma-allergi.dk/indeklima/tjekdinluftfugtighed>

¹² Realdania, 2016, "Indeklima og sundhed i boliger", Center for Indeklima og Sundhed i Boliger, s. 6 - 9

aktiviteter i huset afgiver væsentlig mindre fugt. Fugtproduktionen er meget forskelligt fra husstand til husstand, og afhænger af antallet af personer i husstanden og beboelses adfærd, såsom hensyn til udluftning, tøjtørring og badning.

Indeluftens fugtindhold kan betragtes som et samspil mellem fugtproduktions i bygningen, udeluftens fugtindhold, ventilationens størrelse og bygningens volumen. I et opvarmet beboelsesrum vil luften i rummet, grundet fugttilførelsen, komme til at indeholde mere vanddamp end udeluften. Dette forhold, særligt ved åndbart byggeri, er afgørende for forståelsen af, hvorledes konstruktionerne skal opbygges. Opbygges konstruktionen korrekt, vil det åndbare byggeri, grundet dets hygroskopiske materialer, bidrage til at balancere fugtindholdet i indeklimaet.¹³

Fugtkilde	Fugtproduktion (kg/dag)
Mennesker (ånding og sved)	3,5
Tøjtørring (ophængt indendørs)	1,8
Personlig hygiejne	1,3
Madlavning	0,9
Opvask	0,4
Rengøring af bolig	0,2
Planter	0,2
Diverse	0,2

Tabel 2: Gennemsnitlig daglig fugtproduktion af en husholdning på to voksne og to børn – SBI 224

3 Byggeriets udvikling i Danmark

Den danske byggeskik og valget af materialer har ændret sig meget igennem de sidste 100 år, og dertil også det danske Bygningsreglement. For at skabe en forståelse for hvorfor vi i Danmark i dag bygger som vi gør, vil følgende afsnit beskrive den historiske udvikling frem til i dag.

3.1 Bygningsreglementets indtrædelse

Frem til midten af 1900-tallet byggede man med lidt eller ingen isolering i væggene og tagene. Husene bestod primært af murstensvægge på halvanden sten, med hulmur uden isolering og murbindere imellem for og bagmur. Hulmuren gav en vis isolering, men var først og fremmest anvendt pga. sparehensyn.¹⁴ Som et resultat af anvendelsen af stål og beton blev ydervægskonstruktionerne meget tyndere, og ser man tilbage til 1930'erne blev der anvendt mange forskellige isoleringsmaterialer. Der var alt fra hule teglsten, mos- eller tang måtter, korksmuld til plader af sukkerrørsfibre. Isoleringstykkelsen var kun på ca. 50 mm., hvor størstedelen af isoleringsmaterialerne var organisk, og dermed også havde en risiko for nedbrydning pga. råd og insektangreb.¹⁵ Det var meget almindeligt med utætheder omkring vinduer og døre, hvilket betød, at husene i et stort omfang var åbne for konvektion, så fugten frit kunne komme ud og ind af bygningerne. Derfor var det ikke problematisk at anvende organiske isoleringsmaterialer, da fugten nemt kunne optages og afgives af materialerne eller sive ud gennem utætheder. Efter 1940'erne begyndte man så småt at isolere mere og gøre klimaskærmen tæt.¹⁶

Siden bygningsreglementets (BR) udgivelse i 1961, blev kravene til isolering og energibesparelse for boligerne skærpet, hvilket medførte en markant ændring af bygningernes konstruktioner, materialer og den danske byggeskik. I 1961 blev der i Bygningsreglement for Købstæderne og Landet kap. 7 stk. 7 beskrevet at "alle

¹³ Statens Byggeforskningsinstitut, 1. udg., 2009, "SBI-anvisning 224 – Fugt i bygninger", s. 58 - 60

¹⁴ Jesper Engelmark, 2013, "Dansk byggeskik" Grundejernes Investeringsfond & Realdania, s. 83 - 85

¹⁵ Statens Byggeforskningsinstitut, 1. udg., 2003, "Anvendelse af alternative isoleringsmaterialer", s. 10

¹⁶ <http://xn--bredygtigtbyggeri-rrb.dk/>

konstruktioner skal udføres på en sådan måde, at kondensfugt undgås såvel udvendig som indvendig i konstruktionerne”¹⁷ Kravet til fugthåndtering var på daværende tidspunkt et funktionsbaseret krav, hvorefter det siden hen udviklede sig til at være mere specifikke krav.

3.2 Dampspærrens indførelse

Allerede i 1966 nævnes der i kap. 7 stk. 7 at ”mellem tagkonstruktioner af træ og opvarmede rum skal der anbringes et dampstandsende lag på den side af varmeisoleringen, der vender mod det opvarmede rum”¹⁸ til senere i 1977, at være endnu mere specifikt hvor der i kap. 7.7 stk. 4 punkt c nævnes, at ”der anbringes en fugtspærre på den indvendige side af varmeisoleringsmaterialet. Fugtspærren skal udføres således at den hindrer luftgennemstrømning, og skal have tilslutning til eventuel fugtspærre i ydervæg”¹⁹ Her beskrives der tydeligt et krav om valget af en fugtspærre og beskriver ligeledes kravet til luftgennemstrømning. Disse krav kom som følge af energikrisen i 1970’erne, hvor der for alvor kom gang i både isolering af nybyggeri og efterisolering af den eksisterende bygningsmasse. De organiske isoleringsmaterialer blev delvist udkonkurreret, hvorefter det fortrukne isoleringsprodukt blev mineraluldsprodukter, typisk på 50 eller 100 mm.

Men i takt med at kravene til isoleringstykkelserne blev forøget, begyndte der at opstå fugtproblemer. Den varme fugtholdige luft kunne ikke længere forsvinde gennem ventiler af den åbne konstruktion. Konstruktionen blev koldere, og den varme indeluft kunne derfor ikke bevæge sig videre til de hygroskopiske materialer og diffundere væk. Fugten kondenserede i konstruktionen og resulterede derfor i problemer med råd og skimmelsvamp. Løsningen på dette blev som nævnt ovenfor at opsætte en dampspærre på den varme side af isoleringen, for dermed at forhindre fugten fra indeluften i at komme ud i isoleringen. Dampspærren var diffusionstæt og adskilte fugten fra konstruktionen, men for at den kunne fungere optimalt skulle den monteres lufttæt for at forhindre konvektion. Hertil blev tæthedskravet et tilhørende krav, vis formål var at sikre en tør konstruktion og et mindre varmetab.²⁰ Men da det i praksis kan være meget svært at udføre dampspærren helt tæt, risikerede man at lukke fugten inde i konstruktionen. Man reddede formentlig konstruktionen, men fugten blev inde i husene, som endvidere gav nogle udfordringer med kondens og skimmelsvamp i rummene, hvor menneskene opholdt sig.²¹

3.3 Implementeringen af ventilationssystemet

Løsningen på disse udfordringer var at installere et mekanisk ventilationssystem, som ved korrekt brug kan holde luftfugtigheden nede. Men for at der ikke skabes grobund for bakterier og skimmelsvamp gennem opbobling af støv og andre skadelige partikler, skal ventilationsanlægget renses, der skal skiftes filter og udføres en generel vedligeholdelse. I praksis ses det, at mange ventilationsanlæg kan være meget svære at rense og ikke bliver rensede regelmæssigt. Mange oplever ligeledes problemer med tør luft, støj og træk fra anlæggene. Dertil

¹⁷ Boligministeriet, 1961, *Bygningsreglement for Købstæderne og Landet*, København: Boligministeriet, s. 63

¹⁸ Boligministeriet, 1966, *Bygningsreglement for Købstæderne og Landet*, København: Boligministeriet, s. 77

¹⁹ Boligministeriet, 1977, *Bygningsreglement 1977*, København: Boligministeriet, s. 98

²⁰ BYG-ERFA erfaringsblad (39) 151228, 2015, ”Dampspærrematerialer og fugttransport – væg- og loftskonstruktioner”,

²¹ <http://xn--bredygtigtbyggeri-rrb.dk/>

bruger ventilationsanlæggene strøm og selvom der er monteret en varmeveksler, vil der stadig være et varmetab.²²

Dermed er der de sidste 150 år sket meget med byggemetoden, anvendelsen af byggematerialer og kravene til byggeriet. I det moderne byggeri ses der forskellige løsninger med forskellige typer dampspærre, ventilationsystemer og varmegenvinding, men alle indenfor samme teknologiske spor.

3.4 Gældende krav iht. BR18

For at skabe en forståelse for hvilke udfordringer der kan forekomme ved det åndbare byggeri, vil følgende afsnit opridse relevant lovgivning iht. det gældende bygningsreglement.

3.4.1 Fugt

I det gældende Bygningsreglement beskrives der i BR18 §334, at *"Bygninger skal projekteres, udføres og vedligeholdes, så vand og fugt ikke medfører risiko for personers sundhed eller skader på bygningen"* og i §335, at *"Bygninger skal sikres mod skadelig akkumulering af fugt som følge af fugttransport fra indeluften. [...]"*²³ Kravene er dermed funktionsbaseret og valget af materialer og sammensætning af konstruktionerne er derfor valgfrit, så længe kravet om fugthåndtering overholdes.

3.4.2 Tæthed

I Bygningsreglementet beskrives der i §263 stk. 1, at *"Volumenstrømmen gennem utætheder i klimaskærmen i nye bygninger opvarmet til 15° C eller mere ikke må overstige 1,0 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved en trykforskel på 50 Pa"*.²⁴ Er der yderligere et ønske om at klassificere bygningen som bygningsklasse 2020, er tæthedskravet skærpet til det dobbelt, hvor volumenstrømmen gennem utætheder i klimaskærmen ikke må overstige 0,5 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved en trykforskel på 50 Pa.²⁵

I Bygningsreglementet beskrives der ligeledes i §263 stk. 3, at det skal dokumenteres, at bygningen overholder tæthedskravet.²⁶ Dette kan gøres ved at gennemføre en trykprøvning, også kaldet en blower door-test, hvor bygningen sættes under over- eller undertryk, og derigennem måler hvor tæt/utæt bygningen er.²⁷

I praksis kan det være en udfordring at opfylde kravet om tæthed, særligt ved bygningsklasse 2020, hvor der på nuværende tidspunkt er debat om dette krav skal trækkes tilbage, hvilket vil blive udfoldet senere i specialet.

3.4.3 Ventilation

I henhold til det gældende bygningsreglement beskrives der i §420 stk. 1, at *"Bygninger skal ventileres, så der sikres tilfredsstillende luftkvalitet og fugtforhold i forhold til anvendelsen"*²⁸. Dertil hører kravet om luftskifte

²² <http://xn--bredygtigtbyggeri-rrb.dk/>

²³ Bygningsreglementet 2018, §335

²⁴ Bygningsreglementet 2018, §263 stk. 1

²⁵ Bygningsreglement 2018, §481, stk. 1

²⁶ Bygningsreglementet 2018, §263 stk. 3

²⁷ <https://www.obh-gruppen.dk/>

²⁸ Bygningsreglement 2018, §420, stk. 1

hvilket beskrives i §443 stk. 1. *"I beboelsesrum såvel som i boligen totalt skal der til enhver tid være en udelufttilførsel på mindst 0,3 l/s pr. m² opvarmet etageareal. [...]"*²⁹

Der beskrives ligeledes i §446, at: *"Enfamiliehuse kan ventileres ved naturlig ventilation eller en kombination af naturlig- og mekanisk ventilation. [...]"*³⁰ Dermed er der ved et boligbyggeri ikke noget direkte krav om anvendelse af et mekanisk ventilationssystem. Så længe kravet om luftskiftet opfyldes, og der under anvendelse sikres en tilfredsstillende luftkvalitet og fugtforhold, er kravet funktionsbaseret. Det ses dog i praksis, at kravet om luftskifte kan være svært at indfri, hvilket resulterer i, at der bliver etableret mekaniske ventilationssystemer i det åndbare byggeri, trods uenighed om relevant anvendelse. Der er dog begyndt at komme nye og innovative løsninger, som kan hindre etableringen af omfattende mekaniske ventilationssystemer, hvilket vil blive uddybet senere.

3.4.4 Diffusionsmodstandsforhold i konstruktionen

Hvis en dampspærre anvendes, skal den anbringes på den varme side af konstruktionen, hvilket i praktisk betynder, at den skal højeste skal placeres 1/3 inde i isoleringen, set fra den indvendige/varme side. Dermed behøver man ved anvendelse af en dampspærre ikke at tage stilling til forholdet mellem Z-værdierne på hhv. den indvendige og udvendige side.³¹

Hvis dampspærren derimod udelades, skal diffusionsmodstanden på den indvendige side af konstruktionen være mindst 5 gange så diffusionstæt som den udvendige side. Herved mener BYG-ERFA og Byg og By anvisning 207, at der ved opfyldelse af følgende krav i almindelighed opnås god sikkerhed mod kondensation.³² Tidligere var anbefalingerne, at den indvendige side skulle være 10 gange så diffusionstæt som den udvendige, hvor der nu forsøges i, om det er tilstrækkelige, hvis forholdet er det samme på begge sider af konstruktionen.

3.5 Det åndbare byggeri i dag

Grundet den bæredygtige udvikling og en øget bevidsthed omkring miljø og arbejdsmiljø, problemer med bortskaffelsen af konventionelle byggematerialer, samt et voksende udbud af anvendelige affalds- og biprodukter, er de organiske og hygroskopiske materialer så småt på vej ind på markedet igen³³

Efter en stigende interesse for alternative, åndbare og bæredygtige byggematerialer, samt WHO's daværende udmelding om at mineraluldsisolering var i risikoklasse 2B, (muligvis kræftfremkaldende hos mennesker), valgte By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitut at imødekomme behovet, og udarbejde i år 2003 SBI-anvisning nr. 207 *"Anvendelse af alternative isoleringsmaterialer"*. Dette var for mange en anerkendelse af de "alternative" og åndbare byggematerialer, hvilket i dag har resulteret i flere moderne åndbare byggerier. Senest er byggerier såsom økosamfundet "Karise Permatopia", "Det Åndbare Hus" og "Det Naturlige Hus", med materialer bestående af f.eks. papiruld, træuld, hørisolering, ler og tækkerør blevet opført, efterfulgt af flere mindre og større åndbare byggerier.

²⁹ Bygningsreglement 2018, §443, stk. 1

³⁰ Bygningsreglement 2018, §446

³¹ Statens Byggeforskningsinstitut, 1. udg., 2003, *"Anvendelse af alternative isoleringsmaterialer"*, s. 64

³² BYG-ERFA erfaringsblad (29) 05 09 29, 2015, *"Alternative isoleringsmaterialer"*, BYG-ERFA

³³ Statens Byggeforskningsinstitut, 1. udg., 2003, *"Anvendelse af alternative isoleringsmaterialer"*, s. 10

3.6 Opsamling

I Danmark er vi gået fra at bygge primitive og simple byggerier med meget lidt eller ingen isolering, til i dag at bygge mere komplekse, energieffektive, tætte og delvist diffusionslukkede byggerier. Der kan nu anvendes tusindvis af forskellige byggematerialer, hvor der i mange af de nye og moderne byggerier er anvendt mineraluld, dampspærre og mekaniske ventilationssystemer. Tidligere anvendte man få byggematerialer, hvor flere af materialerne brugte lidt energi under fremstillingen, men hvor der til gengæld var et stort varme- og energitab under driften. Siden da har der været et øget fokus på at mindske energiforbruget i driften, hvor Bygningsreglementets højere krav til bl.a. isoleringstykkelse og energianlæg, har haft en positiv indvirkning på dette. Der er i dag et lille varme- og energitab i driften, men til gengæld bruges der langt mere energi på fremstillingen og mængden af byggematerialer. Dette vil formentligt betyde, at der i fremtiden vil være et øget fokus på at minimere energiforbruget til mængden og fremstillingen af byggematerialerne, hvilket er et behov det åndbare byggeri vil kunne bidrage positivt til.

Byggeriet i Danmark består dermed primært af konventionelle byggerier med konventionelle og ressourcekrævende byggematerialer, men særligt i den seneste årrække har det været en større nysgerrighed, interesse og åbenhed for det åndbare byggeri. Dette er en positiv udvikling, men flere aktører i byggebranchen kræver dog en større anerkendelse af byggematerialerne og byggemetoden, og ligeledes en større fleksibilitet i Bygningsreglementet, hvilket vil blive uddybet i senere afsnit. Først vil der i nedstående afsnit blive udfoldet hvad det åndbare byggeri er, hvilke materialer der indgår og hvilke fordele og risici der er forbundet med denne byggemetode.

5 Introduktion til åndbart byggeri

Et åndbart byggeri er et diffusionsåbent byggeri, hvor fugten frit kan bevæge sig igennem vægge- og tagkonstruktioner, selvom bygningen er lufttæt. I følgende afsnit vil princippet for det åndbare byggeri, hvilke materialer der typisk indgår og hvilke fordele byggemetoden kan medføre blive beskrevet.

5.1 Åndbare byggematerialer

I det traditionelle byggeri ses det oftest, at der anvendes uorganiske materialer såsom beton, porebeton, mineraluld, akrylmaling, mm., som alle er materialer med dårlige eller ingen hygroskopiske egenskaber. Materialerne kan ikke optage og afgive fugt, hvilket forudsætter at der monteres en dampspærre, som slutter helt tæt i alle samlinger. Dette gør byggeriet uhyre sårbart, da utætheder i dampspærren er den væsentlige årsag til fugtskader og problemer med råd og skimmelsvamp i konstruktionen.³⁴

Det åndbare byggeri består derimod primært af organiske materialer, som alle har gode hygroskopiske egenskaber, og dermed gode egenskaber til at optage, transportere og afgive fugt. Der anvendes materialer som træ, ler, kalk, fibergips og cellulosebaseret isolering af f.eks. hamp, hør, træfiber, ålegræs og papiruld. Alle materialer er grundet deres gode evne til fugthåndtering meget velegnet i diffusionsåbne og åndbare konstruktioner uden dampspærre. Ser man f.eks. på mineraluld kan det lagre ca. 2 % fugtighed, hvorimod træfiberisolering kan lagre 20 %, hvilket er en stor fordel i tykkere vægge, hvor risikoen for kondens er større.³⁵

³⁴ <http://xn--bredygtigtbyggeri-rrb.dk/>

³⁵ Ibid.



Figur 4: Træfiberisolering som granulat - <https://hunton.dk/>



Figur 5: Ålegræs som isoleringsmåtte - <https://www.zostera.dk/>



Figur 6: Lerplade - <https://www.claytec.de/>



Figur 7: Papiruld som granulat - <http://shisolering.dk/>

Med den rette materialesammensætning sikrer konstruktionen, at fugten frit kan bevæge sig igennem materialerne, uden at der opstår problemer med fugt, råd eller skimmelsvamp. Størstedelen af materialerne fungerer som en fugt buffer, som ved spidsbelastede og høj luftfugtighed kan optage fugten, og omvendt afgive fugten til indeluften, når luftfugtigheden i bygningen er faldene.

5.2 Dampspærre – Dampbremse

Det konventionelle byggeri består, som nævnt ovenfor, primært af materialer med meget dårlige eller ingen hygroskopiske egenskaber, som ikke kan optage, transportere eller afgive fugt. Ser man f.eks. på mineraluld er dette materiale en fugtfælde. Fugten kan ikke kondensere på fibrenes overflade, og grundet materialets dårlige hygroskopiske egenskaber, vil vandet være fanget i isoleringen. Fugten vil derfra hobe sig op i konstruktionen, hvilket kan forudsagde råd og skimmelsvamp i konstruktionen. For at hindre denne fugttransport og fugtophobning anvendes der i byggerier med ikke-hygroskopiske materialer derfor en dampspærre. En dampspærre vil have en Z-værdi på 50 GPa s m²/kg eller mere, og er dermed diffusionslukket. Utætheder i dampspærren er en af de hyppigste årsager til, at der opstår fugtskader og problemer med råd og skimmelsvamp i konstruktionen, og det er derfor uhyrer vigtigt at dampspærren er udbrudt og forbliver helt tæt for at undgå konvektion.³⁶ Dermed sikres der med en tæt dampspærre, både tæthed i form af diffusion og konvektion.

I det åndbare byggeri anvendes der i stedet en dampbremse eller et dampbremsende lag. Anvendes der en dampbremse i form af en membran, vil dampbremsen have en Z-værdi som er mindre end 50 GPa s m²/kg. For at hindre konvektion er dampbremsen lufttæt, men derimod diffusionsåben, så fugten frit kan vandre igennem konstruktionen. Der kan undlades at anvende en dampbremse, såfremt at konstruktionens lufttæthed kan sikres på anden vis. Dette kan f.eks. sikres ved et lufttæt pudslag af ler uden huller eller revner. Her kræves der dog en omhyggelig udførelse. Indvendig med et særligt fokus omkring stikkontakter, vindueshuller mv. og udendørs med en tæt lagtykkelse som hindrer regn i at trænge ind i væggen, men stadig åben nok til at fugten indefra kan trænge ind i væggen. Et tæt pudslag vil udover en sikring af lufttætheden, også sikre, at der ikke transporteres varme ud af bygningen eller fugt ind i konstruktionen via luftstrømme.³⁷

Dermed er det åndbare byggeri stadig lufttæt, som vil sikre bygningen mod et varmetab gennem konvektion, men derimod diffusionsåben, så konstruktionerne og de dertilhørende hygroskopiske materialer kan optage, transportere og afgive fugten og derigennem bidrage til en fugtreguleringen af boligen.

³⁶ <http://xn--bredygtigtbyggeri-rrb.dk/>

³⁷ Statens Byggeforskningsinstitut, 1. udg., 2003, "Anvendelse af alternative isoleringsmaterialer", s. 63 - 65

5.3 Ventilation

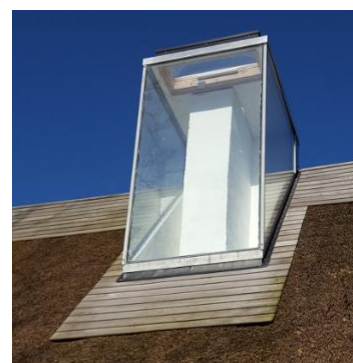
For at skabe et godt indeklima, vil der være behov for et vist luftskifte. Bygningens behov for ventilation afhænger bl.a. af bygningens arkitektur og materialevalg, mængden af fugt i rummet, balancen mellem ilt og CO₂ og indholdet af skadelige stoffer fra f.eks. elektroniske apparater, kemikalier, afgangninger fra byggematerialer, møbler og madlavning.³⁸

Mange af de moderne byggerier, er blevet så diffusionstætte, at der er behov for omfattende ventilationsystemer for at sikre et indeklima med en passende luftfugtighed. Da byggeriet ikke kan håndtere fugten via diffusion, er fugten spærret inde i bygningen, og man er derfor nødsaget til at fugtregulere via kontrolleret konvektion, hvilket ligger til grund for det nuværende krav om luftskifte. Fugten skal ud af opholdsrummene sammen med den luft som fugten er i, hvilket som oftest sker gennem et mekanisk ventilationssystem. Et mekanisk ventilationssystem som fungerer optimalt, kan bidrage til et godt og behageligt indeklima, men disse systemer koster penge og bruger samlet set mange ressourcer på materialer, drift og vedligeholdelse. Nyere ventilationssystemer er kombineret med varmegenvinding, hvor der spares energi, men der vil altid være et effektivitetstab på 20 % eller mere.³⁹

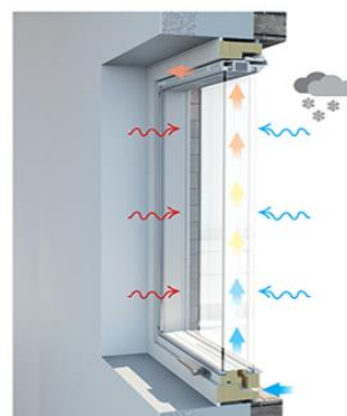
I et åndbart byggeri, hvor der er anvendt hygroskopiske materialer, vil bygningen derimod kunne håndtere store dele af fugten og generelt kunne regulere luftfugtigheden til et passende niveau. Flere undersøgelser viser, at det åndbare byggeri primært kan klare sig med naturlig ventilation via udluftning af boligen gennem vinduer, døre og ventilationsåbninger – også kaldt friskluftventiler. Dette kan kombineres med mekanisk ventilation, hvor luften fjernes via aftrækskanaler fra køkkenen via emhætte og tilsvarende fra bad og toilet via aftrækskanaler, evt. også suppleret med en udsugningsventilator.

Ved naturlig ventilation kan man med fordel anvende den naturlige termiske opdrift, som får den varme luft til at stige opad. Ved anvendelse af aftrækningskanaler, der er placeret højt i bygningen, samt åbning af de øverste vinduer, vil dette bidrage til et godt luftskifte. Dertil kan man også anvende en aerodynamisk vindturbine på toppen af en ventilationsskorsten eller en solskorsten bestående af lodrette kanaler til det fri, hvor solen opvarmer luften. Begge med det formål at forøge den naturlige opdrift og hindre luftnedfald.⁴⁰ Senest er der ligeledes kommet en løsning hvor intelligente ventilationsvinduer sørger for en konstant strøm af frisk luft, mens en effektiv varmepumpe fører energien over i gulvvarmen og varmtvandsbeholderen.⁴¹

På nuværende tidspunkt etableres der, grundet kravet om luftskifte, traditionelle ventilationssystemer i det åndbare byggeri. Der kommer dog flere innovative alternativer til mekanisk ventilation, som flere mener vil blive langt



Figur 8: Solskorsten - <http://xn--bredygtigtbyggeri-rrb.dk/>



Figur 9: Intelligent ventilationsvindue - <https://ventilationsvinduet.dk/>

³⁸ <http://xn--bredygtigtbyggeri-rrb.dk/>

³⁹ Ibid.

⁴⁰ Ibid.

⁴¹ <https://www.hornvinduer.dk/>

mere udbredt i fremtiden. Flere og flere undersøgelser viser ligeledes, at der ikke er behov for omfattende mekaniske ventilationssystemer, og mener i denne sammenhæng, at kravet om luftskifte skal revurderes, hvilket vil blive uddybet i senere afsnit.

5.4 Indeklima

De mekaniske ventilationssystemer vil i mange tilfælde virke optimalt og bidrage til et godt indeklima, men det ses ofte, at luftfugtigheden ved mekanisk ventilation bliver for lav. Distriktschef Kennie Pinion hos Wiking Gulve udtaler f.eks., at 7 ud af 10 reklamationer på trægulve er grundet anvendelse af mekanisk ventilation hvor luftfugtigheden er for lav.⁴² Her har det en negativ konsekvens for materialer i bygningen, men dette kan, som nævnt i tidligere afsnit, også have en negativ indflydelse på vores sundhed og trivsel. Er luften for tør, kan man opleve tørre slimhinder og hud, irriterede luftveje og øjne, særligt hos astmatikere, træthed, koncentrationsbesvær og forøget statisk elektricitet.

Grundet de hygroskopiske materialers egenskaber til at lagre, afgive og transportere fugten, vil bygningen stabilisere sig på et passende niveau, hvor den relativfugtighed vil være mellem 40-60 %. Frem for at omfattende mekanisk ventilationssystemer ventilerer fugten ud af bygningen, vil fugten i det åndbare byggeri blive i bygningens hygroskopiske materialer, og senere afgive fugten når den relative luftfugtighed er faldende. Dette er særligt en fordel om vinteren, hvor udeluften er kold, og dermed indeholder mindre fugt.⁴³

5.5 Udfordringer og risici

Det åndbare byggeri er på nuværende tidspunkt stadig i den kontroversielle fase, hvor mange har en større eller mindre grad af skepsis for at bygge diffusionsåbne og åndbare bygninger. Som tidligere nævnt kan det i praksis være meget svært at montere og bevare en udbrudt dampspærre, hvilket gør det konventionelle byggeri meget sårbar ift. fugt. Denne sårbarhed og erfaringer fra tidligere fugtskader, ligger formentligt til grund for den store skepsis og berøringsangst for det åndbare byggeri.

I forhold til det åndbare byggeri er der efterhånden mange veldokumenterede og afprøvede byggerier i udlandet, men endnu ikke så mange i Danmark. På nuværende tidspunkt bliver der lavet flere og flere undersøgelser og tests på det åndbare byggeri, hvor rapporten på Det Åndbare Hus i Ringsted senest er udkommet med nogle interessante resultater.

5.5.1 Resultater fra Det Åndbare Hus

I Det Åndbare Hus er der både eksperimenteret med forskellige materialevalg, forskellige materialesammensætninger og forskellige forhold på diffusionstæthed. Formålet med byggeriet var at optimere et sundt indeklima og sikre et lavt energi- og ressourceforbrug gennem udvikling og valg af byggematerialer med gode egenskaber til fugthåndtering og minimal afgasning af skadelige kemiske stoffer. I to ud af de tre testede konstruktionstyper var der ikke problemer med fugt, råd eller skimmelsvamp, hvorimod der i én af konstruktionerne var registeret fugtproblemer. I konstruktionen, hvor der var



Figur 10: Det Åndbare Hus - <http://xn--bredygtigtbyggeri-rrb.dk/>

⁴² <http://xn--bredygtigtbyggeri-rrb.dk/>

⁴³ Ibid.

målt fugtophobning, var der ikke monteret en udvendig isolering på vindspærren, hvilket gav fugtproblemer. Fugttophobningen skyldes formentlig, at den varme indeluft, der via diffusion bevæger sig igennem klimaskærmen, kondensere når den møder den kolde vindspærre, og dermed resultere i problemer med fugttophobning. Alternativt viser resultaterne at, hvis der anvendes en vindspærre med en højere isoleringsværdi og/eller en diffusionsåben vindspærre, vil der ikke være problemer med fugt, råd og skimmel.

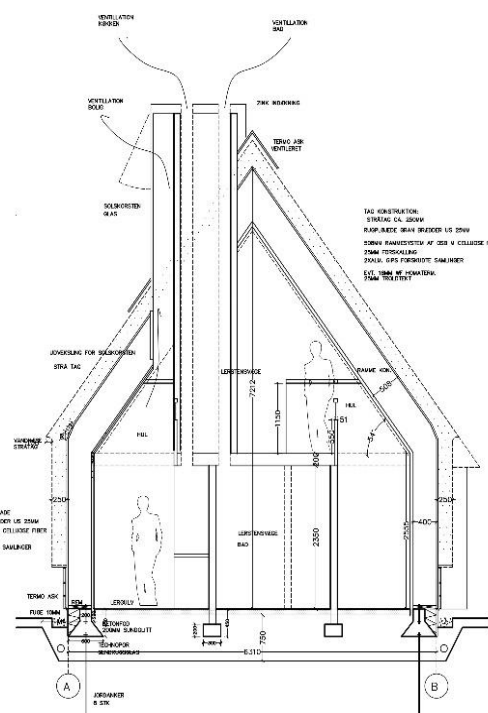
I testperioden har Det Åndbare Hus været udsat for det man vil kalde en ekstrem situation, idet der ikke har været nogen form for ventilation. Huset har været lukket helt af, så den eneste måde hvorpå den tilførende fugt på 7-10 liter i døgnet, svarende til en typisk familie på 3 - 5 personer, kunne komme ud, har været gennem klimaskærmen. Resultaterne fra undersøgelserne viser, at en ydervægs- og tagkonstruktion med en diffusionsåbenhed ude og inde på 1:1 ikke medfører problemer med fugt, skimmel og råd, at huset generelt kan håndtere fugt svarende til mindst én person pr. 30 m² og at behovet for fugtregulering udelukkende kan løses via diffusion gennem konstruktionerne.⁴⁴

De foreløbige resultater viser dermed, at der er en risiko ved at bygge med diffusionsåbne byggematerialer, men hvis man sammensætter materialerne på den rigtige måde, vil konstruktionen, trods afvigelse fra de nuværende anbefalinger, kunne håndtere fugten i bygningen uden at der opstår problemer med fugt, råd eller skimmel.

5.5.2 Mindre sårbart og risikofyldt byggeri

Ifølge arkitekt Søren Olsen er der generelt ikke nogen byggetekniske udfordringer eller risici forbundet med det åndbare byggeri. Han oplever derimod, at den største udfordring er at leve op til de gældende dokumentations- og myndighedskrav. Det danske Bygningsreglement er egnet til en traditionel byggeskik, hvor der anvendes konventionelle og traditionelle byggematerialer, men ikke til det åndbare byggeri, hvor man ligeledes bygger efter en traditionel byggeskik, men med utraditionelle byggematerialer. Særligt kravet til tæthed mener Søren Olsen i praksis kan være en udfordring at leve op til. Nogle dampbremsende lag, som f.eks. en OSB-plade, kan være mindre tæt i praksis end ved beregningerne, hvilket giver nogle udfordringer ved udførelsen af en blowerdoor-test. Yderligere oplevede han ved udførelsen af Permatopia, at entreprenøren der leverede tagkassetterne ikke have udført deres tætningsarbejde tilstrækkeligt, hvilket gav nogle udfordringer senere hen.⁴⁵

Ifølge projekt konsulent Martin H. Green hos CBI Danmark A/S mener han ligeledes, at der ikke er nogen store



Figur 11: 1:50 snit af Det Åndbare Hus -Udleveret af House Arkitekter – SE BILAG 1

⁴⁴ Miljøstyrelsen, 2019, "Det Åndbare Hus Afsluttende rapport", s. 6 - 7

⁴⁵ Søren Olsen, Interview 26.09.19

udfordringer og risici forbundet med det åndbare byggeri. Det åndbare byggeri bygges, ved lette konstruktioner, i praksis på den samme måde som det konventionelle. Den eneste forskel er, at der anvendes andre og mere utraditionelle byggematerialer. Han mener modsat andre aktører i byggebranchen, at det åndbare byggeri tværtimod er mindre risikofyldt end det konventionelle, da der i byggeriet er anvendt hygroskopiske materialer som *kan* håndtere fugten og dermed ikke har samme sårbarhed. Skulle der opstå huller i det dampbremsende lag, kan materialerne håndtere fugten, hvilket Martin H. Green mener er grundlaget for, at man i praksis ser meget få fugtskader i det åndbare byggeri.⁴⁶

Den eneste konkrete udfordring, han mener der kan forekomme, er hvis man i byggefasen ikke har en ordentlig fugtstrategi for håndteringen af byggematerialerne, hvilket ikke er anderledes end det traditionelle byggeri. Trods der under byggefasen af Permatopia var udfordringer med opfugtede elementet, så tørrede byggeriet, rigtig fint ud selv, hvilket endnu engang er et eksempel på, at det åndbare byggeri er mindre risikofyldt. Generelt fortæller Martin H. Green, at man skal tænke sig om og være påpasselig, men det skal man også i det traditionelle byggeri.⁴⁷

6 Fra *alternativ* til kommerciel

I de gældende anvisninger og erfaringsblade beskrives andre isoleringsmaterialer end mineraluld som værende *alternativ*, hvortil andre diffusionsåbne byggematerialer hurtigt kommer ind under samme kategori. I en moderne tid, hvor der findes utallige byggematerialer, kan man sætte spørgsmålstegn ved, om betegnelsen *alternativ* er den optimale betegnelse til de hygroskopiske og diffusionsåbne byggematerialer. Ordet *alternativ* er ofte ikke et ord som klinger godt i byggebranchens ører, hvilket i sig selv kan bidrage til en stor skepsis. Man kan ligeledes antyde, at betegnelsen *alternativ* i sig selv kan være et symbol på en manglende anerkendelse af de hygroskopiske og diffusionsåbne byggematerialer, og at en ny og mere tidssvarende betegnelse vil kunne bidrage til en større anerkendelse og fremgang af det åndbare byggeri. I følgende afsnit vil der diskuteres og belyses emner, ændringsforslag mm. til, hvordan det åndbare byggeri kan implementeres mere i det danske byggeri, og hvordan byggemetoden kan bevæge sig fra at være *alternativ* til kommerciel.

6.1 Miljømæssig diskrepans

Som beskrevet i foregående afsnit er der flere fordele ved at bygge med diffusionsåbne byggematerialer. Konstruktionernes materialesammensætning og egenskaber kan fugt- og temperaturregulere sig efter forholdene og dermed bidrage til et mere stabilt, behageligt og sundt indeklima. Byggemetoden kan ved korrekt materialesammensætning være mindre risikofyldt end det konventionelle byggeri, da konstruktionerne ikke har samme sårbare ift. fugt og eventuelle utætheder ved konvektion.

Ser man på det åndbare byggeri ud fra et bæredygtigt perspektiv, kan der ved denne byggemetode være væsentligt store miljømæssige fordele. Størstedelen af materialerne er organiske naturmaterialer, som er bionedbrydelige, kan genanvendes eller komposteres og anvender markant mindre CO₂ under fremstillingen end konventionelle byggematerialer. Nogle af materialerne har endda et CO₂-negativt aftryk og kan i praksis fungere som CO₂ lagring frem for CO₂ belastning.⁴⁸

⁴⁶ Martin H. Green, Interview d. 26.09.19

⁴⁷ Ibid.

⁴⁸ Energistyren, 2016, "Bæredygtige materialer", s. 25 - 59

Ser man på den udarbejdede livscyklusvurdering (LCA) af det Det Åndbare Hus, viser resultaterne at byggeriet har en klimapåvirkning på 3,23 kg CO₂ eq./m²/år, op imod et konventionelt byggeri, som har en klimapåvirkning på 7,32 CO₂ eq./m²/år. Det Åndbare Hus har dermed en klimapåvirkning som er under halvdelen end et konventionelt byggeri og er dermed en langt mere miljøvenlig løsning.⁴⁹

I 2018 konkluderede en FN-analyse, at byggeri og drift af bygninger stod for 39 % af den globale CO₂-udledning⁵⁰, hvoraf alene produktionen af byggematerialerne anslås til at stå for mellem 10-15% af den årlige CO₂-udledning.⁵¹ Hvis Danmark vil nå sit erklærede mål om at vi i år 2050 skal være et klimaneutralt samfund, hvor der ikke udledes mere CO₂ end der bliver optaget⁵², kan man derfor antage, at det er afgørende at regeringen for styr på byggesektorens miljøbelastning. Ud fra overstående kan man derfor undre sig over, at regeringen ikke igangsætter en mere gangbar forskning, som anerkender og støtter de såkaldte *alternative* og åndbare byggematerialer, som i sidste instans er mere bæredygtige og har en mindre miljøbelastning.

6.2 Manglede viden og villighed

Hos Teknologisk Institut (TI), SBI mfl. er der i tidens løb udført utallige forsøg og tests med mineralulds produkter, men endnu udført meget få anerkendte tests og undersøgelser af hygroskopiske byggematerialer. Martin H. Green og Søren Olsen har flere gange været i dialog med bl.a. SBI og BYG-ERFA og fortæller begge, at de oplever en generel uvillighed, manglede interesse og til tider en decideret modstand mod de hygroskopiske byggematerialer.⁵³

Under udarbejdelsen af følgende speciale har jeg ligeledes snakket med hhv. rådgivere, arkitekter, entreprenører, materialeproducenter, fagfolk fra TI, BYG-ERFA, SBI mfl., hvor flere aktører fortæller, at debatten om det diffusionsåbne og åndbare byggeri hurtigt kan bevæge sig over i en følelsesbetonet og subjektiv debat. Det kan dermed tyde på, at der i byggebranchen generelt er en manglede viden og saglig tilgang til emnet.

Ifølge Martin H. Green er byggebranchen på nuværende tidspunkt stadig i en indførelsesfase, hvor byggemetoden med hygroskopiske byggematerialer stadig er uvant. Mange er kritiske og bange for det uvante, hvor han mener, at denne skepsis og kritik skyldes en vis form for konservatisme, mangel på viden og byggeteknisk erfaring. Han og Søren Olsen oplever, at flere fagfolk i byggebranchen ikke har en grundlæggende viden om fugt og fugthåndtering, hvilket skaber misforståelser, skepsis og uvidenhed, og at denne uvidenhed er den værste kilde til dårlig omtale. Hvis vi i Danmark informerer byggebranchen ordentligt, mener Martin H. Green at vi kan afmystificere risikoen ved at bygge med diffusionsåbne byggematerialer og dermed fremme det åndbare byggeri.⁵⁴

Martin H. Green fortæller endvidere, at der i praksis er rigtig meget erfaring og god viden at hente i udlandet, som vi i Danmark vil kunne drage god nytte af. Han fortæller dog, at han flere gange er stødt på argumentet om, at vi i Danmark ikke kan sammenligne vores klima med hhv. Tyskland, Østrig, Sverige og Norge. Martin H.

⁴⁹ Miljøstyrelsen, 2019, "Det Åndbare Hus Afsluttende rapport", s. 7

⁵⁰ <https://politiken.dk/klima/art7146331/Dansk-byggeri-vil-rykke-fra-politikerne-p%C3%A5-klimaet>

⁵¹ <https://www.dr.dk/nyheder/viden/klima/byggebranchen-er-en-stor-klimasynder-men-der-er-en-udvej>

⁵² <https://kefm.dk/klima-og-vejr/klimaindsatsen-i-danmark/>

⁵³ Martin H. Green, Interview d. 26.09.19 & Søren Olsen, Interview 26.09.19

⁵⁴ Ibid.

Green anerkender, at vi i Danmark ikke har det eksakte samme klima som i landene omkring os, men han afviser, at denne forskel har en negativ betydning for det åndbare byggeri i Danmark og pointerer endnu engang, at det handler om at informere hhv. regeringen, SBI, BYG-ERFA mfl. ordentligt.⁵⁵

6.3 Tidssvarende anvisninger

På nuværende tidspunkt er der kun én anvisning og to erfaringsblade som er relateret til det diffusionsåbne og åndbare byggeri. SBI's Byg og Byg anvisning 207 "Anvendelse af alternative isoleringsmaterialer" og BYG-ERFAs erfaringsblad (29) 05 09 29, 2015, "Alternative isoleringsmaterialer" og erfaringsblad (39) 151228, "Dampspærre materialer og fugttransport. Martin H. Green fortæller dog, at ingen af de gældende anvisninger anviser, at det diffusionsåbne byggeri er byggbart, og han mener derfor, at det er essentielt, at SBI og BYG-ERFA udarbejder nogle gode anvisninger og erfaringsblade, så folk i byggebranchen tør at anvende diffusionsåbne byggematerialer. Der er kommet rigtig meget erfaring og viden siden SBI's By og BYG anvisning 207 udkom i 2003, og han mener dermed, at det er på tide, at de hos SBI og BYG-ERFA tager et ansvar og udarbejder et tidssvarende materiale.⁵⁶

Søren Olsen er enig i ovenstående og mener, at de hos SBI og BYG-ERFA, først og fremmest skal anerkende det åndbare byggeri, og derudfra udarbejde anvisninger, hvor der er godkendte og testede konstruktioner, som lever op til de gældende krav. Dette vil medføre en markant fremgang i det diffusionsåbne byggeri og medfører ligeledes, at de som rådgivere ikke selv skal sikre omfattende dokumentationer, som fugttekniske beregninger og branddokumentation.⁵⁷

De seneste år er der kommet markant flere private initiativer og undersøgelser af det åndbare og diffusionsåbne byggeri som viser positive resultater. BYG-ERFAs erfaringsblade er baseret på erfaringer og praktiske undersøgelser og man kan dermed antage, at det kun er et spørgsmål om tid før de er nødsaget til at kigge sagligt og fagligt på byggemetoden, og udarbejde erfaringsblade, som repræsenterer det åndbare byggeri. SBI derimod er baseret på forskning, og man kan derfor antage at deres villighed til at udføre kvalitative undersøgelser og testes af hygroskopiske byggematerialer og systemløsninger, først kræver en generel anerkendelse af den åndbare byggemetode, før de vil udarbejde nye standarder og anvisninger.

6.4 Tværfaglig konflikt

Den manglende anerkendelse af det åndbare byggeri resulterer ligeledes i en tværfaglig konflikt og misforståelse, hvor Byggeskadefonden og andre forsikringer er skeptiske, da de er nødsaget til at følge den *alment tekniske fælles eje*. Det alment teknisk fælles eje har til formål at forbedre byggeriet og det byggede miljø og er et sæt hjælpemidler inden for god kvalitetssikringsskik, som omfatter summen af praktiske erfaringer, faglitteratur, undersøgelsesteknikker og rutiner på de enkelte tekniske områder. Dette er bl.a. repræsenteret af BYG-ERFAs erfaringsblade, SBI's anvisninger og Træinformations publikationer.⁵⁸

Man kan bruge andre løsninger end dem som det almene tekniske fælles eje beskriver, men her skal man selv kunne dokumentere et velbegrundet valg. Som en af de eneste i Danmark tilbyder CBI Danmark A/S f.eks.

⁵⁵ Martin H. Green, Interview d. 26.09.19

⁵⁶ Ibid.

⁵⁷ Søren Olsen, Interview d. 26.09.19

⁵⁸ <https://byg-erfa.dk/ordbog/alment-teknisk-faelleseje>

systemgaranti på deres løsninger, hvor de står for kvaliteten og ansvarligheden af systemløsningen. CBI Danmark A/S kan grundet deres samarbejde med Isocell i Østrig, koble sig på Isocells 35 års erfaringer, know-how, dokumentation og tekniske support og dermed give deres systemgaranti. Martin H. Green fortæller, at deres systemgaranti skaber en tryghed blandt rådgivere, bygherrer og entreprenører, men han fortæller endvidere, at det optimale helt klart vil være, at SBi, BYG-ERFA mfl. anerkender det åndbare byggeri og udarbejder nogle gangbare og tidssvarende anvisninger.⁵⁹

Arkitekt Søren Olsen fortæller ligeledes, at selvom han som rådgiver har en interesse i at fremme det åndbare byggeri, er han også nødsaget til at overholde de gældende krav i Bygningsreglementet og i grove træk følge de nuværende anvisninger og erfaringsblade. Hvis man vil bygge byggerier, som ikke følger de gældende anvisninger, kræver forsikringerne, at man som rådgiver gør bygherren opmærksom på, at de bryder den almindelig gængse bygteknik, hvortil de selv skal eftervise de ændrede forhold i form af beregninger, dokumentation mm. Hvis bygherren her indvilliger i en skriftlig godkendelse, kan byggeriet forsikres.⁶⁰

De gældende anvisninger og erfaringsblade er ikke lovpligtige, men ifølge Martin H. Green ses der i tidligere voldgiftssager, at anvisningerne bliver håndhævet som lovgivning, hvilket i praksis betyder at anvisninger bliver lavet om til lovgivning. Dette kan være problematisk, da dette kan bidrage til en unødigt skepsis, hvor Byggeskadefonden, forsikringer og ikke mindst bygherren ikke tør at bygge åndbart.

6.5 Lovmæssige forbedringer

Bygningsreglementets krav er med tiden ændret til mere funktionsbaserede krav, hvilket giver aktørerne i byggebranchen en større mulighed for selv at dokumentere, at kravene bliver opfyldt. Dette er en positiv udvikling, men flere mener, at der stadig er gældende krav som er for specifikke og til hindring for det åndbare byggeri. I følgende afsnit vil der beskrives konkrete forslag til, hvordan man i Danmark kan fremme det åndbare byggeri.

6.5.1 Ventilation

På nuværende tidspunkt stiller det danske Bygningsreglementet i beboelse krav til et luftskifte på min. 0,3 l/s pr. m². Dette kan i praksis være svært at indfri med naturlig ventilation, hvilket reelt betyder at kravet om luftskifte fungerer som et krav om anvendelse af mekanisk ventilation.

Ser man på de nuværende resultater på Det Åndbare Hus bekræftes det, at på trods af at der i testperioden ikke har været nogen form for ventilation, kunne den tilføjede fugt, svarende til en familie på 3 – 5 personer, diffundere ud gennem klimaskærmen. Dermed viser resultaterne, at de diffusionsåbne konstruktioner alene kan håndtere fugten, og at der derfor ikke er behov for anvendelse af mekanisk ventilation.⁶¹

I rapporten formidles ligeledes et ønske og en klar anbefaling om at ændre det specifikke krav om luftskifte til i stedet at indføre et funktionskrav, hvor der skabes tilstrækkelig ventilation i beboelsen, som ikke giver problemer med indeklimaet. Kravet kan præciseres så der kommer den rette balance mellem luftfugtighed, CO₂- og iltindhold og luftens indhold af generede og skadelige stoffer. Her foreslås, at man laver en præcisering om

⁵⁹ Martin H. Green, Interview d. 26.09.19

⁶⁰ Søren Olsen, Interview d. 26.09.19

⁶¹ Miljøstyrelsen, 2019, "Det Åndbare Hus Afsluttende rapport", s. 46 - 47

et maksimalt niveau af CO₂-indhold i luften, en anbefaling om generel udluftning, og fremfor et krav om ventilation, i stedet dokumentere et passende niveau af den relative luftfugtighed. Her anbefales der, at den relative fugtighed skal ligge imellem 40 – 65 %. 40 – 45 % om vinteren og under 60 – 65 % (måske endda 70%) om sommeren.⁶²

Behovet bag det nuværende krav om luftskifte indikerer tydeligt et ønske om en tilstrækkelig fugthåndtering og et balanceret forhold mellem CO₂, ilt og uønskede stoffer. Det vil derfor give rigtig god mening at ændre det nuværende specifikke krav om luftskifte til et funktionskrav og dermed give en langt større frihed i byggeriet og dertil muliggøre, at man nemmere kan anvende byggematerialer som har gode egenskaber til at håndtere fugt.

6.5.2 Tæthedskrav

Som tidligere nævnt fortæller Søren Olsen, at der kan forekomme udfordrende med det gældende tæthedskrav. Martin H. Green mener ikke, at dette krav er til stor hindring for det åndbare byggeri, men han anerkender, at det vil være en god ide at revurdere kravet, når man bygger diffusionsåbne byggerier.⁶³ Landsforeningen Økologisk Byggeri (LØB) mener ligeledes, at stor tæthed er mindre afgørende i bygninger med naturlig ventilation og efterspørger, at tæthedskravet skal forholde sig til den valgte ventilationsløsning og bygningens størrelse, så store bygninger ikke bliver favoriseret.⁶⁴

Tæthedskravet minimerer et varmetab, hvilket er positivt for energirammen, men ift. hindring af fugt i konstruktionen, er dette ikke nogen udfordring i det åndbare byggeri. Dette kan være et grundlag for at undersøge om det gældende tæthedskrav er passende når man bygger diffusionsåbne byggerier.

6.5.3 Diffusionsmodstandsforhold i konstruktionen

Som tidligere nævnt anviser SBI og BYG-ERFA, at diffusionsmodstanden på den indvendige side af konstruktionen skal være hhv. 5 - 10 gange så diffusionstæt som den udvendige side.

I Det Åndbare Hus har de en interesse i at have så åbne konstruktioner som muligt for dermed at ventilere gennem konstruktionen og komme af med så meget fugt som muligt via diffusion. De undersøgte diffusionsforhold fra de anviste 1:10, til det modsatte forhold 10:1, hvor resultaterne viser, at en ydervægs- og tagkonstruktion med en diffusionsåbenhed ude og inde på 1:1, ikke medfører problemer med fugt, skimmel og råd.⁶⁵ I rapporten beskrives yderligere, at der er behov for nærmere undersøgelse og tests af forskellige materialer og konstruktionsløsninger, for dermed at skabe større bilæg for en revurdering af de gældende anvisninger og erfaringsblade.

Dermed er der allerede valide resultater, som understøtter tesen om, at de gældende anvisninger og erfaringsblade om diffusionsmodstand ikke længere er relevant for det åndbare byggeri, og man helt konkret kan bygge en konstruktion med et diffusionsmodstandsforhold på 1:1 uden fugtproblemer.

⁶² Miljøstyrelsen, 2019, "Det Åndbare Hus Afsluttende rapport", s. 46 - 47

⁶³ Martin H. Green, Interview d. 26.09.19

⁶⁴ Landsforeningen Økologisk Byggeri, 2016, "LØB Focus A", s. 4

⁶⁵ Miljøstyrelsen, 2019, "Det Åndbare Hus Afsluttende rapport", s. 6 - 7

6.5.4 Maksimums krav til CO₂-afledning

Som tidligere nævnt er Danmarks nuværende mål, at vi i år 2050 skal være et klimaneutralt samfund, hvor der ikke udledes mere CO₂ end der bliver optaget. Hvis Danmark vil nå sit erklærede mål, kan man derfor antage, at det er afgørende, at regeringen kigger ambitiøst på byggesektorens miljøbelastning.

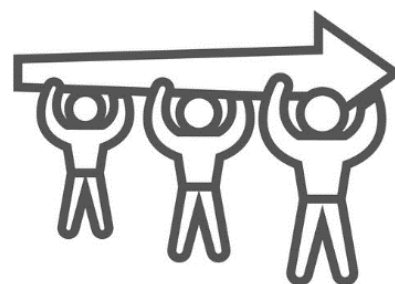
I den forbindelse mener LØB, at der er meget inspiration at hente i udlandet. Et eksempel herfra er England, hvor kravet om energiforbrug er formuleret som CO₂-udledning frem for lavt energiforbrug. Bæredygtigt byggeri handler ikke blot om lavere energiforbrug, men også om CO₂-udledningen i forbindelse med opvarmning og drift af boligen, samt produktionen, transporten og mængden af byggematerialerne. LØB anbefaler sammen med flere aktører i byggebranchen, at energiforbruget i Danmark, ligesom i andre lande, i stedet skal måles ift. CO₂-udledning.⁶⁶ Mere konkret mener Martin H. Green, at man i det danske Bygningsreglement skal opstille maksimumskrav til CO₂-afledning pr. m², hvilket for alvor vil sætte gang i den grønne omstilling.⁶⁷

Hvis det gældende bygningsregulativ indførte krav til CO₂-aftrykket på byggeriet, baseret på livscyklusvurderinger eller tilsvarende dokumentationer, kan man dermed antage, at dette vil tvinge byggebranchen til at vælge nogle mere CO₂-neutrale byggematerialer, hvilket vil være en præmis, som det åndbare byggeris materialerne ville kunne bidrage positivt til.

6.6 Fælles front

Der er efterhånden mange aktør i branchen, som arbejder på at fremme det åndbare byggeri. Hos mit tidligere arbejde hos Nova Form Arkitekterne udarbejdede jeg et bæredygtighedskatalog med åndbare byggematerialer. I den forbindelse snakkede jeg med store dele af de aktuelle materialeproducenter både i telefon, til møder, messer mm., hvor mit umiddelbare indtryk var, at samtlige af aktørerne var meget ambitiøse og engageret i at udbrede deres produkter på markedet og fremme det åndbare byggeri. Alle var enige i de store fordele, der er forbundet med det åndbare byggeri, men trods deres overbevisning og store engagement, havde jeg en oplevelse af, at der var en manglende interesse for hinanden og til tider ligefrem en intern splid om hvilke produkter der var bedst.

Dette kan Martin H. Green fra CBI Danmark A/S ligeledes nikke genkende til. Generelt har han en oplevelse af, at der er en intern kultur, hvor særligt materialeproducenterne i branchen modarbejder og konkurrerer mod hinanden. Frem for at aktørerne i det åndbare byggeri konkurrerer og bekæmper hinanden, mener han at de som branche i stedet skal gå sammen om en fælles front. Han selv og andre i branchen er i dialog med TI, SBi, BYG-ERFA, mm., laver undersøgelser og tests på materialer og byggerier, men alle uafhængigt af hinanden.⁶⁸



Figur 13: <https://www.vectorstock.com/>

Der har de seneste år været flere initiativer om at samle branchen i form af arbejdsgrupper, netværksmøder, mm. Senest har LinkedIn gruppen "Foreningen for Det Gode Byggeri"⁶⁹, hvis formål er at udvikle, vidensdele

⁶⁶ Landsforeningen Økologisk Byggeri, 2016, "LØB Focus A", s. 4

⁶⁷ Martin H. Green, Interview d. 26.09.19

⁶⁸ Martin H. Green, Interview d. 26.09.19

⁶⁹ <https://www.linkedin.com/groups/13728645/>

og fremme hygroskopiske byggematerialer, afholdt ét møde. Martin H. Green fortæller dog, at dette og de lignende møderne ofte stikker i mange retninger, og at interessen efter noget tid ofte dør ud. Han savner en større skarphed og styring om en fælles front, og han mener, at det vil være en kæmpe fordel, hvis der var en ordentlig og professionel brancheforening som samlede interesserne.⁷⁰

I forbindelse med dette specialet har jeg ligeledes opdaget, at mange af aktørerne i det åndbare byggeri ikke kender til hinandens undersøgelser og initiativer, hvilket giver mig et indtryk af, at de hver især kæmper deres egen kamp om et fælles mål. Frem for at der på nuværende tidspunkt bliver udført flere individuelle initiativer, ligger der et stort potentiale i at samle branchen om en fælles front. Sammen kunne de samle deres viden og erfaringer, og gennem et fælles substantielt og kvalitativt materiale lægge et pres på den danske regering, SBI, BYG-ERFA, TI, mfl., til at udarbejde tidssvarende anvisninger og erfaringsblade som understøtter det diffusionsåbne og åndbare byggeri.

7 Konklusion

I Danmark er vi gået fra at bygge primitive og simple byggerier med meget lidt eller ingen isolering til i dag at bygge mere komplekse, energieffektive, tætte og diffusionslukkede byggerier. Kravene til energiramme, isoleringstykkelse, luftskifte og tæthed har minimeret bygningernes energiforbrug og varmetab i driften, men kombinationen af disse krav og valget af de traditionelle byggematerialer har skabt nogle udfordringer med indeklimaet i bygningerne, gjort byggeriet sårbart ift. til fugt og endvidere skabt et øget behov for mekanisk ventilation. Størstedelen af de eksisterende byggerier i Danmark, er i dag konventionelle byggerier bestående af konventionelle og ressourcekrævende byggematerialer, hvor der er anvendt mineraluld og dampspærre, men særligt de seneste år har det været en større nysgerrighed, interesse og en mindre fremgang i det åndbare byggeri.

Det åndbare byggeri er et diffusionsåbent byggeri, hvor fugten frit kan bevæge sig igennem vægge- og tagkonstruktioner. Byggeriet er lufttæt, hvilket minimerer varmetabet gennem konvektion og består primært af hygroskopiske og diffusionsåbne byggematerialer, som kan optage, transportere og afgive fugt. Konstruktionernes materialesammensætning og dets egenskaber fungerer som en fugt buffer, som ved spidsbelastede og høje luftfugtigheder kan optage fugten og igen afgive fugten, når luftfugtigheden er faldene. Dette bidrager til et stabilt, behageligt og sundt indeklima. Luftskiftet og fugtreguleringen kan ske via naturlig ventilation, men i praksis ses det, grundet det nuværende krav om luftskifte, at der anvendes et traditionelt mekanisk ventilationssystem. Der kommer dog flere innovative alternativer til mekanisk ventilation i form af intelligente ventilationsvinduer, solskorstene mm., som formentligt vil blive langt mere udbredt i fremtiden.

Der er en risiko ved anvendelsen af de hygroskopiske og diffusionsåbne byggematerialer, men hvis man sammensætter materialerne på den rigtige måde, kan byggemetoden tvært imod være mindre risikofyldt end det konventionelle byggeri, da byggeriet ikke har samme sårbare ift. fugt og eventuelle utætheder.

Der er efterhånden flere forskningsresultater, senest resultater fra Det Åndbare Hus, som beviser, at det diffusionsåbne og åndbare byggeri er bygbart. Alle understøtter tesen om, at de gældende anvisninger og erfaringsblade, ikke længere er relevante for det diffusionsåbne byggeri, og man kan ud fra nærværende speciale konkludere, at der er flere initiativer som kan bidrage til en større udbredelse af byggemetoden i dansk

⁷⁰ Martin H. Green, Interview d. 26.09.19

byggeri.

Først og fremmest mener flere aktører i byggebranchen, at regeringen, SBI, BYG-ERFA, TI, mfl., skal anerkende den diffusionsåbne og åndbare byggemetode. Trods de store miljømæssige fordele der kan forekomme ved anvendelse af diffusionsåbne byggematerialer og den danske regeringens mål om, at vi i år 2050 skal være et klimaneutral samfund, er der en generel undren oven den manglende interesse og villighed til, at igangsætte gangbar forskning, som anerkender og understøtter de såkaldte *alternative* og åndbare byggematerialer. Der er i Danmark, og særligt i vores nabolande, kommet rigtig meget erfaring og viden siden udgivelsen af SBI's By og BYG anvisning 207 i år 2003, hvor flere aktører i byggebranchen nu mener, at det er på tide, at SBI, BYG-ERFA, DTU mfl. tager et ansvar og udarbejder tidssvarende anvisninger og erfaringsblade på godkendte og gennemtestede konstruktioner.

Derudover kan man helt konkret ændre kravet om luftskifte til et funktionskrav, hvor der sikres en hensigtsmæssig balance mellem luftfugtighed, CO₂- og iltindhold og luftens indhold af generende og skadelige stoffer. Man kan opstille et maksimumskrav til CO₂-afledning pr. m², ændre anvisningerne om diffusionsmodstandsforholdene i konstruktionerne og undersøge, om det gældende krav til tæthed er nødvendigt når man bygger diffusionsåbne byggerier.

En større anerkendelse af byggemetoden vil formentlig tage lang tid, da byggemetoden og de dertilhørende byggematerialer stadig anses som værende *alternative*. Betegnelsen symboliserer en generel mangel på anerkendelse, hvilket i sig selv bidrager til en unødigt skepsis. Mange i byggebranchen er kritiske og bange for det *alternative*, hvilket formentlig skyldes en vis konservatisme, manglede viden og manglende byggetekniske erfaringer. Flere fagfolk i byggebranchen har endnu ikke en grundlæggende viden og erfaring om fugt og fugthåndtering, hvilket skaber misforståelser, skepsis og dårlig omtale. Dertil ses der en generel tendens til, at debatten om byggemetoden bevæger sig over i en følelsesbetonet og subjektiv debat frem for en saglig og faglig debat.

Derfor er der et stort behov for at informere byggebranchen ordentligt, så risikoen ved anvendelsen af hygroskopiske og diffusionsåbne byggematerialer kan afmystificeres, og derigennem oparbejde en saglig og faglig tilgang til byggemetoden. Det klart optimale ville være at regeringen og forskningsinstitutterne anerkender byggemetoden, og udarbejder tidssvarende anvisninger og erfaringsblade, men sker dette ikke, ligger der et stort potentiale i at samle branchen i det diffusionsåbne byggeri om en fællesfront.

Frem for at aktørerne i det åndbare byggeri på nuværende tidspunkt, kæmper hver deres ambitiøse og engagerede kamp om et fælles mål, kunne man vende deres manglende interesse og konkurrence mod hinanden, til i stedet at skabe en professionel brancheforening eller lign., hvor de kunne samle deres viden og erfaringer, og herigennem lægge et pres på den danske regering, SBI, BYG-ERFA, TI, mfl., til at udarbejde tidssvarende anvisninger og erfaringsblade, som understøtter de diffusionsåbne og åndbare byggerier.

Om det diffusionsåbne og åndbare byggeri implementeres mere i det danske byggeri gennem private eller offentligt initiativer er endnu usikkert, men én ting der er sikkert, når byggemetoden går fra at være *alternativ* til kommerciel, ville vi ikke kun få nogle sunde og miljøvenlige byggerier, som er mindre sårbare ift. fugt og eventuelle utætheder, men også en byggemetode, som vil bidrage til et mere klimaneutral og miljøvenligt Danmark.

8 Litteratur- og kildeangivelser

Bøger

Boligministeriet, 1961, *"Bygningsreglement for Købstæderne og Landet"*

Boligministeriet, 1966, *"Bygningsreglement for Købstæderne og Landet"*

Boligministeriet, 1972, *"Bygningsreglement 1972"*

Boligministeriet, 1977, *"Bygningsreglement 1977"*

Jesper Engelmark, 2013, *"Dansk byggeskik – etagebyggeriet gennem 150 år"*, Grundejernes Investeringsfond & Realdania

Statens Byggeforskningsinstitut, 1. udg., 2003, *"By og Byg Anvisning 207 - Anvendelse af alternative isoleringsmaterialer"*

Statens Byggeforskningsinstitut, 1. udg., 2009, *"SBI-anvisning 224 – Fugt i bygninger"*

Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 1998, *"Bygningsreglement 1998"*

Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2010, *"Bygningsreglement 2010"*

Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2016, *"Bygningsreglement 2015"*

Videnskabelige artikler, tidsskrifter mm.

Bastien, D & Winther-Gaasvig, M., 2018, *"Hygrothermal Performance of a Hygroscopic and Permeable Wall Assembly: Impact of a Vented Wall Cavity"* – Institut for Teknologi og Innovation, SDU Civil and Architectural Engineering

Bastien, D & Winther-Gaasvig, M., 2017, *"Permeable and Hygroscopic Building Envelopes: Hygrothermal Simulations of "Det Naturlige Hus"* - Institut for Teknologi og Innovation, SDU Civil and Architectural Engineering

BYG-ERFA erfaringsblad (39) 151228, 2015, *"Dampspærrematerialer og fugttransport – væg-og loftskonstruktioner"*, BYG-ERFA

BYG-ERFA erfaringsblad (29) 05 09 29, 2015, *"Alternative isoleringsmaterialer"*, BYG-ERFA

Energistyren, 2016, *"Bæredygtige materialer"*

Heiselberg, Per et al, 2013, *"Climawin technical summery report"* - Department of Civil Engineering, Aalborg University

Landsforeningen Økologisk Byggeri, 2016, *"LØB Focus A"*

Miljøstyrelsen, 2019, *"Det Åndbare Hus Afsluttende rapport"*

Peter Riddersholm Wang, *"Teknisk Rapport 12-23"*, DMI, Klima- og Energiministeriet

Realdania, 2016, *"Indeklima og sundhed i boliger"*, Center for Indeklima og Sundhed i Boliger

Internetkilder

Følgende internetkilder er alle verificeret den. 08.10.2019

<http://alternativisolering.dk/>

<https://www.apmollerfonde.dk/projekter/det-aandbare-hus/>

<https://www.byggeriogenergi.dk/vaerktoejer/dampspærreguide/saadan-opnaas-korrekt-materialevalg/z-vaerdier-for-materialer/>

<http://bygningsreglementet.dk/>

<http://www.cbidanmark.dk/>

<http://www.cchrc.org/superinsulated-foundation-and-vapor-diffusion-open-walls-study>

<https://www.claytec.de/>

<http://www.dagensbyggeri.dk/artikel/86294-det-aandbare-hus-sigter-mod-et-nyt-bygningsreglement>

<https://dinhverdag.astma-allergi.dk/indeklima/tjekdinluftfugtighed>

<https://www.dr.dk/nyheder/viden/klima/byggebranchen-er-en-stor-klimasynder-men-der-er-en-udvej>

<https://ecoinnovation.dk/projekter/afsluttede-projekter/afsluttede-projekter-baeredygtigt-byggeri/>

<https://www.hornvinduer.dk/>

<https://hunton.dk/>

<https://kefm.dk/klima-og-vejr/klimaindsatsen-i-danmark/>

<https://www.linkedin.com/groups/13728645/>

https://www.indeklimaportalen.dk/indeklima/luftkvalitet/toer_luft

<https://www.isover.dk/fugt>

<https://www.obh-gruppen.dk/da/erhverv/blower-door-test>

<https://politiken.dk/klima/art7146331/Dansk-byggeri-vil-rykke-fra-politikerne-p%C3%A5-klimaet>

<http://shisolering.dk/>

<http://syddjurs.lokalavisen.dk/nyheder/2019-08-04/-Henning-Larsen-Architects-tegner-tilbygning-til-Feld-balle-Friskole-5360770.html>

<https://www.zostera.dk/>

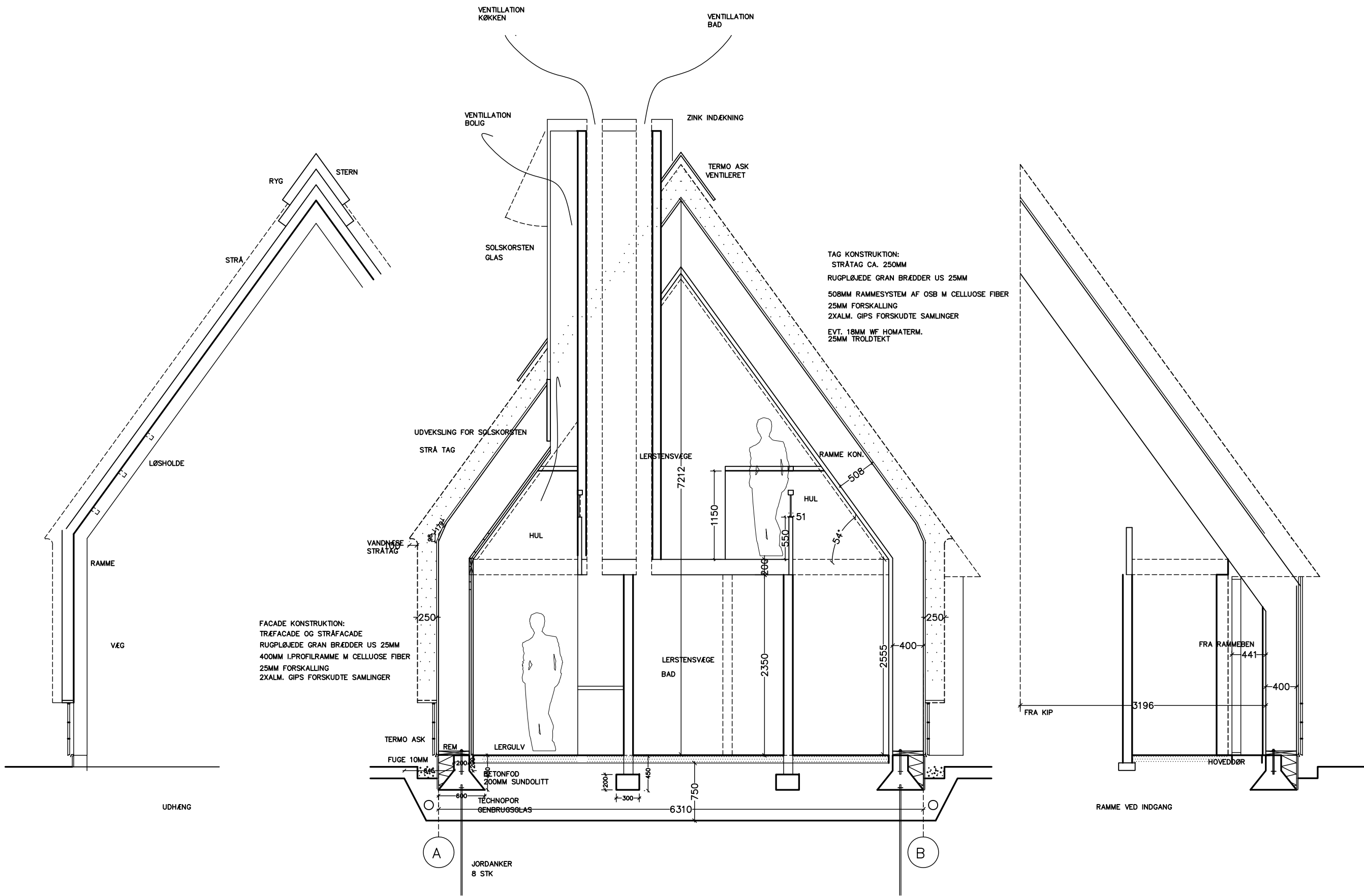
<http://xn--bredygtigtbyggeri-rrb.dk/>

Interviews

Følgende lydfiler kan rekvireres:

- Telefonisk interview med projekt konsulent Martin H. Green fra CBI Danmark A/S d. 26.09.19
- Personligt interview med arkitekt Søren Olsen fra House Arkitekter d. 26.09.19

Bilag A: Konstruktions snit "Det Åndbare Hus"



FACADE KONSTRUKTION:
 TRÆFACADE OG STRÆFACADE
 RUGPLØJEDE GRAN BRÆDDER US 25MM
 400MM I.PROFILRAMME M CELLULOSE FIBER
 25MM FORSKALLING
 2XALM. GIPS FORSKUDE SAMLINGER

TAG KONSTRUKTION:
 STRÅTAG CA. 250MM
 RUGPLØJEDE GRAN BRÆDDER US 25MM
 508MM RAMMESYSTEM AF OSB M CELLULOSE FIBER
 25MM FORSKALLING
 2XALM. GIPS FORSKUDE SAMLINGER
 EVT. 18MM WF HOMATERM.
 25MM TROLDTEKT

DET ÅNDBARE HUS

Emne : KONSTRUKTIONS SNIT VED BAD Sags nr : Tegn. nr. :
 Dato : 04.03.15 Mål : 1:50
 Arkitekt: HOUSEARKITEKTER Ryesgade 19A .2200 Kbh.N. tlf.: 28356470. .e-mail: soren.b@house-arki.dk