

”Ventilationsforhold i kolde skunkrum i konstruktioner med diffusionsåbne undertage, Etape 2”

Afsluttende kort rapport - januar 2019

Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby, Danmark

Gennemførelse af etape 1 resulterede, ud over en række værdifulde data om kolde skunkrum, i 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 var imidlertid for få til at kunne drage endelige konklusioner på, hvorfor der blev ansøgt om etape 2.

Med gennemførelsen af etape 2 blev fugt- og skimmelforholdene undersøgt i 18 eksperimentelle skunkrum ovenpå 2 stk. 40 fod containere. Som i etape 1 blev skunkrummene konstrueret med kunstige utætheder til et indeklima med 20°C og 60% relativ fugtighed. 10 skunkrum blev konstrueret med diffusionstætte undertage, og de resterende 8 med diffusionsåbne undertage. Nogle af rummene var konstrueret med ventilation, nogle med trykudligning, nogle med mekanisk ventilation, og nogle havde hverken trykudligning eller ventilation. Slutteligt blev 4 utæthedsscenerier af dampspærren undersøgt i en række skunkrum.

Under forsøgets løbetid blev temperatur og relativ luftfugtighed målt inde i skunkrummene, i containerne, i loftkorridorerne, i undertaget for hvert enkelt skunkrum, i luftspalten mellem tag og skunkrum, samt uden for containerne. Måleperioden i etape 2 var fra juli 2014 til maj 2017.

Foruden det eksperimentelle forsøg blev der også udviklet et simuleringsværktøj (*modelAttic*), der kan beregne fugtforholdene i et koldt, nordvendt skunkrum påvirket af utætheder fra et konditioneret (fugtigt) indeklima. For at hjælpe potentielle brugere er der skrevet en brugervejledning.

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.

Formidling:

- Kandidatopgave
- Symposium afholdt på DTU 22. februar 2016 med 5 videnskabelige præsentation
- Artikel præsenteret ved international konference om bygningsfysik, september 2018, arrangeret af Syracuse University, New York State, USA
- Artikel i international højt estimeret journal "Building and Environment" (artiklen er under peer review)
- Nyhedsbrev på DTU

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

BILAG 1 - Foto collage



Figur 1: Test container A ude fra (a), Test container B inde fra (b), Anordning til kontrolleret infiltration (c), Skunkrum med udvendig isolering (d), Loft korridor med adgangsllemme til skunkrummene (e).



På bundpladen: B5, værste diffusionsåbne rum (a), A9, et af de værste diffusionstætte rum (b). På rumskillende sideplade: B5, værste diffusionsåbne rum (c), A9, et af de værste diffusionstætte rum (d).

BILAG 2 – Links til projektets resultater

Ansøgning med projektbeskrivelse til "Ventilationsforhold i kolde skunkrum i konstruktioner med diffusionsåbne undertage, Etape 2"

http://orbit.dtu.dk/files/155582124/Ans_gning_om_midler_til_forskningsprojekt_om_ventilation_af_uisolerede_t_agram_etape_2.pdf

Videnskabelig artikel – "Hygrothermal conditions in cold north facing attic spaces under the eaves with vapour open roofing underlay in a cool temperate climate"

Artiklen fra etape 1 redegør for nordvendte skunkrums fugtforhold, når der er mindre utætheder i dampspærren. En af de vigtige resultater var, at det ventilerede skunkrum klarer sig dårligere end det ikke ventilerede, samt at for meget ventilation i det ventilerede skunkrum øgede fugtigheden.

Søren Peter Bjarløv, Christopher Just Johnston, Morten Hjortslev Hansen

Offentliggjort 2016 i "Building & Environment"

[http://orbit.dtu.dk/en/publications/hygrothermal-conditions-in-cold-north-facing-attic-spaces-under-the-eaves-with-vapouropen-roofing-underlay-in-a-cool-temperate-climate\(d16e8416-3603-449a-9de6-b6b5d26dc610\).html](http://orbit.dtu.dk/en/publications/hygrothermal-conditions-in-cold-north-facing-attic-spaces-under-the-eaves-with-vapouropen-roofing-underlay-in-a-cool-temperate-climate(d16e8416-3603-449a-9de6-b6b5d26dc610).html)

Kandidat-speciale – "Ventilation Design of Cold Attics for avoiding Moisture-related Problems"

Specialet undersøgte fugtforholdene i diffusionsåbne og tætte skunkrum, ved en kombination af målinger (temperatur, relativ fugtighed og vind), trykforskelsmålinger, sporegas forsøg, og Computational Fluid Dynamics (CFD) simuleringer.

Casper Fabian Hillestrøm Pold, DTU Byg, 31/8-2015

http://orbit.dtu.dk/files/163100846/Casper_Pold_s_MSc_Thesis.zip

Symposium om "ventilationsforhold i kolde skunkrum, etape 2"

Symposium blev afholdt 22. februar 2016 og præsenterede de foreløbige resultatet fra etape 2 for et indbudt publikum.

Søren Peter Bjarløv, Christopher Just Johnston, Casper Fabian Hillestrøm Pold, Morten Hjorslev Hansen, Ruut Hannele Peuhkuri

[http://orbit.dtu.dk/en/projects/symposium-om-ventilationsforhold-i-kolde-skunkrum--etape-2\(9fa7141a-53f2-4044-a9f9-b361f27f3850\).html](http://orbit.dtu.dk/en/projects/symposium-om-ventilationsforhold-i-kolde-skunkrum--etape-2(9fa7141a-53f2-4044-a9f9-b361f27f3850).html)

Videnskabelig artikel – "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"

Artiklen omhandler undersøgelse af fugtforholdene i diffusionsåbne skunkrum med og uden infiltration af "stueluft", samt med og uden ventilation af skunkrummet med udeluft. Ventilationsteknikkerne "trykudligning" og "ensidet ventilation" (ventilations studs diagonalt i top og bund) blev undersøgt. Foruden dette blev også effekten af udvendig isolering imod varmetab til himmelrummet undersøgt.

Nickolaj Feldt Jensen, Søren Peter Bjarløv, Christopher Just Johnston, Casper Fabian Hillestrøm Pold, Morten Hjorslev Hansen, Ruut Hannele Peuhkuri

Præsenteret på bygningsfysikkonference i Syracuse, USA, september 2018

[http://orbit.dtu.dk/da/publications/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\(1891f490-76db-454c-ae06-fb0a2f65a48d\).html](http://orbit.dtu.dk/da/publications/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(1891f490-76db-454c-ae06-fb0a2f65a48d).html)

Videnskabelig artikel – “Hygrothermal assessment of north facing, cold attic spaces under the eaves with varying structural roof scenarios”

Artikel omhandler undersøgelse af fugtforholdene i 18 diffusionsåbne og tætte skunkrum. Forsøget undersøgte tre variabler: 1) diffusionstæthed af undertaget, 2) mængden af infiltration af ”stueluft”, og 3) ventilationsstrategier, hvor fire forskellige scenarier blev undersøgt (uventileret, trykdulning, ensidet ventilation, og mekanisk ventilation).

Nickolaj Feldt Jensen, Søren Peter Bjarløv, Christopher Just Johnston, Casper Fabian Hillestrøm Pold, Morten Hjorslev Hansen, Ruut Hannele Peuhkuri

OBS: Sendt til journal og er under peer-review. Publiceres foråret 2019, hvorefter link tilføjes.

Simuleringsværktøj – “ModelAttic – an OpenModelica model to examine the hygrothermal conditions in a cold, northfacing attic space under the eaves”

Simuleringsværktøjet ”modelAttic” anvendes til beregning af fugtforholdene i ventilerede skunkrum. 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.

Christopher Just Johnston, Søren Peter Bjarløv, Morten Hjorslev Hansen, Ruut Hannele Peuhkuri, Casper Fabian Hillestrøm Pold, Nickolaj Feldt Jensen

[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)

Afsluttende projektrapport for “Ventilationsforhold i kolde skunkrum i konstruktioner med diffusionsåbne undertage, Etape 2”

Nickolaj Feldt Jensen

http://orbit.dtu.dk/files/165598562/2019.01.20_Skunkrum_etape_2_slutrapport.pdf