

Slutrapport

”Ventilationsforhold i kolde tagrum som skunkrum og hanebåndslofter i konstruktioner med diffusionsåbne undertage – Etape 2”



Januar 2019

Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby, Danmark

”Ventilationsforhold i kolde tagrum som skunkrum og hanebåndslofter i konstruktioner med diffusionsåbne undertage – Etape 2”

Slutrapport
Januar 2019
By
Nickolaj Feldt Jensen
Ph.d. studerende
Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby, Danmark

Projektorganisation:

Søren Peter Bjarløv ^a (Projekt leder)
Lektor

Nickolaj Feldt Jensen ^a
Ph.d. studerende

Christopher Just Johnston ^{a,b}
Ph.d. studerende

Casper Fabian Hillestrøm Pold ^c
Civilingeniør MSc.

Morten Hjorslev Hansen ^d
Civilingeniør Ph.d.

Ruut Hannale Peuhkuri ^e
Forskningschef

^a Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet, Brovej 118, 2800 Kgs. Lyngby, Danmark

^b NIRAS Gruppen A/S, Building and Design, Sortemosevej 19, 3450 Allerød, Danmark

^c Goritas A/S, Lautrupvang 8, 2750 Ballerup, Danmark

^d Fonden BYG-ERFA, Ny Kongensgade 13, 1472 København K, Danmark

^e Statens Byggeforsknings Institut, Aalborg Universitet, A. C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV, Danmark

Copyright: Reproduction of this publication in whole or in part must include the customary bibliographic citation, including author attribution, report title, etc.

Cover photo: Nickolaj Feldt Jensen

Published by: Department of Civil Engineering, Brovej, Building 118, 2800 Kgs. Lyngby
Denmark

Kontakt nicf@byg.dtu.dk
information:

1. Introduktion

1.1 Indledning

Problemer med skimmelvækst i kolde skunkrum har været stigende de sidste årtier, da bygninger efterisoleres med tykke lag loftisolering for at imødekomme den stigende efterspørgsel for energieffektivitet, hvilket resulterer i høj luftfugtighed i skunkrummet. Kolde skunkrum er traditionelt ventileret ved hjælp af udendørsluft for at kontrollere fugtighedsniveauet. Imidlertid er høje fugtighedsniveauer og skimmelvækst stadig meget almindelige problemer i kolde loftrum trods overholdelse af best-practice retningslinjer.

Projektet har været gennemført i 2 etaper, idet afslutningen af første etape rejste en række spørgsmål, som krævede yderligere undersøgelse.

1.1.1 Resultater fra etape 1

Dette afsnit præsenterer resultaterne fra artikel af S.P.Bjarløv et al [1]

Første etape gav således, ud over en række værdifulde data om kolde skunkrum, en noget overraskende indikation af, at, når der er utætheder indefra i klimaskærmen, klarer det ventilerede skunkrum sig dårligere end det ikke ventilerede. Ved oplukning af skunkrummene efter 14 måneders forsøg konstateredes, at det ventilerede skunkrum havde den største synlige begroning af skimmel. Resultaterne er imidlertid for få til at kunne drage endelige konklusioner på. De gældende anbefalinger i byggebranchen er, at kolde skunkrum skal udføres med ventilation.

1.2 Baggrund for etape 2

På baggrund af resultaterne i etape 1 igangsattes etape 2, hvor fugtforholdene blev undersøgt i et større antal varianter for at få et bedre grundlag til at vurdere hvordan kolde skunkrum skal konstrueres fugtteknisk bedst muligt. Varianterne var følgende:

- Med forskellige størrelse utætheder mellem det opvarmede rum og skunkrummet
- Med forskellig grad af ventilation af skunkrummet
- Med alternativ ventilationsåbning
- Med forskellig undertagstype
- Med behovsstyret ventilation af skunkrummet

Undersøgelsen skulle bidrage til afklaring af en række spørgsmål omkring:

- Den relative betydning af diffusionsmodstanden for undertaget.
- Betydningen af infiltrationsstørrelsen.
- Hvorvidt ventilation rent faktisk forekommer ved brug af passive strategier, samt effekten på de hygrotermiske forhold.
- Effekten af udvendig tagisolering mod langbølget stråling på de hygrotermiske forhold.

Accepterede fugtforhold i skunkrum er defineret ved, at der er ingen eller kun en meget lille risiko for skimmelvækst. Den direkte måling af skimmelsporer samt vurderingen af tilstedeværelsen af vækstbetingelser for skimmelvækst ud fra de dynamiske varme- og fugtforhold er den gældende state-of-art metode.

2. Metode

2.1 Indledning

Metodeafsnittet er opbygget således at der først gives en beskrivelse af containerforsøgets opbygning og forsøgsvariabler. Herudover er der udført forskellige ekstra undersøgelser af luftbevægelser bl.a. med anvendelse af tracer-gas og CFD-simuleringer. Disse ekstra undersøgelser beskrives efterfølgende under de enkelte aktiviteter.

2.2 Forsøgsbeskrivelse

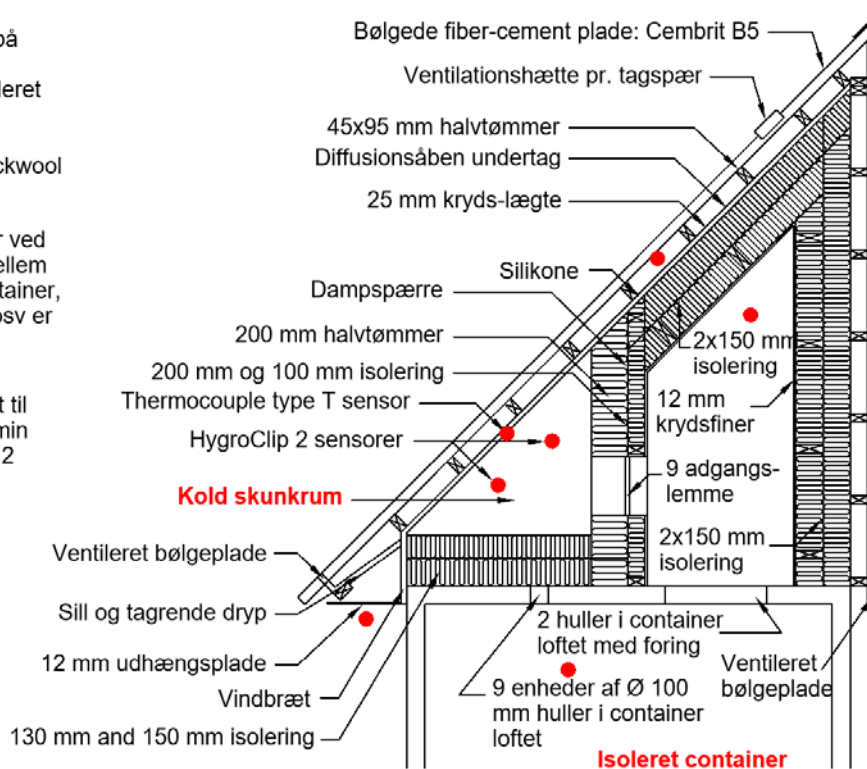
Forsøgsopstillingen består af to 40-fod isolerede containere, konstrueret med et 45 graders ensidigt skråt tag, med orientering mod nord. Hvert skråt tag er opdelt i 9 identiske kolde skunkrum med indvendige dimensioner på (LxWxH) 1.25 m x 1 m x 1 m, samt en loft korridor i den sydvendte ende (se figur 1). Forsøget blev udført på testområdet for Institut for Byggeri og Anlæg ved DTU (55,79 ° N, 12,53 ° E). Indeklimaet blev opvarmet til 20 grader med en relativ luftfugtighed på 60%. Dog er forsøget blevet udført uden køleanlæg og affugter, hvilket i perioder fører til højere temperaturer og fugtighed. Foruden dette er friskluftsventiler installeret i facaderne for trykudligning. Under byggeprocessen blev der lagt stor fokus på at minimere risikoen for potentielle fejlkilder fra utilsigtet varme, luft eller fugt bevægelser; ved brug af tykke mineraluld-batts, dampspærre og grunddig forsegling af samlinger.

Under forsøgets løbetid blev temperatur og relativ luftfugtighed målt inde i skunkrummene, i containerne, i loft korridorerne, i undertaget for hvert enkelt skunkrum, i luftspalten mellem tag og skunkrum, samt uden for containerne (røde prikker i figur 1). Foruden dette blev de lokale vindforhold også målt. Forsøgets løbetid var fra juli 2014 til maj 2017.

Som angivet på tegningen er strukturen isoleret med to lag. Isoleringen er lambda 37 rockwool flexibatts.

Alle samlinger ved overgange mellem plader og container, fugtbarrierer osv er forseglet med silikone.

Spær er boltet til containeren, min tre enheder, 12 mm pr spær.



Figur 1 Vertikal snittegning af et kold skunkrum. Røde prikker indikerer sensor placeringer.

2.3 Forsøgsvariationer

Forsøgsopstillingens 18 skunkrum repræsenterer forskellige strukturelle tagscenarier, hvor der undersøges tre series af parameter variationer:

- Undertagets diffusionstæthed: tre typer undertage med forskellig diffusionstæthed blev undersøgt – 0.1, 1.0, og 855 GPa·s·m²/kg. Begrundelsen for at anvende forskellige typer undertage var at undersøge indflydelsen af dampgennemtrængeligheden af undertaget i forhold til de hygrotermiske forhold på loftsrummet, i kombination med forskellige ventilationsstrategier.
- Infiltrationsmængde: fire kontrollerede infiltrationsscenarioer blev undersøgt – 0, 0.34, 0.68, og 3.4 l/s ved 50 Pa trykforskel svarende til 0, 10, 20 og 100% af den maksimalt tilladte infiltration ifølge BR18. Infiltrationsscenarioerne blev udført ved at forsyne en række skunkrum med PVC rør, der forbinder skunkrummet med indeklimaet gennem container loftet, for at emulere effekten af infiltration fra et klimatiseret miljø (Figur 2a).
- Ventilationsstrategi: fire ventilationsscenarioer blev undersøgt – uventileret (UV), trykudligning (PE) med en ventilationsstuds i top, ensidig ventilation (SSV) med ventilationsstuds i top og bund, og mekanisk ventilation (MV) med blæser i top og bund der leverer en konstant lufttilførsel på 0.22 l/s svarende til et luftskifte på ca. 0.63 h⁻¹. Den mekanisk ventilation blev installeret d. 29 juni 2015, ind til da var disse skunkrum konstrueret med ensidig ventilation. Formålet med den mekanisk ventilation var at bruge disse skunkrum som reference for at bestemme om de passive ventilationsstrategier faktisk påvirker de hygrotermiske forhold – ikke for at bestemme om mekanisk ventilation er gavnlig.

For at undersøge indflydelsen af langbølget stråling (figur 2b) blev et enkelt skunkrum foruden ovenstående konstrueret med 500 polystyren isolering på ydersiden af tagpladerne. Fokus var på kolde vinteraftener, hvor effekten af langbølget stråling er størst. Alle skunkrumsvariationerne kan ses i Tabel 1.



Figur 2 Anordning til kontrolleret infiltration (a), Skunkrum med udvendig isolering (b), Loft korridor med adgangsllemme til skunkrummene (c).

Skunkrum	Undertag Z-værdi [GPa·s·m ² /kg]	Infiltration [%]	Ventilationsstrategi [-]
A1	855	0	SSV
A2	855	100	UV
A3	855	100	SSV
A4	855	10	UV
A5	855	10	SSV
A6	855	20	UV
A7	855	20	SSV
A8	855	20	MV
A9	855	100	MV
B1	0.1	0	UV
B2	0.1	0	PE
B3	0.1	0	SSV
B4	0.1	100	UV
B5	0.1	100	PE
B6	0.1	100	SSV
B7 ¹	0.1	100	UV
B8	1.0	100	SSV
B9	855	0	UV

Tabel 1 Konstrueret med udvendig isolering. Ventilationsstrategier: uventileret (UN), trykudligning (PE), ensidig ventilation (SSV) og mekanisk ventilation (MV). 100% infiltration svarende til 3,4 l/s ved 50 Pa trykforskel.

3. Forskningsaktiviteter

3.1 Indledning

I dette afsnit beskrives de i projektet gennemførte aktiviteter i form af kandidatafhandling, artikler og udvikling af simuleringstværgtøj.

3.2 Kandidatafhandling – “Ventilation Design of Cold Attics for avoiding Moisture-related Problems”

Dette afsnit præsenterer resultaterne fra kandidatafhandling af Casper F. H. Pold [1].

3.2.1 Projektbeskrivelse

Kandidatafhandlingen behandler en række forskellige forsøg og simuleringer, herunder:

- Vindmålinger: med en WindSonic vindmålet installeret ca. 1 m over tagryggen. Vindforholdene er en vigtig bidrager til luftstrømninger indenfor og omkring forsøgsopstillingen.
- Tracer-gas forsøg: Formålet med tracer-gasmålingerne er at måle luftskiftet i et luftvolumen ved at frigive en lille mængde gas i et punkt, mens koncentrationen af denne gas måles i et andet punkt i volumenet. Ud fra disse målinger kan luftmængderne ind og ud af volumenet udledes. Tracer-gasmålinger blev udført for fire skunkrum, hvoraf to var med diffusionsåben undertag og to med diffusionstæt undertag – alle konstrueret med ventilationsstudse. Freon 134a blev anvendt som tracer-gas.
- Teoretisk model: En teoretisk model blev udviklet for at bestemme luftbevægelserne i skunkrummene, containeren og i luftspalten under taget – med det formål at bestemme luftstrømningshastighederne ind og ud af skunkrummene samt sammenholde disse resultater med de målte for validering af modellen. Modellen er opbygget efter den teoretiske model for etape 1.
- Computational Fluid Dynamics (CFD): En CFD model blev opbygget i software pakken FLUENT med det formål at opnå en indsigt i årsagerne til de observerede resultater i forsøgsopstillingen. Dette skete ved at analysere luftbevægelserne inde i et koldt skunkrum ved numeriske simuleringer.
- Skimmel sampling: Skimmelvæksten blev undersøgt i en række skunkrum. Væksten blev først undersøgt visuelt, hvor der blev fundet skimmel i enkelte skunkrum: på træpladen der adskiller skunkrummene, indersiden af undertaget samt på bundpladen af træ. Efterfølgende blev en række visuelle skimmelkolonier podet og fordelt på DG18 og V8 agar-plader, og derefter dyrket i et kontrolleret miljø. Slutteligt blev der taget luftprøver fra de enkelte skunkrum, hvor 100 ltr. luft blev trukket hen over DG18 og V8 agar-plader, og derefter dyrket i et kontrolleret miljø.

3.2.2 Forskningsresultater og diskussion

Resultaterne indikerer ud fra analysen af måledata og skimmelsampling i forsøgsopstillingen, at installation af ventilationsstudse i undertaget på nordvendte kolde skunkrum med et diffusionsåbent undertag øger risikoen for høj luftfugtighed og skimmelvækst i skunkrummet. Ved brug af Computational Fluid Dynamics simuleringer og teoretiske overvejelser blev indflydelsen

af ventilationsstudse i undertaget på strømningsforhold i et koldt skunkrum bestemt. Det blev fundet, at udendørs luft bliver ført ind i skunkrummet ved åbninger i bunden og ført ud af åbninger i toppen, når åbningerne er til stede. Gennemstrømningen af infiltrationsluft, der kommer ind i de kolde skunkrum, blev angivet til at være større, når kun en ventilationsstud blev installeret i toppen af skunkrummet. Der blev også fundet en positiv relation mellem vindhastighed og infiltrationsstrømning og luftstrøm gennem ventilationsstudsene i undertaget.

Især trykudligningen ved en ventilationsstud i toppen af rummet resulterede i den højeste risiko for skimmelvækst. Resultaterne indikerer, at et diffusionsåbent undertag medfører færre problemer med fugt, end hvis der anvendes et diffusionstæt undertag. Diffusionstæt undertag med ventilationsstudse øger risiko for fugtophobning i skunkrummet, men udeladelse af ventilationsstudse i skunkrum med diffusionstæt undertag vil medføre en endnu større risiko for fugtophobning i skunkrummet.

3.3 2 videnskabelige artikler – “Hygrothermal assessment of north facing, cold attic spaces under the eaves with varying structural roof scenarios” og “Hygrothermal assessment of north facing, cold attic spaces under the eaves with varying single sided passive ventilation strategies and infiltration scenarios, in a cool, temperate climate”

Dette afsnit præsenterer resultaterne fra 2 artikler af Jensen et al. [3], [4]

3.3.1 Projektbeskrivelse

I artiklerne blev måledataene for alle 18 nordvendte skunkrum belyst for hele forsøgsperioden (juli 2014 til maj 2017). Skunkrummene blev grupperet i forhold til tabel 2. Målt temperatur og relativ luftfugtighed samt beregnet absolut fugtindhold blev sammenlignet for at belyse de ønskede effekter. Som vist i tabel 2 blev resultaterne for etape 1 inkluderet for at bestemme diffusionstæthedens (af undertaget) relative betydning for de hygrotermiske forhold i skunkrummene. Efterfølgende blev den teoretiske risiko for skimmelvækst bestemt ved hjælp af den matematiske skimmelmodel, udarbejdet af VTT Teknisk Forskningscenter i Finland. Modellen beregner den kritiske relative luftfugtighed som en funktion af temperaturen i skunkrummet, og resultatet er et skimmelindeks fra 0 til 6, hvor 0 svarer til ingen vækst og 6 til kraftig vækst (100% dækning). Heraf kan indekssværdierne 3-6 ses med det blotte øje, hvorimod værdier 1-2 skal ses i mikroskop.

Variable	Effekt af...	Grupper	
Diffusionstæthed	- diffusionsåbnet overfor diffusionstæt undertag i en serie med stigende utæthed	B1/B2/B3	B9/A1
Infiltration	- af infiltration i en serie med diffusionstæt undertag i tætte og utætte rum	B9/A1	A2/A3
Infiltration ifm. diffusionstæthed	- infiltration i en serie med diffusionsåbent undertag i tætte og utætte rum	B1/B2/B3	B4/B5/B6
Diffusionstætheds relative betydning	- faktor 10 ændring i diffusionstæthed i etape 2 sammenholdt med resultater fra etape 1	B1/B2/B3 & B4/B5/B6	Tidligere forsøg

Infiltration ifm. lufttæthed	- størrelsen af infiltration og indflydelsen af undertagets (konstruktionens) tæthed	B9/A2/A4/A6	A1/A3/A5/A7
Ventilation	- tvungen (reel?) ventilation ved varierende infiltration og tæthed	A8/A9	A6/A2 & A7/A3
Isoleringsgrad	- udvendigt isoleret tag (stråling) ved lufttæt konstruktion og med infiltration	B7	B4
Reference til etape 1	Ved sammenlignelige resultater kan øvrige resultater fra etape 2 sammenlignes med resultater fra etape 1	B8	Tidligere forsøg

Tabel 2 Grupper af skunkrum, og hvilke effekter der undersøges.

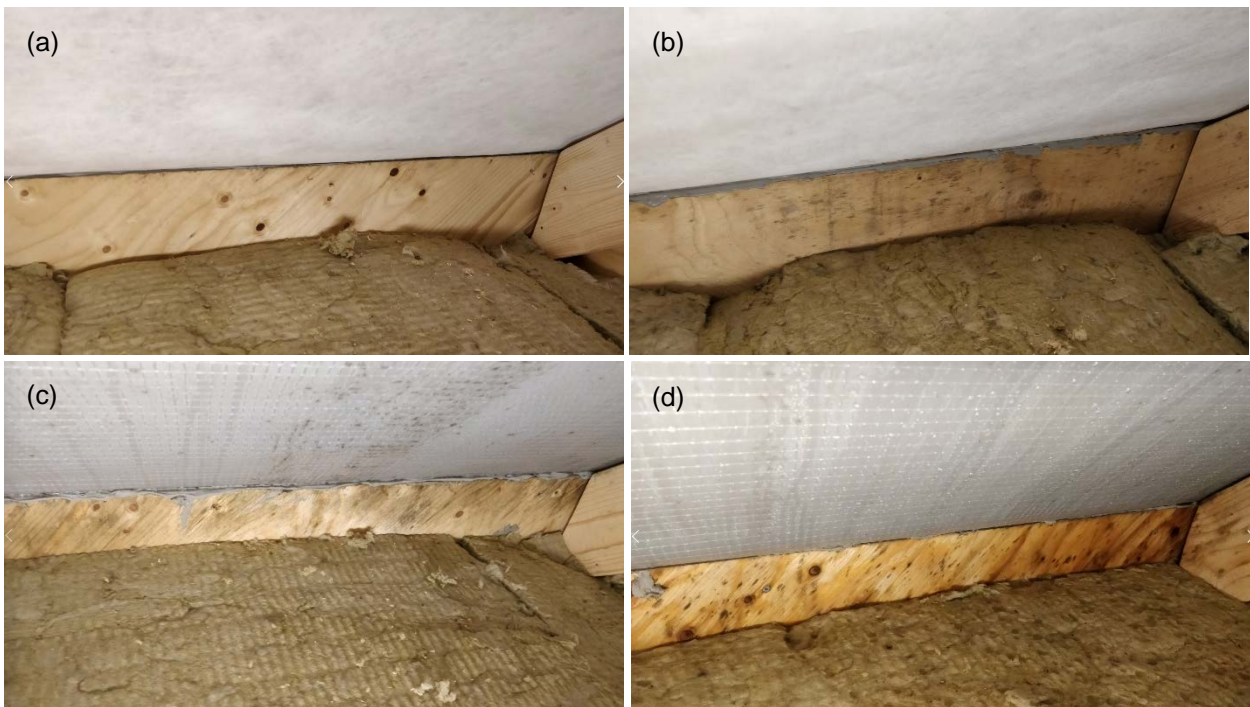
3.3.2 Forskningsresultater og diskussion

- Selv, hvis Bygningsreglement 2018's (BR18) krav til bygningens lufttætning (mindre end 1,0 l/s pr. m² opvarmet gulvområde ved 50 Pa trykforskel) overholdes, forhindrer dette ikke risiko for skimmelvækst.
- De hygrotermiske forhold i nordvendte skunkrum forværres med øget dampdiffusionstæthed for undertaget. Grundet ingen observeret ændring i infiltrationsluftstrømmen passerende gennem skunkrummet som følge af ændret diffusionstæthed skyldes de forværede forhold sandsynligvis den øgede dampdiffusionsmodstand, hvilket indikerer, at jo lavere dampdiffusionsmodstand for undertaget desto bedre.
- Ensided ventilation og trykudligning i henhold til danske best-practice retningslinjer forbedrer ikke de hygrotermiske forhold i nordvendte skunkrum med diffusionsåbent undertag.
- I modsætning til etape 1 viser resultaterne fra etape 2, at ventilation ved trykudligning (1 ventilationsstuds) medfører de værste hygrotermiske forhold i skunkrum med diffusionsåbent tagdækning. Dette kan skyldes, at der i etape 2 blev anvendt en undertagstype med lavere diffusionstæthed end i etape 1.
- Resultaterne viste, at diffusionstæt undertag i uventilerede nordvendte skunkrum viste lavere fugtniveau ved øget infiltrationsmængde (større utæthed i dampspærren), sammenlignet med diffusionstæt undertag med ensidig ventilation. Ved ingen infiltration (fuld tæthed i dampspærre) viste diffusionstæt undertag med ensidig ventilation lavere fugtniveau sammenlignet med diffusionstæt undertag uden ventilation.
- Ved at sammenholde resultaterne fra skunkrum med henholdsvis naturlig ventilation og mekanisk ventilation fandt vi evidens for at ventilation finder sted efter hensigten i de naturligt ventilerede skunkrum.
- Isolering af tagpladen reducerer skunkrummets varmetab, som skyldes stråling til himmelrummet. Det betyder, at skunkrummets temperatur falder mindre og derved nedsættes risikoen for kondens. Den udvendige isolering forværrede imidlertid de hygrotermiske forhold en smule for dette enkeltstående skunkrum, og derfor er der brug for flere data og analyser vedrørende forskellige designscenarier med udvendig tag isolering for at kunne komme med generelle konklusioner på dette område.
- Brugen af en matematisk skimmelmodel som et databehandlingsværktøj til hygrotermiske målinger giver en god ide om de virkelige forhold i skunkrummene.

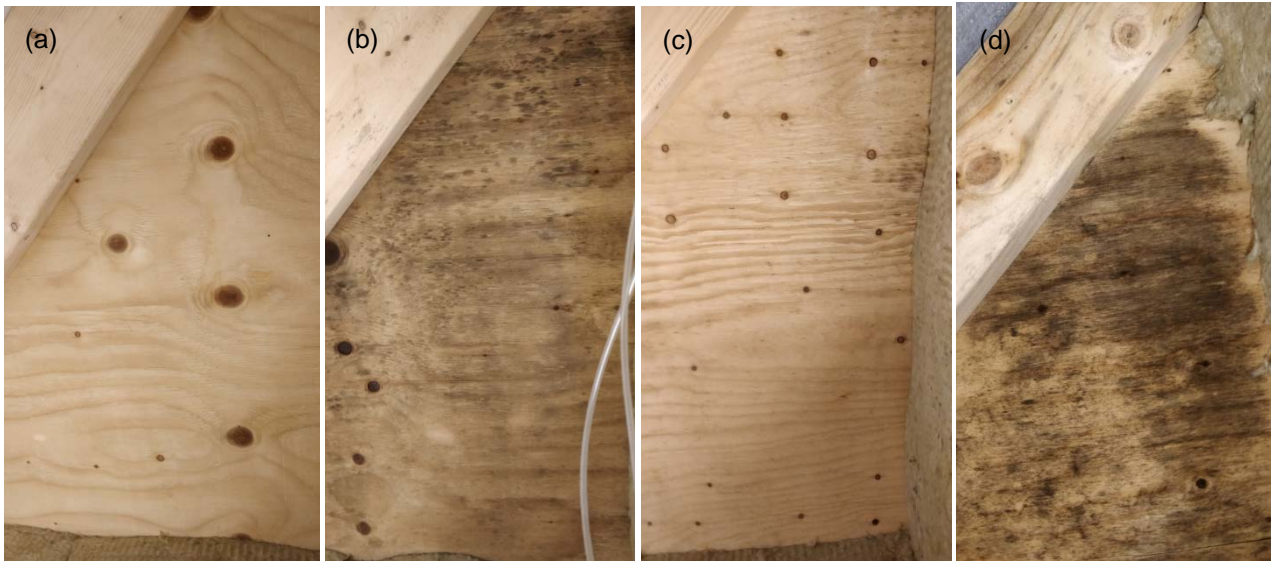
Forskellene mellem de to metoder skyldes muligvis, at en del af skimmelvæksten ikke er synlig, og derfor kan de visuelle observationer suppleres med andre kvantitative metoder. I tabel 3 nedenfor præsenteres den beregnede skimmelvækst og de visuelle observationer fra skunkrummene, og i figur 3 og 4 ses skimmelvæksten i fire skunkrum på bundpladen af træ og den rumadskillende sideplade af træ.

Skunkrum	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
VTT model [M]	1.3	5	5.2	5.1	4.4	5.2	3.9	5.2	5.3	0	1.6	0.9	1.1	4.8	3	1.5	5.2	5.1
Visuel rangordning	2	3	5	3	3	2	3	5	5	1	2	1	1	3	2	1	4	2

Tabel 3 Resulterende skimmel indeks, M, efter næsten 3 år 2017.05.16, og de visuelle observationer 2018.01.16.



Figur 3 Skimmelvækst på bundpladen: B1, bedste diffusionsåbne rum (a), B5, værste diffusionsåbne rum (b), A1, bedste diffusionstætte rum (c), A9, et af de værste diffusionstætte rum (d).



Figur 4 Skimmelvækst på den rumskillende sideplade: B1, bedste diffusionsåbne rum (a), B5, værste diffusionsåbne rum (b), A1, bedste diffusionstætte rum (c), A9, et af de værste diffusionstætte rum (d).

3.4 Simuleringsværktøj til beregning af hygrotermiske forhold i skunkrum

Dette afsnit præsenterer simuleringsværktøj udviklet af C.J.Johnston et al.

3.4.1 Projektbeskrivelse

En af projektets målsætninger var at udarbejde et simuleringsværktøj, der kan beregne de hygrotermiske forhold i et koldt, nordvendt skunkrum påvirket af infiltration fra et konditioneret (fugtigt) indeklima.

Modellen, der har fået navnet *modelAttic*, er blevet bygget i open-source beregningsmiljøet *OpenModelica* (OM). En standardinstallation af OM kommer med en række af biblioteker, heriblandt nogle der er designet specifikt med henblik på at løse bygningsfysiske problemer. Simuleringsværktøjet er dels bygget af komponenter fra eksisterende biblioteker, dels af komponenter der er designet til formålet. I og med at OM er open-source, er simuleringsværktøjet frit at dele, og det sikrer, at simuleringsværktøjet kan bruges af alle, der har interessen. Valget af OM som beregningsmiljø har også andre fordele: OM har en grafisk brugergrænseflade, hvor det er muligt at opbygge modeller ved at kombinere og forbinde forskellige komponenter. Det er altså muligt for en bruger både at modificere input og ændre grundfunktioner – eksempelvis ved at tilføje nye komponenter – i simuleringsværktøjets brugergrænseflade. Hertil kommer, at OM har sin egen suite af efterbehandlingsværktøjer, der giver brugere mulighed for at lave og eksportere grafer direkte fra brugergrænsefladen eller at eksportere data direkte til en komma-separeret fil (.csv). For at hjælpe potentielle brugere er der skrevet en brugervejledning, der gennemgår, hvor simuleringsværket kan hentes, hvordan det kan installeres, hvordan simuleringer kan køres og hvordan data kan behandles.

Simuleringsværktøjet giver brugere en høj grad af frihed. Det er muligt at ændre på alle parametre (input) i simuleringsværktøjet. Eksempelvis er det muligt at ændre isoleringsgraden af konstruktionsdelene, varmekapaciteten i skunkrummet, diffusionstætheden i undertaget, fugtkapaciteten i skunkrummet, skunkrummets volumen og samtlige tryktab over modellen.

Simuleringsværktøjet logger alle parametre, og det er derfor muligt at plotte grafer for samtlige variable. Simuleringsværktøjet kommer med to klimadatasæt, det ene er det danske DRY år, og det andet er målinger fra forsøgsgrunden ved DTU BYG i Lyngby. Brugere kan også levere egne klimadata. Data skal dog først formateres til simuleringsværktøjets specifikationer.

3.4.2 Evaluering af simuleringsværktøj

Simuleringsværktøjet er blevet evalueret. Evalueringen bestod i at sammenligne beregnede nøgletal – temperatur, relativ luftfugtighed og infiltrationsrate – med målinger fra fire forskellige skunkrum fra forsøgsopstillingen. Evalueringen viste, at simuleringsværktøjet giver gode estimater for temperatur, relativ luftfugtighed og infiltrationsrate for hver af de fire skunkrum. Konklusionen på evalueringen var, at hvor simuleringsværktøjet ikke direkte kan bruges til at identificere et funktionelt design (defineret som et design af et skunkrum, som kan sikre hygrotermiske forhold, der forhindrer udviklingen af skimmel og råd i træ), så kan simuleringsværktøjet bruges til at identificere og afgrænse et løsningsrum, hvori et funktionelt design kan findes.

3.4.3 Link til simuleringsværktøj

[http://orbit.dtu.dk/en/projects/modelattic--an-openmodelica-model-to-examine-the-hygrothermal-conditions-in-a-cold-northfacing-attic-space-under-the-eaves\(5b29e25f-bf17-4065-9cf6-60bf59ce7dea\).html](http://orbit.dtu.dk/en/projects/modelattic--an-openmodelica-model-to-examine-the-hygrothermal-conditions-in-a-cold-northfacing-attic-space-under-the-eaves(5b29e25f-bf17-4065-9cf6-60bf59ce7dea).html)

4. Konklusion

Etape 2 bidrog med yderligere viden om de hygrotermiske forhold i nordvendte kolde skunkrum. Resultaterne handler primært om effekten af dampspærrens utætheder, tilstedeværelse og beskaffenhed af ventilation i undertaget samt om undertagets diffusionsåbenhed/-tæthed. Af de væsentligste resultater fremgår:

- At selv, hvis Bygningsreglement 2018's krav til bygningens lufttæthed overholdes, forhindrer dette ikke risiko for skimmelvækst
- At installation af ventilationsstudse i undertaget på nordvendte kolde skunkrum med et diffusionsåbent undertag øger risikoen for høj luftfugtighed og skimmelvækst i skunkrummet.
- At undertagets diffusionsåbenhed er en vigtig faktor. Ved lav diffusionsåbenhed forværres fugtforholdene i nordvendte skunkrum, da fugten har sværere ved at forlade skunkrummet
- At der ved at sammenholde resultaterne fra skunkrum med henholdsvis naturlig ventilation og mekanisk ventilation blev fundet evidens for at ventilation finder sted efter hensigten i de naturligt ventilerede skunkrum
- At isolering af tagpladen reducerer skunkrummets varmetab, som skyldes stråling til himmelrummet. Det betyder, at skunkrummets temperatur falder mindre og derved nedsættes risikoen for kondens.

Resultaterne er af en sådan karakter, at de vil indgå i en revision af et antal Byg-Erfa blade.

5. Formidling af etape 2

Projektet er formidlet gennem:

- Kandidatopgave [2]
- Symposium afholdt på DTU 22. februar 2016 med 5 videnskabelige præsentation [5]
- Artikel præsenteret ved international konference om bygningsfysik, september 2018, arrangeret af Syracuse University, New York State, USA [4]
- Artikel i international højt estimeret journal "Building and Environment" (artiklen er under peer review) [3]
- Nyhedsbrev på DTU
- Det er aftalt med BYG-ERFA, at resultaterne fra dette projekt samt resultaterne fra SBI' DALO projekt om dampspærre vil indgå i revision af et antal erfaringsblade.

Projektets resultater vil være til rådighed for alle via DTU.Orbit.dk og via link til DTU Orbit fra GI's hjemmeside

6. Referencer & links

- [1] [S. P. Bjarløv, "Hygrothermal conditions in cold north facing attic spaces under the eaves with vapour open roofing underlay in a cool temperate climate" Build. Environ. 2016.](#)
- [2] [C. F. H. Pold, "Ventilation Design of Cold Attics for Avoiding Moisture-Related Problems," MSc thesis, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, 2015.](#)
- [3] N. F. Jensen, S. P. Bjarløv, C. J. Johnston, C. F. H. Pold, M. H. Hansen, and R. H. Peuhkuri, "Hygrothermal assessment of north facing, cold attic spaces under the eaves with varying structural roof scenarios," Build. Environ. (Indsendt til peer-review), 2018.
- [4] [N. F. Jensen, S. P. Bjarløv, C. J. Johnston, C.F. H. Pold, M. H. Hansen, and R. H. Peuhkuri, "Hygrothermal assessment of north facing, cold attic spaces under the eaves with varying single sided passive ventilation strategies and infiltration scenarios, in a cool, temperate climate", Building Physics Conference, September 2018, Syracuse, USA](#)
- [5] [S. P. Bjarløv, C. J. Johnston, C. F. H. Pold, M. H. Hansen og R. H. Peuhkuri. Symposium om "ventilationsforhold i kolde skunkrum, etape 2", 22. februar 2016](#)