AALBORG UNIVERSITET
KØBENHAVN

Aalborg Universitet København
Statens Byggeforskningsinstitut
A. C. Meyers Vænge 15
2450 København SV
Danmark

Studiesekretær: Silpa Stella Rondón Pinto
Telefon: 9940 2285
master@sbi.aau.dk

Studenterrapport

Uddannelse: **Master i Bygningsfysik**

Semester: **4. semester**

Titel på masterprojekt:

Badeværelser i stedet for bagtrapper

Projektperiode:

1. februar 2016 – 1. juni 2016

Vejleder:

Martin Morelli

Studerende:

Ergin Mefail

Resume:
I København og i andre større byer i Danmark er flere ældre etageejendomme opført uden toilet- og badefaciliteter til hver enkelt bolig. Boligerne har fælles toilet og bad i henholdsvis gård eller kælder, og svarer dermed ikke til forventningerne til, hvad en bolig i dag skal indeholde. Etageejendomme fra 1850 til 1930 var, af brandmæssige årsager, bygget med for- og bagtrapper, som i dag kan ændres, så de ekstra kvadratmeter i bagtrappen kan anvendes til et nyt badeværelse, hvis fortrappen sprinkles og trætrappen brandsikres.

Overholdes de gældende krav i bygningsreglementet, og følges anvisningerne for vådrum, lyd og brand, kan der være økonomiske fordele i forbindelse med etablering af badeværelser i bagtrapper.

Mulighederne for etablering af badeværelser i bagtrapper er undersøgt, og den mest kritiske konstruktionsdetalje for etablering af nye etagedæk i bagtrappen, er ved beregning undersøgt for hygrotermiske forhold, fugtophobning og kondensrisiko. Også dobbeltdampspærrens betydning vandret imellem to badeværelser er undersøgt.

Flere rum, som eksisterende fællesbaderum i kælder, soveværelset med brusekabine, eksisterende bagtrapper og nyetablerede badeværelser i bagtrapper, er undersøgt for den relative fugtighed (RF).

Antal normalsider: 46 normalsider af 2.400 anslag pr. normalside

Vedlagt kvittering fra Digital Eksamen

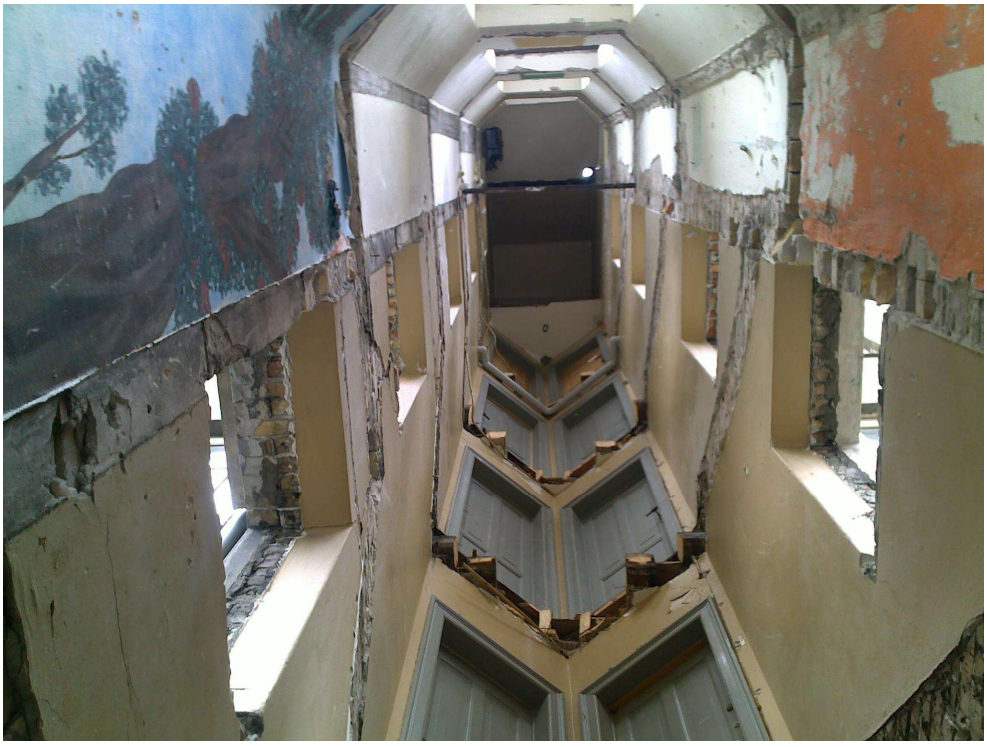
Afleveringsdato: 31.05.2015

Copyright © 2015. This report and/or appended material may not be partly or completely published or copied without prior written approval from the authors. Neither may the contents be used for commercial purposes without this written approval.

Badeværelser i stedet for bagtrapper

- Fugttekniske undersøgelser af rum og konstruktioner

Ergin Mefail
Master i Bygningsfysik (MB04) F16



Udarbejdet som led i uddannelsen til Master i Bygningsfysik
Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV.

Titel	Badeværelser i stedet for bagtrapper
Undertitel	- Fugttekniske undersøgelser af rum og konstruktioner
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2016
Forfattere	Ergin Mefail
Undervisningsfag	-
Vejleder	Martin Morelli
Sprog	Dansk
Sidetal	99

Udarbejdet som led i uddannelsen til Master i Bygningsfysik
Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV

Forord

Denne rapport er udarbejdet som led i studiet til Master i Bygningsfysik uddannelsen på Aalborg Universitet i København og er den afsluttende rapport for masterspeciale i 4. semester. Rapporten er udarbejdet henover foråret fra den 1. februar 2016 til den 1. juni 2016.

Master i Bygningsfysik er en forskningsbaseret universitetsuddannelse, hvor der gennemgås aktuelle videnskabelige teorier og metoder på praktiske bygningsfysiske problemstillinger, som for eksempel energieffektivitet, fugtforhold, materialeegenskaber og indeklima.

Temaet i rapporten er badeværelser i stedet for bagtrapper - hvor der gås i dybden med fugttekniske undersøgelser af rum og konstruktioner. I forbindelse med mit daglige virke som bygningskonstruktør i et rådgivende ingeniør firma er baggrunden for valg af emnet min store interesse for de ældre ejendomme i København og mulighederne for ombygning, så boligerne bliver mere tidssvarende. Endvidere har jeg beskæftiget mig med flere renoveringsprojekter i forbindelse med etablering af badeværelser i bagtrapper, så der forekommer badeværelsesfaciliteter til hver enkel bolig i ældre etageejendomme.

I forbindelse med udarbejdelse af rapporten vil jeg gerne takke min vejleder Martin Morelli for at være behjælpelig med vejledning under processen og andelsboligforeningen A/B Thorsgade 87 m.fl., som har givet mig adgang til ejendommen i forbindelse med mine undersøgelser.

Indhold

Forord ... **3**

Indhold ... **4**

1 Resumé ... **6**

2 English Summary ... **7**

3 Indledning ... **8**
3.2 Problemformulering ... 9
3.3 Ejendommen som danner grundlag for rapporten ... 10

4 Baggrund ... **12**
4.1 Bygningshistorie og udvikling ... 12
4.2 Bagtrappen generelt ... 13
4.2.1 Bagtrappens bygningsdele ... 13
4.2.2 Forventede skader og udfordringer for bagtrappens bygningsdele ... 13
4.3 Fordelagtig økonomi i bagtrapper og byfornyelse ... 14
4.4 Litteraturgennemgang og beskrivelser af typiske skader i badeværelser ... 16
4.5 Fugt teori ... 17
4.5.1 Relative fugtighed (RF) ... 17
4.5.2 Fugttransport ... 20
4.6 Skimmel i bygninger ... 21

5 Grundlæggende lovkrav og anvisninger ... **23**
5.1 BR15 – Bygningsreglement 2015 ... 23
5.1.1 Bygningers indretning ... 23
5.1.2 Konstruktioner ... 23
5.1.3 Brandforhold ... 24
5.1.4 Indeklima ... 24
5.1.5 Energiforbrug ... 25
5.1.6 Installationer ... 25
5.2 Vådrum - SBI-anvisning 252 ... 25
5.3 Lydforhold – DS 490, Lydklassifikation af boliger ... 28
5.4 Brandforhold – Brandsikring af byggeri ... 29

6 Metoder og materialer ... **32**
6.1 Målinger af temperaturforhold og relativ fugtighed (RF) ... 32
6.2 Boligens og badeværelsets indretning ... 34
6.3 Konstruktioner, kondensanalyse og fugtophobning ... 35
6.3.1 Materialer og konstruktioner ... 35
6.3.2 Statik ... 36
6.3.2 Beregning af kuldebro og kondensanalyse i programmet HEAT2 ... 37
6.3.3 Simulering af fugtophobning i programmet WUFI Pro og WUFI 2D ... 38

7 Resultater ... **44**
7.1 Data fra målte temperaturforhold og relativ fugtighed (RF) ... 44
7.2 Statik ... 48
7.3 HEAT simuleringer ... 49
7.4 WUFI simuleringer ... 51
7.4.1 WUFI Pro ... 51

7.4.1 WUFI 2D 53

8 Diskussion 55
8.1 Data for temperaturforhold og relativ fugtighed (RF) 55
8.1.1 Kælderrum med fælles bad 55
8.1.2 Soveværelse med brusekabine 55
8.1.3 Bagtrapper 56
8.1.4 Nyetablerede badeværelser i bagtrapper 56
8.2 Statik 57
8.3 HEAT simuleringer 58
8.4 WUFI simuleringer 59
8.4.1 WUFI Pro 1D simulering 60
8.4.2 WUFI 2D 61

9 Konklusion 62
9.1 Perspektivering 63

Kildehenvisning 64

Bilagsrapport 66
Bilag 1 - Tegninger af de undersøgte detaljer 68
Bilag 2 - Fugtlogger simuleringer 71
Bilag 3 - Statiske beregninger for bjælkelaget 78
Bilag 4 - WUFI Pro simuleringer 80
Bilag 5 - WUFI 2D simuleringer 88

1 Resumé

I København og i andre større byer i Danmark er flere ældre etageejendomme opført uden toilet- og badefaciliteter til hver enkelt bolig. Boligerne har fælles toilet og bad i henholdsvis gård eller kælder og svarer dermed ikke til forventningerne til, hvad en bolig i dag skal indeholde. Etageejendomme fra 1850 til 1930 var af brandmæssige årsager, bygget med for- og bagtrapper, som i dag kan ændres, så de ekstra kvadratmeter i bagtrappen kan anvendes til et nyt badeværelse, hvis fortrappen sprinkles og trætrappen brandsikres.

Overholdes de gældende krav i bygningsreglementet og følges anvisningerne for vådrum, lyd og brand, kan der være økonomiske fordele i forbindelse med etablering af badeværelser i bagtrapper. Mange bagtrapper kan inddrages til boligareal og øge boligernes brugsværdi og i udlejningsejendomme betyde øgede lejeindtægter. Københavns Kommune giver hvert år tilskud til forskellige former for byfornyelse, hvilket også er gældende for etablering af badeværelser i bagtrapper.

I perioden hvor bagtrapperne var almindelig byggeskik, findes der flere forskellige udformninger og størrelser på bagtrapper. Der er i perioden sket en byggeteknisk udvikling, hvilket også gør sig gældende for bagtrappernes bygningsdele og bagtrappernes opbygning. Mulighederne for etablering af badeværelser i bagtrapper er undersøgt, og den mest kritiske konstruktionsdetalje for etablering af nye etagedæk i bagtrappen er ved beregning undersøgt for hygrotermiske forhold, fugtophobning og kondensrisiko. Også dobbeltdampspærrens betydning vandret imellem to badeværelser er undersøgt, men må anbefales ikke at blive etableret.

Flere rum, som eksisterende fællesbaderum i kælder, soveværelse med brusekabine, eksisterende bagtrapper og nyetablerede badeværelser i bagtrapper er undersøgt for den relative fugtighed (RF). Hvor der er etableret fælles badefaciliteter i kælder, er det vigtigt, at ventilationen er tilstrækkelig, så skimmel og dertil alvorligere følgeskader som råd undgås. Flere beboere har opsat brusekabiner i soveværelser, og målinger giver ingen anledning til bekymring, men rummets størrelse og beboerens udluftning efter bad har stor betydning for målingsresultatet.

Bagtrapper, som ikke er blevet renoveret, ser ud til at fungere fint, men i flere ejendomme, hvor vinduer og de indvendige døre til lejlighederne er skiftet, kan der registreres fugtskader især i de øverste etager. Bagtrapperne opvarmes ikke længere af varmetabet gennem de utætte døre til lejlighederne, og den naturlige ventilation fra de gamle og utætte vinduer er fjernet. Målinger viser, at enkelte beboere bruger bagtrappen til udluftning i forbindelse med madlavning i stedet for at åbne vinduet eller bruge emhætten. Målinger i allerede etablerede badeværelser i bagtapper viser forventede resultater for fugtbelastning.

2 English Summary

Several old apartment buildings in Copenhagen and in other bigger cities in Denmark are constructed without toilet and bathing facilities for each apartment. The apartments have common toilet and bathing facilities, which are often placed in the courtyard or in the basement of the building. However, this does not meet today's general expectations of standard requirements for a basic apartment. Apartment buildings from the 1850's to the 1930's were built with front and back stairs for fire protection purposes. These stairs can be altered into extra square meters for each apartment to include individual bathing facilities, but only if a fire sprinkler system is installed on the front stairs and if the wooden stairs are made fireproof as well.

If the applicable requirements in the Building Regulations (Bygningsreglementet) are met and the authorized Danish guidelines for wet room, sound and fire are fulfilled, an economical advantage of establishing and reconstructing bathing facilities using the extra square meters from the back stairs can be achieved. The extra space can be reconstructed to include extra square meters for the apartments, which may increase the general value of the apartment and also add extra value and income for landlords. Every year Københavns Kommune subsidizes various city renovation and innovation projects, also including installation of bathroom facilities using the extra square meters from the back stairs.

From the period 1850-1930 the building of back stairs was common practice. Several different shapes and sizes were used in constructing back stairs. There have been major developments in construction requirements, including back and main stair construction. The possibility of constructing bathing facilities using the extra square meters from the back stairs is examined as are also the critical construction details for constructing the deck between the apartments. This is done by examining the apartments by calculation for hydrothermal conditions, moisture accumulation and risk of condensation. Also, the horizontal impact of double vapors between two bathrooms is examined and calculated, however, this type of construction is not recommended.

Several rooms as bathroom facilities in the basement, bedroom with shower, existing back stairs and newly established bathrooms in back stairs are examined for the relative humidity (RH). It is significantly important that ventilation be provided where common bathroom facilities are established in the basement to prevent mould and other serious consequential related damage. In several apartments showers have been installed in the bedrooms and calculations show no signs for concern. However, the size of the bedroom and owner's tendency to aerate after bathing is of great importance in relation to the results.

Back stairs which have not been renovated seem to function well. As for the back stairs where windows and interior doors have been changed, moisture problems have been detected particularly on the upper floors, because the back stairs are no longer heated due to the drafty doors and natural ventilation no longer takes place due to the old and leaky windows. Measurements show that when cooking some apartment owners use the back stairs to ventilate instead of opening the window or using the cooking hood. Measurements from already established bathrooms in back stairs show results for the relative humidity as expected.

3 Indledning

Der er sket væsentlige ændringer siden perioden fra 1850 til 1950, hvor bygningsprincippet med for- og bagtrapper var almindelig byggeskik, og i måden beboerne i dag anvender boligerne på, samt hvad de forventer boligerne skal indeholde. Der stilles et øget krav til komfort i boligerne, og badeværelset er blevet et vigtigt element, som boligen skal indeholde.

Uden de helt store til- og ombygninger kan de ekstra kvadratmeter til etablering af badeværelsesfaciliteter for hver enkel bolig findes i bagtrapperne, og derved give mange muligheder for udvidelse og modernisering af boligerne.

Formålet med rapporten er at se på mulighederne for etablering af badeværelser i bagtrapper og gennemgå de fugttekniske udfordringer, der kan være i konstruktionen for de nye etagedæk imellem badeværelserne og sammenbygningen med bagtrappens bygningsdele, også udført med dobbelt dampspærre. Der søges endvidere undersøgt, hvilken betydning den relative fugtighed (RF) har for rum med fælles badefaciliteter i kælder, brusekabiner i soveværelse, eksisterende bagtrapper og nyetablerede badeværelser i bagtrapper.

Som baggrund for undersøgelserne gennemgås bygningsprincipperne gennem tiden og den historiske udvikling for etageejendomme. Der gås i dybden med bagtrappernes konstruktionsopbygninger, og de forventede skader og udfordringer, der i dag kan ses på bagtrappernes bygningsdele.

De økonomiske fordele, der kan være ved etablering af badeværelser i bagtrapper undersøges kort sammen med Københavns Kommunes tilskudsordning i forbindelse med byfornyelse.

For at klarlægge baggrunden for opmærksomhedspunkter ved valg af konstruktioner og installationer i nye badeværelser gennemgås tidligere skrevet litteratur, som beskrivelser typiske skader i badeværelser. Baggrunden udbygges med en gennemgang af den fugtteoretiske viden for den relative fugtighed (RF) og fugttransport samt betydningen for skimmel i bygninger.

I forlængelse af baggrunden for etablering af badeværelser i bagtrapper er en generel gennemgang af bygningsreglementets (BR2015) krav inden for området, samt en gennemgang af de anvisninger der gives, og de krav der stilles for henholdsvis vådrum, lyd og brand.

Metoder som ligger til grund for undersøgelserne er målinger af temperaturforhold og den relative fugtighed i rum ved logning i en given periode. Mulige badeværelsesindretninger i bagtrapper beskrives, og den konstruktive detalje for de nye etagedæk og den uisolerede ydervæg gennemgås. Der er foretaget statiske og hygrotermiske beregninger for etagedækket og samlingsdetaljen. Beregningerne er udbygget med mere komplicerede beregninger for kondens, fugtophobning og varmetransport.

3.2 Problemformulering

Flere ældre etageejendomme er udført uden toilet- og badefaciliteter til hver enkel bolig. I den forbindelse undersøges forholdene for etablering af badeværelser i eksisterende bagtrapper.

I forbindelse med ovenstående søges følgende områder belyst:

- Hvordan er fugtforholdene i fællesbaderum i kælder, soveværelse med brusekabine og eksisterende bagtrapper?

- Stemmer fugtforholdene i nyetablerede badeværelser i bagtrapper overens med fugtbelastningen for boliger i etageejendomme?

- Hvad skal man være opmærksom på i forhold til konstruktioner i forbindelse med etablering af badeværelser i bagtrapper?

    - Hvordan er de statiske forhold ved etablering af nye etagedæk på eksisterende ydervægge og har forholdet betydning for de termiske forhold?
    - Kan der forekomme bygningsfysiske problemstillinger i konstruktionerne i forbindelse med etablering af badeværelser i bagtrapper i ældre etageejendomme?
    - Hvis ja, kan konstruktionsopbygningen af det nye etagedæk mellem to badeværelser etableres med dobbelt dampspærre - med vådrumsmembran i gulv og dampspærre i loft?

Hovedformålet med denne rapport er at undersøge de bygningsfysiske problemstillinger, der kan forekomme på konstruktioner i forbindelse med etablering af badeværelser i bagtrapper i ældre etageejendomme. Fokusområderne for undersøgelsen bliver den relative fugtighed samt analyse af fugtophobning i konstruktioner og kondensanalyser ved kuldebroer.

Der rettes i rapporten fokus på emner, som indeklimaforhold for temperatur og relativ fugtighed, badeværelsets indretning, mulige udførelsesdetaljer - normalkonstruktioner og samlingsdetaljer, samt bygningsdelenes egnethed for statisk, varme- og fugttekniske forhold.

Emner som økonomi, indeklima, ventilation, brand og lyd berøres kort for at få et overordnet overblik over de økonomisk fordele/ulemper, samt gældende lovkrav og anvisninger der er inden for området.

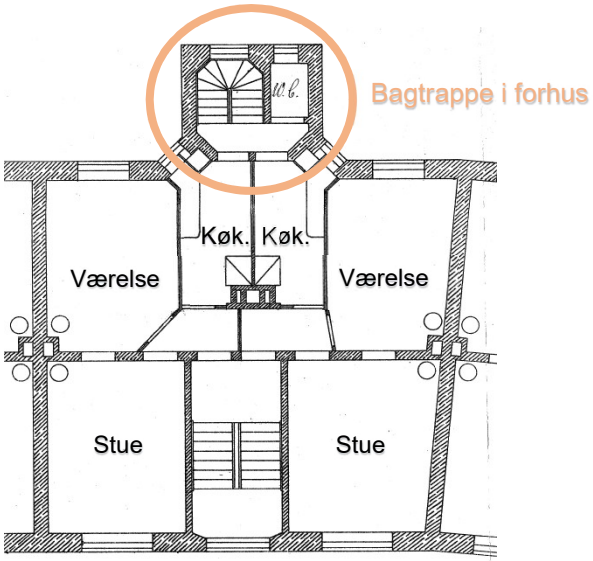
3.3 Ejendommen som danner grundlag for rapporten

Ejendommen som danner grundlag for undersøgelserne i denne rapport er beliggende Thorsgade 87 m.fl. 2200 København N og indeholder samtlige elementer, som ønskes undersøgt.

Figur 1 – Billede af forhuset på Thorsgade 87 m.fl. 2200 København N, med markring af boliger med nyetablerede badeværelser i bagtrappen.

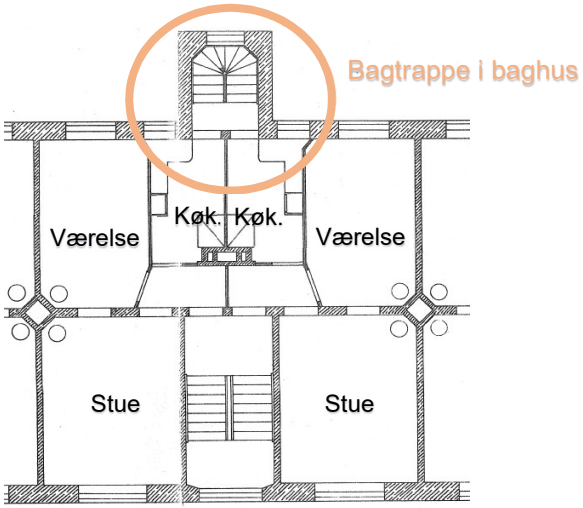
Ejendommen er fra 1902, bestående af for- og baghus, men begge huse med forskellig indrettede for- og bagtrapper. Ejendommens konstruktioner er fundamenter og kælder-vægge af beton, fuldmurede ydervægge, etagedæk af træbjælkelag med indskudsler og københavnertag, hvor mansard er beklædt med naturskifer og fladt tag med tagpap.

Oprindeligt er ejendommen indrettet med boliger uden bad- og toiletforhold. Forhusets lejligheder er med 2 værelser med køkken samt fælles wc-rum i bagtrappen.



Figur 2 - Etageplan i forhuset.

Baghusets lejligheder er også med 2 værelser med køkken, og med toiletforhold i gården.



Figur 3 - Etageplan i baghuset.

Der er i hele ejendommen blevet etableret toiletrum til hver enkelt lejlighed, og et område i baghusets kælderetage er indrettet til fællesbad for ejendommens beboere. Flere af beboerne i ejendommen har desuden opsat brusekabiner i deres soveværelser.

Ejendommen har for nyligt fået etableret badeværelser i 2 af forhusets bagtrappetårne, som giver mulighed for undersøgelser af fugtforhold i allerede etablerede baderum i bagtrapper.

Figur 4 - Nyt badeværelse i forhusets bagtrappe.

4 Baggrund

4.1 Bygningshistorie og udvikling

Som baggrund for bygningsprincipperne gennem tiden er det vigtigt at kende den historiske udvikling. I Danmark begyndte man at bygge i flere etager omkring 1500-tallet, hvilket må betragtes som værende start på etageboligbyggeriet. Det middelalderlige boligbyggeri i København fra før 1500-tallet er hovedsagelig opført som træhuse. Fra 1500-tallet blev træhusene ændret til bindingsværk med udmurede tavler, og tagdækning blev ændret fra strå eller spån til tegltage.

I starten af 1600-tallet blev indført en langsgående bærende skillevæg, som hurtigt blev et fast element i etageboligbyggeri. Sidst i 1600-tallet startede ønsket om grundmurede facader ud mod de mere betydende torve og pladser. Efter Københavns brand i 1728, som er den største brand i Københavns historie, kom der krav om grundmurede vægge over alt, og efter 1795 blev der stoppet for det rene bindingsværksbyggeri.

Overordnet kan byggeriet fra 1850 til 1930 beskrives som muret byggeri med fundamenter af murværk og senere beton. Ydervægge af massiv teglsten og indervægge som udmuret bindingsværk, der senere blev ændret til pudsede bræddeforskallings-vægge kombineret med muret hovedskillevæg og murede vægge omkring trapper. Etageadskillelserne er af træbjælkelag, og etageboligerne har hoved- og bagtrappe af træ. Tagkonstruktionen er hovedsageligt af trækonstruktion beklædt med tegl, skiffer eller metal.

Perioden fra 1930 til 1960, betegnes som nyere muret byggeri. De store ændringer i forhold til perioden før 1930 er etageadskillelserne, som nu ændres til jernbjælkelag, betonbjælkelag der er støbt in-situ eller leveret som præfabrikerede elementer. I bygningerne udføres kun én trappe, som så til gengæld skal udføres af beton. Oftest ses trapperne nu udført som præfabrikerede løb og reposser af beton.

I perioden fra 1960, er byggeriet ændret til bærende betonkonstruktioner, typisk af præfabrikerede elementer. Facaderne er hovedsageligt lette elementer, og det bærende system er ændret, så dæk og trapper bæres af indvendige tværgående betonelementer. Tagene blev først opbygget med lav hældning og med påsvejst tagpap, og senere blev det til rejste tage med cementbaserede tagplader.

Figur 5 - Billede af middelalderlig boligbyggeri, ældre muret byggeri, nyere muret byggeri og betonsandwich byggeri. (Munch-Andersen, 2008)

4.2 Bagtrappen generelt

I forbindelse med at der i rapporten, koncentreres om bagtrapperne, undersøges bagtrappernes bygningsdele og bagtrappernes forventede skader mere detaljeret, så baggrunden for løsninger og beregninger i forbindelse med etablering af badeværelser i bagtrapper kendes.

Byggeloven fra 1856 er den første samlede og moderne lovgivning for byggeri, hvor der af brandmæssige årsager blev stillet krav om, at der i bygninger skulle være to trapper, og at alle beboelseslejligheder skulle have adgang til de to trapper. Næste byggelov, som trådte i kraft i 1871, blev kravet om to trapper i en bygning skærpet, så hver lejlighed skulle have adgang til de to trapper, uden at skulle passere en anden lejlighed. Bagtrappen kan forventes at ses i etageejendomme frem til 1930, hvor bagtrappen udgår, og hovedtrappen er blevet erstattes af en betontrappe.

Bagtrappen fungerede desuden som adgang til kælder fra de enkelte lejligheder, og som adgang til loft / taglejlighed. I tidsperioden fra 1856 til 1930 er der sket en udvikling i bygningsdelene, hvor der må forventes at der kan forekomme forskellige løsninger.

4.2.1 Bagtrappens bygningsdele

I perioden fra 1856 – 1930 er etageejendomme hovedsageligt funderet på sten eller træ. De mest anvendte fundamenter er stenfundamenter af murede banketter i hårdtbrændte sten, som er muret på syldesten, direkte på jord, på langsgående planker eller på træpæle med langsgående planker. Fra 1890 blev betonfundamenter anvendt og efter 1900-tallet blev stort set alle fundamenter udført i beton.

Kældervægge blev indtil slutningen af 1800-tallet udført i teglsten og kalk- eller cementmørtel. Efter 1900-tallet gik man over til i betonfundamenter og betonkælderydervægge.

Ydervægge om bagtrapper er som de øvrige vægge på etageejendomme fra perioden 1856 - 1930 grundmurede. Murene blev opført af teglsten og kalkmørtel, som i den sidste del af perioden blev erstattet med mørtel af cement. I forhold til hovedhusets ydervægge er der indskrænkninger i murtykkelser ved bagtrapper. Ydervægge uden for trapperum kan forventes udført i 2 ½ sten i nederste etager og 2 sten i de øvrige, og i ejendomme fra slutning af 1890'erne 2 sten i nederste etage og 1 ½ sten i de øvrige etager (Haagensen, et al., 1987).

Vinduer på bagtrappens ydervægge er hovedsageligt trævinduer og er placeret forskudt, så de følger trappeløbet. Der er som regel anvendt vinduer, hvor rammerne er hængslet i siden og åbner ud af.

Taget på bagtrapperne kan have forskellig udformninger, og er som regel beklædt med tagdækning af tegl, naturskiffer, zink eller tagpapdækning. Loftet er pudset på forskalling, som er sømmet på spærenes underside og er isoleret med en mindre isoleringsmåtte.

4.2.2 Forventede skader og udfordringer for bagtrappens bygningsdele

Inden arbejdet påbegyndes er det fordelagtigt at kende hvilke forventede skader og udfordringer der kan være på bagtrappernes gamle bygningsdele, når der skal indbygges badeværelser. Hver enkel bygningsdel er derfor gennemgået for forventede skader.

En tilstandsvurdering af fundamentet er ikke mulig, og man skal undersøge andre områder, som kan give en indikation. I kommunens byggesagsarkiv kan man i mange tilfælde finde en beskrivelse af fundamentets opbygning, men en gennemgang af facaden for revner kan også give en indikation på fundamentets tilstand. De to undersøgelser kombineret med en geoteknisk undersøgelse, kan give en ide om fundamenterne egner sig til en eventuel merbelastning, som der forekommer ved etablering af badeværelser.

Fra 1871 var der i byggeloven krav om fugtstandsende lag i kældervæggen. Det kan ikke forventes som værende eksisterende i dag, og kældervæggen kan være i yderst ringe tilstand forårsaget af:

- Fugt gennem vægge og gulv
- Opstigende grundfugt
- Kondens og manglende ventilation
- Utætte nedløbs- og afløbsinstallationer

Fugtpåvirkningerne på kældervæggene kan have givet skimmel- og svampeskader og i værre tilfælde nedbrydning, som igen kan påvirke bæreevnen.

Revner i bagtrappetårnets ydervægge ses oftest på gesimser og på tårnets øverste dele, hvor de murede flunker er udkraget over tagspærene. Facadens fuger kan været skadet og give mulighed for at vand kan trænge ind i murværket. De uisolerede fuldmurede vægge giver et stort varmetab og kan danne kuldebroer, som kan medføres skimmel ved ændret anvendelse og opvarmning.

Bagtrappens vinduer er som regel ikke vedligeholdte, og skal igennem et større indgreb ved at de flyttes og ikke skal følge trappens forløb. Bagtrappen har været et uopvarmet rum, og det kan forventes, at vinduerne er udført med kun et lag glas. Rummet opvarmes, og en udskiftning af vinduerne til mere energirigtige vinduer skal forventes.

Taget skal gennemgås for utætheder og tagkonstruktionen for råd- og svampeskader. Det kan ikke forventes, at det pudsede loft er damptæt og kombineret med en dårlig isoleret tagkonstruktion kan der komme fugt- og skimmelskade ved opvarmning og større fugtbelastning.

4.3 Fordelagtig økonomi i bagtrapper og byfornyelse

I dette afsnit beskrives kort de økonomiske fordele, der kan være ved at inddrage bagtrappen til badeværelser og kommunens tilskud i forbindelse med byfornyelse.

Der gemmer sig mange penge i de gamle etageejendomme i form af mulighed for at udnytte eksisterende fællesarealer til boligarealer. Der er ikke længere krav om bagtrapper, og de kan nedrives, hvis fortrappen brandsikres, og der sikres gode muligheder for brandvæsnet til redning af personer. De mange gamle bagtrapper, som optager mange kvadratmeter, kan inddrages til boligareal og væsentligt øge boligernes brug og værdi, og i udlejningsejendomme betyde øgede lejeindtægter.

I mange tilfælde kan salgsprisen på de enkelte boliger stige mere end udgiften for ombygningen - alt afhængig af ombygningens omfang. Flere faktorer har betydning for den økonomiske fordel, men hver enkelt ejendom bør undersøges separat.

Rækker ejendommens eller foreningens økonomi ikke, giver Københavns Kommune hvert år tilskud til forskellige former for byfornyelse, hvor der lægges vægt på, at kommunens ejendomme bliver tidssvarende, fremtidssikrede og kan bidrage til forbedring af beboernes livskvalitet.

Byfornyelsesordningen *"Bæredygtig Byfornyelse i København"* giver tilskud til renoveringsprojekter, som vinduer, nyt tag, nyt toilet og bad i lejligheden samt tilskud til tiltag, der gør ejendommen mere energibesparende. Der prioriteres løsninger, der er socialt, økonomisk og miljømæssigt bæredygtigt.

Tilskudsordningen kræver, at ejendommene skal energioptimeres ved bygningsfornyelsen. Ejendomme med høj bevaringsværdi skal opnå minimum 20 % energibesparelse, og ejendomme med lavere eller ingen bevaringsværdi skal opnå minimum 30 %. Renoveringen skal helst betyde, at ejendommen efter om- og evt. tilbygningen kan klassificeres til C eller bedre i en energimærkning, og at der opnås besparelser på varmeforbruget. I ejer- og andelsboligforeninger er tilskuddet begrænset til 1/3 eller 1/4 af de samlede ombygningsudgifter, og i private udlejningsejendomme kræver kommunen en egenfinansiering på minimum 30 % af vedligeholdelsesudgifterne (Københavns Kommune, 2016).

Ejendomme som er andels-, ejerboligforening eller privat udlejningsejendom har mulighed for at få tilskud til forbedringer i henhold til Figur 6. Der kan ansøges om tilskud hvert år, og kommunen vejleder derefter om processen.

	I KAN FÅ TILSKUD TIL	DÆKKEDE OMKOSTNINGER
PRIVATE UDLEJNINGSBOLIGER OPFØRT FØR 1950	Toilet og bad flyttes ind i lejligheden. Istandsættelse af samtlige bygningsdele. Sammenlægning af lejligheder og lejlighedsudvidelser op i tagetagen.	Kontant tilskud til vedligeholdelsesarbejder. Indfasningsstøtte – det vil sige støtte til at mindske huslejestigning de første 10 år, efter at der er udført forbedringer.
EJER- OG ANDELSBOLIGER OPFØRT FØR 1950	Toilet og bad flyttes ind i lejligheden. Renovering af klimaskærmen, det vil sige tag, facader, vinduer og fundament.	Kontant tilskud på 1/4 af de samlede tilskudsberettigede ombygningsudgifter. Til fredede eller bevaringsværdige bygninger* udgør tilskuddet 1/3 af de samlede tilskudsberettigede ombygningsudgifter.
ALLE EJENDOMME (uanset opførselsår, dog ikke almene boliger).	Energibesparende tiltag, der er nævnt i ejendommens energimærkning.	Kontant tilskud efter ovenstående regler.

* Bevaringsværdige bygninger betyder, at ejendommen skal have karakter 1-4 i SAVE-registret.
I kan finde jeres ejendom på: www.kk.dk/visueltbygningsregister eller www.kulturarv.dk/fbb

Figur 6 - Bæredygtig Byfornyelse og tilskud. (Københvans Kommune, Bygningsfornyelse, 2014).

4.4 Litteraturgennemgang og beskrivelser af typiske skader i badeværelser

Der er i Danmark ikke meget litteratur, som beskriver undersøgelser og statistikker for badeværelsernes mange skader. I de tilfælde, hvor der er foretaget enkelte undersøgelser, er det gulvkonstruktioner, vægge og installationer, som er undersøgt - alt set oppe fra.

Den historiske gennemgang for litteratur om badeværelser viser første oplæg fra Statens Byggeforskningsinstitut, SBI-anvisning 109 udgivet i 1984, som beskriver mulige løsningsdetaljer i vådrum med gulve på træbjælkelag og beklædninger på skelet vægge.

I 1991 blev SBI-meddelelse 87 udgivet, som omhandler erfaringer fra en undersøgelse af 44 nyere vådrum i gamle boliger. I forlængelse af denne undersøgelse blev SBI-anvisning 169 udgivet, som anviser løsninger på gulve og vægge i vådrum i nye boliger og ved renovering.

I 1995 blev Projekt Renovering igangsat af Boligministeriet. Projektet skulle bidrage til kvalitet, produktivitet, ressourcebevidsthed, eksport- og konkurrenceevne i den danske byggebranche. I den forbindelse startede anvisninger af forskellige standardiserede bade- og wc-rumsløsninger i SBI-anvisning 200, senere erstattet af SBI-anvisning 252.

I Sverige er der statistisk belæg for, at kvalitetsbrist i vådrumskonstruktioner eller installationer er årsag til et meget stort antal skader (Skibstrup Eriksen, Hommel-Hansen, Woetmann Nielsen, Ovesen, & Østergaard, 1991), og mon ikke det samme gør sig gældende i Danmark. Overordnet skal der sættes fokus på den konstruktive opbygning af vådrummet for at opnå den nødvendige tæthed ved gulvflader, vægflader og samlinger, men også øvrige fokuspunkter som tæthed af installationer, støjforhold, sikkerhedsforhold ved el-installationer, overfladernes modstandsdygtighed og ventilationsforhold er vigtige.

I SBI-meddelelse 87 er der foretaget undersøgelser for svigt og skader i 44 nyere vådrum i alderen 2-10 år, alle vådrum etableret i gamle boliger fra perioden 1975-1988. Resultaterne viser, at der i alle led i byggeprocessen kunne konstateres større eller mindre fejl i samtlige vådrum. Brugeradfærd viste i undersøgelserne også at have stor indflydelse på de registrerede skader. De fleste af de konstaterede skader ses også i dag og vil være levetidsnedsættende eller så skadevoldende, at der kan dannes følgeskader som råd- og svampeangreb. Skaderne forekom i vådzonerne og var utætte gennemføringer, fugesvigt, revner, sætninger, manglende vedhæftning, fugtophobning samt lunker og buler. Resultaterne af undersøgelserne viser nødvendigheden i, at der udføres kritiske vurderinger både ved projektering, udførelse og drift.

De største procentvise skader ses i fuger, i flisebeklædninger og –belægninger samt i utætte gulvafløb og rørinstallationer. I vådrum opstår ofte misfarvede fuger ved vaske, brusenicher, badekar og langs flisekanter. Misfarvningerne ses både på de cementbaserede og elastiske fuger, og kan fx være forårsaget af skimmelsvampe, kalkaflejringer, sæberester og mangelfuld rengøring. Misfarvede fuger er for det meste et æstetisk problem, som tillige i visse tilfælde kan være et hygiejnisk problem, men dette påvirker almindelig vis ikke fugens funktion (Sebastian, 2005).

Flisebeklædninger og –belægninger med manglende vedhæftning ses ofte i forbindelse med, at underlaget er forkert udført. Fliser er uelastiske og medfører risiko for

revnedannelser, ved at der forekommer dimensionsændringer i underlaget. Problemerne skyldes ofte (Brandt, 2014):

- Montering af fliser på beton/letbeton før svindet er overstået, og væg/gulv har opnået den endelige størrelse
- Mangelfuld klargøring af fliser og underlag
- Fugtdeformation af træplader
- Forkert valg af fliseklæber
- Uhensigtsmæssig arbejdsudførelse

Erfaringer viser flere fejl på afløb og afløbsledninger i både nye og ældre etageejendomme (Brandt, Buhl, & Fritzel, 2010). Især om ældre støbejernsgulvafløb forekommer vandskader i forbindelse med, at der er renoveret, hvor udskiftning af gamle støbejernsafløb er undladt, og afløbet er forhøjet med mørtel. Flere af støbejernsafløbene tilses ikke, og er korroderet og blevet utætte. Ved nybyggeri eller nye badeværelser i ældre ejendomme ses forkert anvendte materialer, fordi gulvafløbet ikke er korrekt indbygget, eller der ikke er anvendt den rigtige afløbsskål til konstruktionen.

4.5 Fugt teori

Langt de største bygningsskader forårsages af fugt og kan medføre alvorlige konstruktive skader samt sundhedsmæssige problemer.

Fugtpåvirkning ved enkelte tilfælde, som for eksempel et utæt vandrør kan, ikke undgås – skaden skal håndteres, og fugten skal udtørres. Det går der imod hen og bliver alvorligt, hvis der ikke tages hensyn til fugtkilder som eksempelvis grundfugt og luftfugtigheden.

4.5.1 Relative fugtighed (RF)

Den relative fugtighed (RF) angiver forholdet mellem den mængde vanddamp der findes i luften, og den største mængde vanddamp, der kan være i luften ved samme temperatur - mere simpelt stillet op:

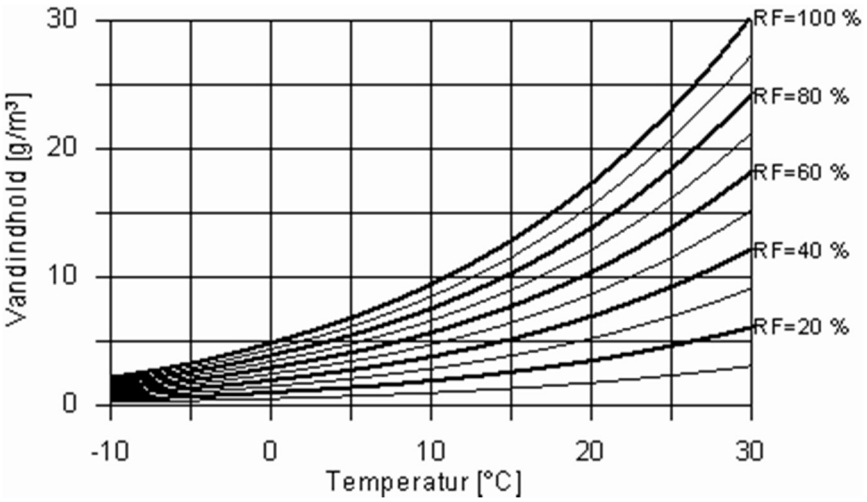
$$RF = \frac{v_{aktuel}}{v_m} \cdot 100$$

Hvor:

- RF er den relative fugtighed angivet i %
- v_{aktuel} er tilstedeværende vanddampindhold
- v_m er det maksimalt mulige vanddampindhold (mætning)

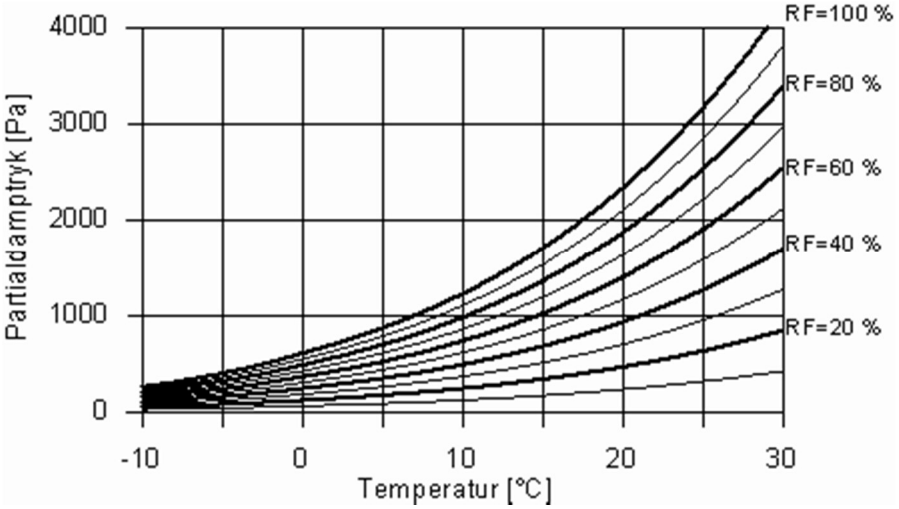
Den relative fugtighed (RF) indgår i et vanddampdiagram og kan anvendes til aflæsning af den relative fugtighed ved forskellige temperaturer. Ved simpel aflæsning ses, hvornår dugpunktet er nået, 100% relative fugtighed (RF), men tabellerne kan også anvendes til bestemmelse af kritiske overfladetemperaturer i forhold til skimmelvækst, som forekommer ved fugtniveauer over 75% RF, som er vist for januar måned i Tabel 2.

Som eksempel fås i badeværelser en klar fornemmelse af den relative fugtighed (RF) i form af dug på spejlet efter et varmt bad. Den varme fugtige luft kommer i kontakt med den kolde overflade, og dugpunktet 100% RF opnås.



Figur 7 - Vanddampdiagram. Vanddampkoncentrationens afhængighed af luftens temperatur og relative fugtighed. (Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København, 2016)

Ud over luftens vanddampindhold kan luftens fugt eller vanddamp også beskrives med vanddampstryk som angiver, hvor stort et tryk vanddampen udøver. Som eksempel kan nævnes, at hvis vanddamptrykket indendørs er højere end udendørs, vil forskellen i damptrykket over konstruktionen betyde en fugttransport indefra og ud. I den forbindelse kan der forekomme fugtskader i form af kondens på bygningsdelen ved 75% - 100% RF.



Figur 8 - Vanddampdiagram. Vanddamppartialtrykkets afhængighed af luftens temperatur og relative luftfugtighed. (Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København, 2016)

I forbindelse med fugttekniske dimensionerings- og beregningsopgaver er fugtbelastningen indendørs inddelt i 5 fugtbelastningsklasser.

"*Fugtbelastningsklasser er en forenklet metode til at beskrive, hvordan fugtproduktionen indendørs og luftskiftet påvirker vanddampkoncentrationen i indeluften".* (Brandt m. fl., 2013, s. 63-64)

De forskellige rum der behandles i denne rapport, er badeværelser i boliger og kælderrum med fællesbad. Disse rum vil i henhold til Tabel 1 dimensioneringsmæssigt ligge i henholdsvis fugtbelastningsklasse 3 og 4.

Tabel 1 - Eksempler på rum i fugtbelastningsklasserne i henhold til DS/EN ISO 13788 modificeret i overensstemmelse med danske erfaringer. (Brandt m. fl., 2013, s. 65)

Fugtbelastningsklasse	
1	Ubenyttede bygninger, tørre lagerhaller, idrætshaller uden tilskuere, industribygninger uden fugtproduktion
2	Kontorer, forretninger, boliger med normal beboelsestæthed og ventilation[1]
3	Boliger med ukendt beboelsestæthed[2], idrætshaller med mange tilskuere[3]
4	Storkøkkener, kantiner, bade- og omklædningsrum
5	Specielle bygninger, fx vaskerier, bryggerier, svømmehaller

[1] I Danmark anses en bolig for at have normal ventilation, hvis bygningsreglementets krav om ventilation er opfyldt.
[2] Beboelsestætheden kan fx være ukendt i lejeboliger.
[3] I Danmark henregnes idrætshaller med mange tilskuere til fugtbelastningsklasse 3.

De kritiske overfladetemperaturer i forbindelse med dugpunkt og skimmelvækst afhænger af udetemperaturen og fugtbelastningen, og som eksempel vist for januar måned i Tabel 2.

Tabel 2 - Kritiske indvendige overfladetemperaturer for fugtbelastningsklasserne 1-4. Beregnet iht. DS/EN ISO 13788:2013 for hhv. kondensrisiko (100 % RF) og skimmelrisiko (75 % RF). Indelufttemperaturen er 20 °C, dog 22 °C i juni og september og 23 °C i juli og august. Udelufttemperaturen er baseret på månedsmiddelværdier fra referenceåret TRY. (Brandt m. fl., 2013, s. 99)

Fugtbelastningsklasse	Måned	Ude-temperatur °C	Inde-temperatur °C	Kritisk overfladetemperatur 100 % RF, °C	Kritisk overfladetemperatur 75 % RF, °C
1	Januar	-0,6	20	4,1	14,1
2	Januar	-0,6	20	9,5	13,8
3	Januar	-0,6	20	11,5	15,9
4	Januar	-0,6	20	14,3	18,8

Eksempler på kritiske relative fugtigheder for skimmelvækst på forskellige materialer er vist i Tabel 3.

Tabel 3 - Eksempler på eksperimentelt bestemt kritisk relativ fugtighed for skimmelsvampevækst på overfladen af byggematerialer. Værdierne dækker lang tids påvirkning ved 20 °C. (Brandt m. fl., 2013, s. 97)

Materiale	Kritisk RF for skimmelsvampevækst, %
Træ og træbaserede materialer	75-80
Karton på gipskartonplader	80-85
Mineraluld	90-95
Ekspanderet polystyren (EPS)	90-95
Beton	90-95
Forurenede materialer, fx forurenede med jord eller støv	75

4.5.2 Fugttransport

Fugttransport kan ske ved væskeform og dampform, og forekomme ved kappilarsugning, diffusion og konvektion.

Kappilarsugning

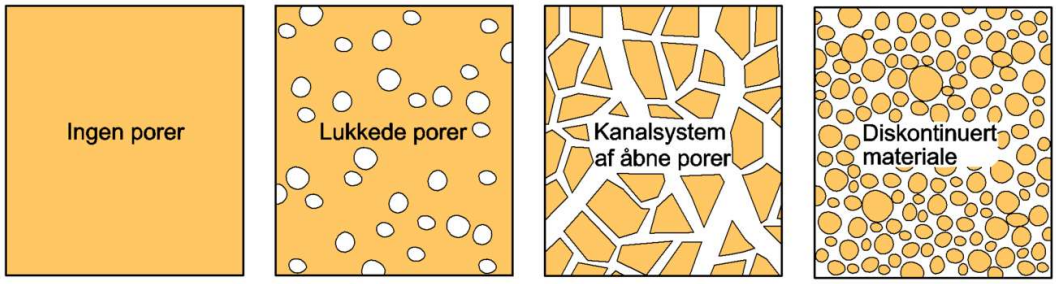
Kappilarsugning ses ofte ved opstigende grundfugt i kældervægge og opfugtning af facader, som udsættes for slagregn. Kappilarsugning består i, at mange byggematerialer er porøse og indeholder små luftfyldte hulrum og kanaler, som ved kontakt med vand suger vand. I SBI-anvisning 224 er byggematerialer inddelt i 4 grupper, som beskriver materialeskrukturen. I gruppe 1 er byggematerialer som ikke binder fugt til sig også kaldet *ikke hygroskopiske*, og gruppe 2-4 som alle binder fugt og kaldes *hygroskopiske*. I SBI-anvisning 224 (2013, s. 24) nærmere beskrevet som:

Gruppe 1: *Materialer uden porer. Gruppen omfatter metaller, glas og visse plastmaterialer.*

Gruppe 2: *Materialer, hvor det faste stof er kontinuert, og porerne er lukkede – og isoleret fra hinanden. Der kan altså ikke – eller i det mindste kun i meget ringe omfang – ske transport af fugt fra pore til pore. Eksempler på materialer af denne type er celleglas, ekstruderet polystyren, ekspanderet polyuretan og visse typer af letklinker.*

Gruppe 3: *Materialer, hvor det faste stof er kontinuert, og porerne udgør sammenhængende systemer igennem materialet. I denne kategori hører de mest almindelige byggematerialer, fx træ, beton, letbeton og tegl.*

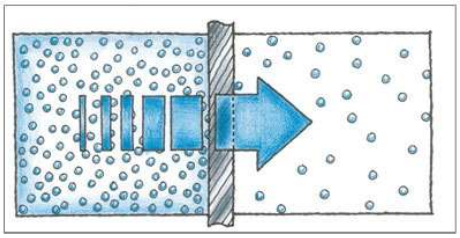
Gruppe 4: *Materialer, hvor det faste stof udgør en diskontinuert struktur (ikke hænger sammen) i en sammenhængende luftmængde (eller hvor "porerne" er sammenhængende). I denne kategori falder materialer i korn- eller pulverform og mineraluld.*



Figur 9 - Til venstre et materiale uden porer, fx metal, dernæst et materiale med lukkede porer, fx celleplast eller foam-glass. Herefter kommer et materiale med åbne porer, hvor der er forbindelse gennem porerne fra side til side af materialet, fx tegl. Længst til højre er vist et materiale, som består af diskontinuerte materialedele og en stor andel af luft, fx grus, hvor det egentlige materiale kun har stedvis kontakt via mindre dele af dets overflade. (Brandt m. fl., 2013, s. 25)

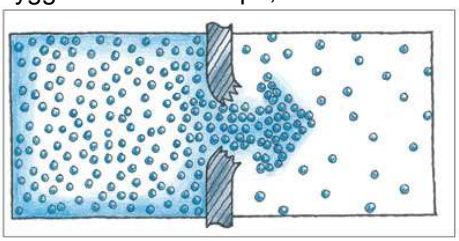
Diffusion

Ved diffusion sker en bevægelse af vandmolekyler fra steder med stort vanddampstryk til områder med mindre vanddampstryk. I henhold til Figur 8 er vanddamptrykket stigende med temperaturen, og vandmolekylerne vil bevæge sig mod den kolde side. Det er her dampspærren har sin vigtighed, som stopper vanddampmolekylerne inden de kommer til områder i konstruktionen med en temperatur, der er lavere end luftens dugpunkt og dermed forhindrer kondens i konstruktionen.



Figur 10 - Skitse af diffusion. (Isover Saint-Gobain, 2016)

Konvektion
Fugttransport ved konvektion sker ved, at fugtigluft bliver transporteret med luftens bevægelse. Der kan forekomme alvorlig fugtskader ved konvektion, og der sættes derfor i byggeriet stor fokus på, at konstruktionerne udføres lufttætte. Luftstrømning kan opstå ved trykforskelle mellem inde og ude forårsaget af eksempelvis vindtryk, lufttryk forårsaget af ventilationsanlæg eller af temperaturforskelle. Dampspærren har som ved diffusion en vigtig funktion og skal udføres korrekt, så varm fugtig indeluft ikke ukontrolleret trænger ud i den kolde konstruktion.



Figur 11 - Skitse af konvektion. (Isover Saint-Gobain, 2016)

4.6 Skimmel i bygninger

Alle undersøgelser i rapporten går på valg af de rigtige løsninger, så fugtskader undgås. Skimmel vokser, hvis der er fugtig, som for eksempel i opfugtede konstruktioner eller hvor den relative fugtighed (RF) er for høj. Baggrunden for vækstbetingelserne for skimmel er en vigtig faktor ved gennemgang af den relative fugtighed og de enkelte konstruktionsdetaljer.

Skimmelsvampesporer findes over alt. Ved fugt, som er gode vækstbetingelser for skimmel, vil skimmelen spire og danne mug (skimmel). I naturen giver skimmelsvampe almindelig vis ikke problemer, men i bygninger kan de have alvorlige helbredsmæssige gener for følsomme personer.

Vækstvilkårene for skimmelsvampe forudsætter opfugtning i længere perioder, som kan vare fra uger til måneder. Hvis fugtniveauet sænkes går skimmelsvampene i dvaletilstand, og der dannes ikke yderligere skimmelvækst. Skimmelsvampe kan vokse på de fleste byggematerialer eller på snavs, der ligger på dem. Er der fugtigt nok, kan de leve på synlige overflader og skjult inde i konstruktioner eller installationer, som for eksempel ventilationsrør.

Skimmelsvampe vokser almindeligvis på materialernes overflader, og væksten sker bedst på organiske overflader. De trives bedst ved temperaturer mellem 20°C til 30°C. Er temperaturen lavere, går væksten langsomt og stopper normalt ved 5°C. Skimmelsvampe nedbryder ikke de materialer, som de vokser på, men svampeangreb der nedbryder materialer kan foregå inde i materialet, selvom der er skimmelvækst på overfladen. Trænedbrydende svampe forekommer almindeligvis først, når fugtindholdet i træ kommer over 20% svarende til 87% RF i den omgivende luft (Brandt, 2005). Det er yderst vigtig at foretage undersøgelser for svampeskader, hvis der er mistanke, da de kan udrette stor skade på bygningskonstruktioner, hvis de ikke bekæmpes i tide.

Helbredsmæssige gener fra skimmelsvampesporer forekommer både ved vækst, og når skimmelen tørrer ud eller dør. Ved vækst afgiver skimmelsvampene aktive biologiske stoffer, der kan spredes gennem luften og gennem nogle byggematerialer. De døde skimmelsvampesporer kan blandes med støv og genere ved indånding. Rengøring er derfor en vigtig faktor i forbindelse med forebyggelse.

Sammenhængen imellem forekomst af skimmelsvampesporer og de helbredsmæssige gener er efter flere års forskning stadig uafklaret (Brandt, 2005). Der er ikke fastsat

grænseværdier for, hvor meget skimmel der må være i eller på konstruktioner, før det er uacceptabelt. Personers følsomhed over for skimmelsvampesporer er vidt forskellige, men undersøgelser viser at især børn er yderst følsomme, og kvinder generelt er mere følsomme end mænd. I forbindelse med at der er skimmelsvampesporer over alt, kan det være svært at afgøre, om personer der opholder sig i bygningen, kan have problemer grundet skimmelsvampe eller andre forhold, der kan give samme symptomer. Skimmel relaterede symptomer kan være:

- *Slimhindeirritation i øjne, næse, svælg – og i et vist omfang også hudgener.*
- *Almene symptomer i form af træthed og hovedpine – og muligvis koncentrationsbesvær.*
- *Allergi over for skimmel. Ved ophold udendørs er allergi hyppigst over for Cladosporium og Alternaria. Disse og andre svampe findes også i indeklimasammenhæng.* (Brandt, 2005)

Årsagerne til skimmel kan være mange. De mest hyppige er beboradfærd herunder manglende udluftning, fugtskader som ikke håndteres og projekterings- eller udførselsfejl på konstruktioner eller installationer. Flere beboere udlufter ikke for at spare på energien, men det kan koste dyrt i den anden ende.

De forebyggende foranstaltninger kan være mange, men det er vigtigt at informere beboerne om adfærd. Korte udluftninger med gennemtræk mindst 2x10 minutter i vinterhalvåret giver et godt indeklima og forebygger skimmel. Alle rum skal helst have en mindste temperaturen på 18°C, tørring af tøj skal undgås og generelt skal boeborene være opmærksomme på tegn på fugt og skimmel. I ældre ejendomme skal det undgås, at der placeres møbler eller skabe mod de kolde ydervægge, som vil forhindre opvarmning af overfladen.

5 Grundlæggende lovkrav og anvisninger

5.1 BR15 – Bygningsreglement 2015

Kun afsnit i bygningsreglementet (BR2015) der har betydning for etablering af badeværelser på bagtrapper, gennemgås i dette afsnit. (Trafik- og Byggestyrelsen, 2016)

5.1.1 Bygningers indretning

Bygningsreglementets kapitel 3 omhandler bygningers indretning og har til formål, at der opnås tilfredsstillende forhold med hensyn til sikkerhed, sundhed, tilgængelighed og anvendelse for alle samt renholdelse og vedligeholdelse.

I boligers adgangsetage skal der mindst indrettes 1 WC-rum med niveaufri adgang og med en hensigtsmæssig indretning og størrelse.

Døre i boligers adgangsetage skal have en fri passagebredde på mindst 77 cm.

5.1.2 Konstruktioner

Bygningsreglementets kapitel 4 omhandler konstruktioner og har til formål, at bygninger skal opføres, så der opnås tilfredsstillende forhold for funktion, sikkerhed, holdbarhed og sundhed.

Bygningskonstruktioner skal dimensioneres, så de kan modstå de normalt forekommende statiske og dynamiske påvirkninger.

Bygningskonstruktioner og -materialer må ikke have et fugtindhold, der ved indflytning medfører risiko for vækst af skimmelsvamp.

Dimensionering af konstruktioner skal ske på grundlag af Eurocodes.

Vådrum, herunder baderum samt bryggers og wc-rum med gulvafløb skal opfylde følgende krav:

1) Gulve og vægge skal udføres, så de kan modstå de fugtpåvirkninger og de mekaniske og kemiske påvirkninger, der normalt forekommer i vådrum.

2) Gulve og gulvbelægninger, herunder samlinger, tilslutninger, rørgennemføringer og lignende, skal være vandtætte.

3) Vægge og vægbeklædninger, herunder samlinger, tilslutninger, rørgennemføringer og lignende, skal være vandtætte i den vandbelastede del af rummet.

4) Vand på gulvet skal afledes til gulvafløb.

5) I den del af vådrummet, hvor der må forventes jævnlig vandpåvirkning, må der ikke udføres rørgennemføringer i gulvet.

6) Ved brug af skeletvægge samt gulv- og vægkonstruktioner, der indeholder træ eller andre organiske materialer, skal der anvendes et egnet vandtætningssystem.

I bygningsreglementet henvises til SBI-anvisning 252 Vådrum, som i denne rapport bliver gennemgået i afsnit 5.2.

5.1.3 Brandforhold

Bygninger skal opføres og indrettes, så der opnås tilfredsstillende tryghed mod brand og mod brandspredning til andre bygninger på egen og på omkringliggende grunde. Der skal være forsvarlig mulighed for redning af personer og for slukningsarbejdet.

Bygningsreglementets kapitel 6 omhandler brandforhold og er en mere generel oplistning og hvor bygningsafsnit deles i anvendelseskategorier afhængigt af bygningsafsnittets anvendelse. Der henvises til afsnit 5.4 Brand – Brandsikring af byggeri, hvor der gås i dybden med krav for Anvendelses kategori 4, som er gældende for etageboliger.

5.1.4 Indeklima

Bygningsreglementets kapitel 6 omhandler indeklima og har til formål, at bygninger skal opføres med et tilfredsstillende sundheds- og sikkerhedsmæssigt indeklima for bygningens brugere.

Ventilation

Bygninger skal ventileres og ventilationssystemer skal projekteres, udføres, drives og vedligeholdes, så der i benyttelsestiden opnås tilfredsstillende luftkvalitet og fugtforhold.

I beboelsesrum såvel som i boligen totalt skal der være en udelufttilførsel på mindst 0,3 l/s pr. m2 opvarmet etageareal.

Køkkener skal forsynes med emhætte med udsugning over kogepladerne. Emhætten skal have regulerbar, mekanisk udsugning og afkast til det fri og have tilstrækkelig effektivitet til at opfange fugt og luftformige forureninger fra madlavningen. Udsugningen skal kunne forøges til mindst 20 l/s.

Boligenhedens grundluftsskifte skal tilvejebringes med et ventilationsanlæg med varmegenvinding, der forvarmer indblæsningsluften, indblæsning i beboelsesrummene og udsugning i bad, wc-rum, køkken og bryggers. Om sommeren kan indblæsning erstattes af udelufttilførsel gennem vinduer, udeluftventiler og lignende.

Udsugningen skal i baderum, wc-rum, bryggers og lignende rum kunne forøges mindst til følgende: Fra baderum og wc-rum skal der kunne udsuges mindst 15 l/s. I særskilt wc-rum, bryggers og fra kælder skal der kunne udsuges en volumenstrøm på mindst 10l/s.

Lyd

Bygninger skal planlægges, projekteres, udføres og indrettes, så brugerne sikres tilfredsstillende lydforhold.

Definitioner og begreber med hensyn til luftlydisolation, trinlydniveau og lydtrykniveau er anvist i DS 490, *Lydklassifikation af boliger*.

5.1.5 Energiforbrug

Etablering af badeværelser i bagtrapper betragtes ikke som ændret anvendelse eller tilbygning, og kun bygningsreglementets kapitel 7.4 for Ombygning og andre forandringer i bygningen og udskiftning af kedler m.v. skal opfyldes.

Ved ombygning og andre forandringer i bygninger skal rentable energibesparelser i bygningsreglementets kapitel 7.4.2 Krav ved ombygning og andre forandringer i bygningen stk. 1 og kapitel 8 gennemføres. Kravene omhandler isolering af ydervægge, gulve, tagkonstruktioner og vinduer mv. samt ændringer af installationer. Kravet gælder kun for den bygningsdel eller installation, der er omfattet af ændringen.

Ved udskiftning af bygningsdele eller installationer skal bestemmelserne i kapitel 7.4.2, stk. 1 og stk. 3, og kap. 8 opfyldes uanset rentabilitet.

Bygningsmæssige ændringer, der indebærer et forøget energiforbrug, kan gennemføres, hvis der gennemføres tilsvarende kompenserende energibesparelser.

5.1.6 Installationer

Bygningsreglementets kapitel 8 omhandler installationer og skal sikre, at installationerne medfører sundhedsmæssigt tilfredsstillende forhold. Installationerne skal udføres, så unødvendigt energiforbrug undgås.

Ventilationsanlæg skal udføres som anvist i DS 447 Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer samt DS 428 Norm for brandtekniske foranstaltninger ved ventilationsanlæg.

5.2 Vådrum - SBI-anvisning 252

SBI-anvisning 252 for vådrum knytter sig til bygningsreglementet BR15 og indeholder anvisninger for, hvordan kravene i BR15 vedrørende vandtæthed og sikkerhed mod fugt- og vandskader opfyldes.

Anvisningens brug er delt i belastningsklasser, som er gældende for gulve og vægge i vådzone, samt vægge i fugtig zone. Løsningsforslagene i anvisningen angiver, hvilken belastningsklasse de kan anvendes i.

I henhold til Tabel 4 kan markering med grøn og gul anvendes. Rød markeringer angiver en løsning, som ikke kan anvendes i den pågældende belastningsklasse, og dem med gule markeringer kan kun anvendes, hvis betingelserne i SBI-anvisning 252 er opfyldt.

Tabel 4 - Belastningsklasser i vådrum. (Brandt & Morelli, 2015)

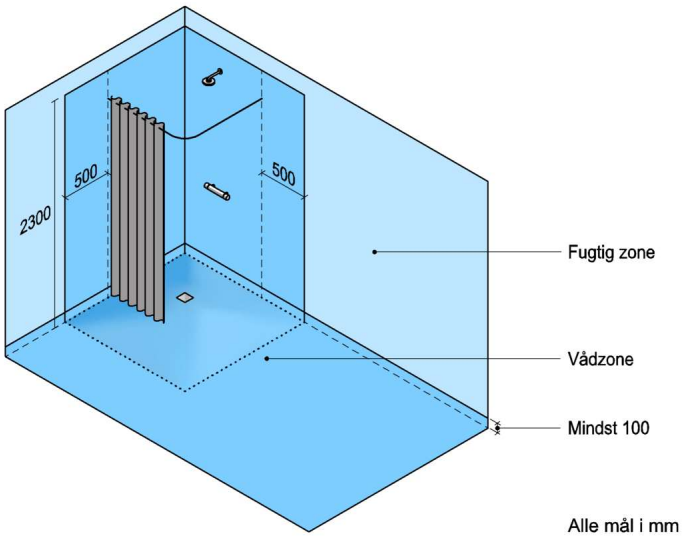
Belastningsklasser	Betydning
L M H	Må ikke anvendes
L M H	Løsninger markeret med gult kan anvendes i belastningsklasse L og M, når betingelserne i figur- eller tabelteksten er opfyldt
L M H	Kan kun anvendes i belastningsklasse L
L M H	Kan kun anvendes i belastningsklasse L og M
L M H	Kan anvendes i alle belastningsklasser

Belastningskasser er underopdelt i vådrumsklasser hvor:

- Klasse L (lav) er gældende for vådrum i enfamiliehuse, sommerhuse til eget brug og bygninger med begrænset anvendelse.
- Klasse M (middel) er gældende for tæt-lave boliger, etageboliger, hoteller, sommerhuse til udlejning og baderum til mindre arbejdspladser.
- Klasse H (høj) er gældende for fælles baderum i sportshaller, restaurationskøkkener, storkøkkener, produktionslokaler i levnedsmiddelindustrien, indendørs pool-område i enfamiliehuse og sommerhuse.

"Byggeskadefondene anbefaler, at man i almene boliger mv. anvender vådrumsløsninger, som er beskrevet i anvisningen under belastningsklasse H (hård) og M (middel)". (Brandt & Morelli, 2015)

Badeværelser zoneinddeles i henhold til Figur 12, hvor vådzonen er den del af rummet, hvor der dagligt er direkte vandpåvirkning, som er: Hele gulvet, de nederste 100 mm af alle vægge og vægge ved brusenichen, badekar og håndvask med brusearmatur. Fugtig zone er de øvrige vægområder, som er uden for vådzonen, loft er ikke en del af zoneinddelingerne. I mindre vådrum med et gulvareal mindre en 3,25 m² er alle vægge omfattet af vådzone.



Figur 12 – Skitse af vådzone og fugtig zone i vådrum. (Brandt & Morelli, 2015)

De konstruktive forhold for gulve og vægge deles i tunge og lette konstruktioner, hvor de tunge konstruktioner er murværks- og betonløsninger, og de lette konstruktioner er organiske materialer som træbjælkelag og træskellet vægge. De tunge konstruktioner

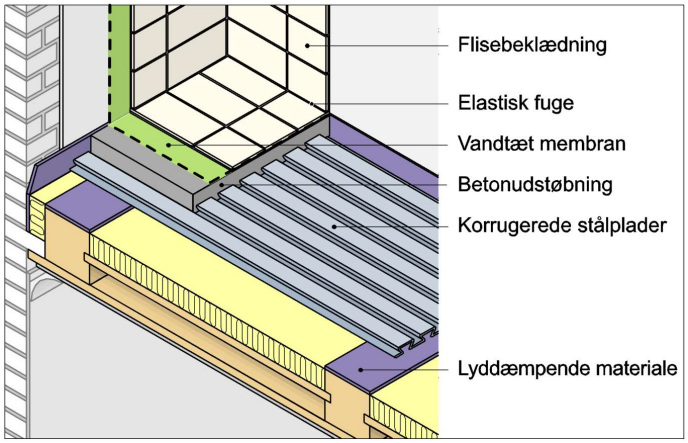
kan anvendes under alle forhold, hvor de lette konstruktioner kun kan anvendes i begrænset omfang.

For forskellige kombinationsmuligheder for gulvkonstruktioner og vandtætningssystemer henvises til anvisningens tabel 3, og vægkonstruktioner og vandtætningssystemer henvises til anvisningens tabel 6 og 7.

Til gulvkonstruktioner i vådrum i etageejendomme, kan gulvkonstruktioner udføres af:

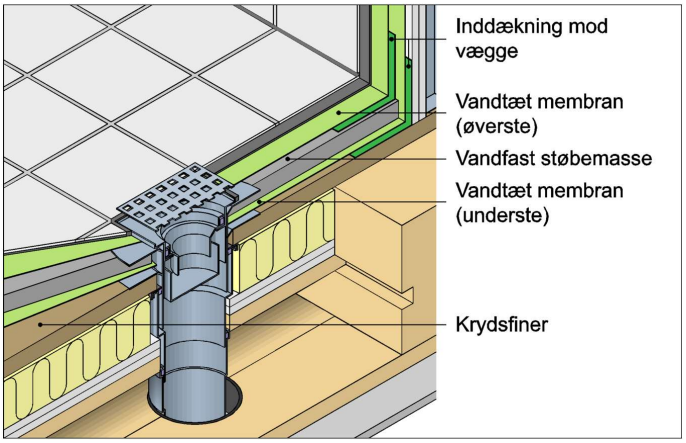
- Uorganisk undergulv på tunge dækkonstruktioner, som beton eller letbeton, og opfylde vådrumsklasse H (høj) med grøn markering.

- Betonudstøbning på træbjælkelag, som kan opfylde vådrumsklasse M (middel) med gul markering.



Figur 13 – Eksempel på betonudstøbning på træbjælkelag. (Brandt & Morelli, 2015)

- Let dobbeltkonstruktion med to vandtætte lag omkring et uorganisk, vandfast støbelag, som kan opfylde vådrumsklasse M (middel) med grøn markering.

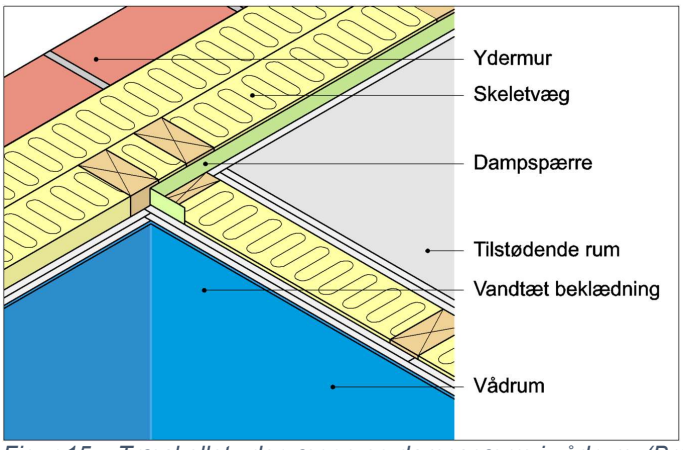


Figur 14 – Eksempel på let dobbelt konstruktion. (Brandt & Morelli, 2015)

Vægkonstruktioner i vådrum kan udføres af:

- Tunge vægge på uorganisk underlag, fx beton, letbeton eller tegl, og opfylde vådrumsklasse H (høj) med grøn markering.
- Skeletvægge på underlag af pladematerialer, som kan opfylde vådrumsklasse M (middel) med grøn markering.

For lette ydervægge er der et opmærksomhedspunkt, som anviser, at der kun må etableres et vandtæt lag og ingen dampspærre, se Figur 15.



Figur 15 – Træskellet ydervægge og dampspærre i vådrum. (Brandt & Morelli, 2015)

5.3 Lydforhold – DS 490, Lydklassifikation af boliger

I forbindelse med krav til luftlydsisolation, trinlydsniveau og krav til støj fra installationer skal vådrum opfylde klasse C i DS 490, *Lydklassifikation af boliger*.

Kravene for luftlydsisolation skal opfyldes uanset rummets størrelse, og det samme gør sig gældende for trinlydsniveau til de omkringliggende boliger, medmindre rummets gulvareal er mindre end 2,5 m².

Støj fra installationer skal undgås ved, at der ikke etableres stive forbindelser mellem installationer og konstruktioner, og fugerne skal etableres tætte og elastiske.

I nærværende rapport anvendes bygningskonstruktioner, som opfylder lydkravene i henhold til de gældende anvisninger, og der gås ikke yderligere i dybden i forbindelse med lydforholdene.

Konstruktionsanvisninger og krav til lydforhold er næremere beskrevet i:

- DS 490, *Lydklassifikation af boliger*.
- SBI-anvisning 234, Vandinstallationer – funktion og tilrettelæggelse.
- SBI-anvisning 237, Lydisolering mellem boliger – nybyggeri.
- SBI-anvisning 243, Lydisolering mellem boliger – eksisterende byggeri.

5.4 Brandforhold – Brandsikring af byggeri

I bygningsreglementet er som vist i Tabel 5 indført seks anvendelseskategorier, som er opdelt i forhold til, hvad bygningen anvendes til, og hvor mange personer den anvendes af.

Tabel 5 - Forskellen mellem de seks anvendelseskategorier. (Knudsen, 2012)

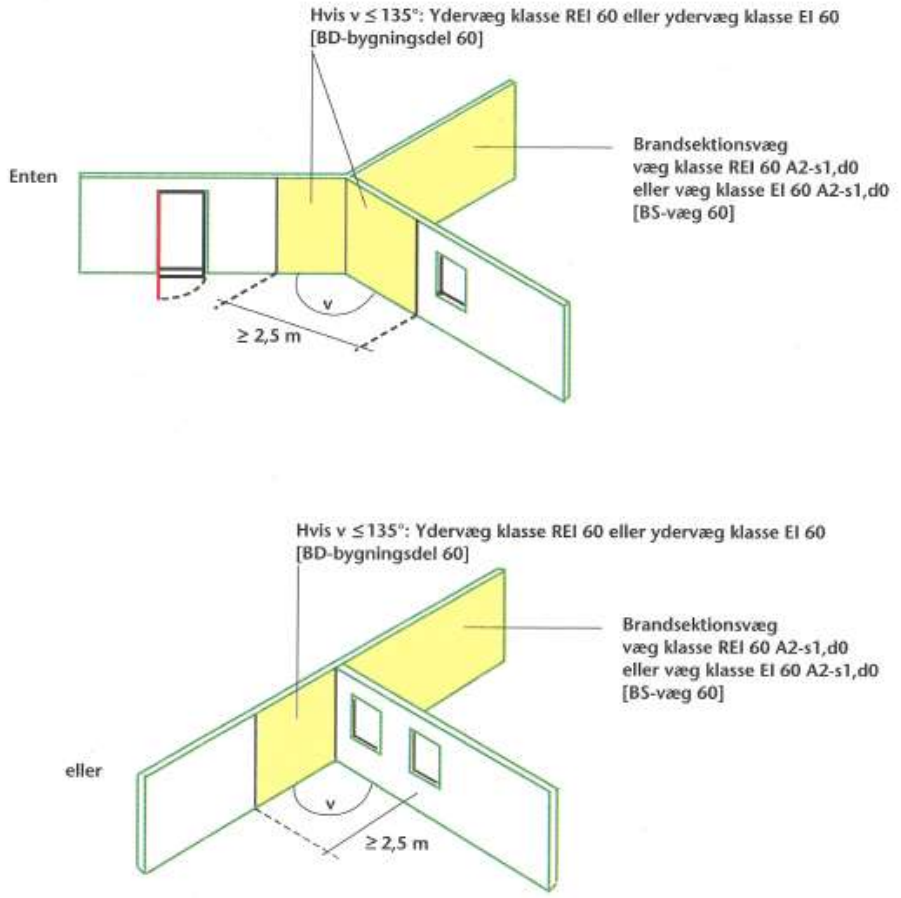
	Alle personer har kendskab til bygningsafsnittets indretning og flugtveje	Bygningsafsnittet er indrettet til dagophold/ natophold	Personerne kan bringe sig i sikkerhed ved egen hjælp	Antal personer
Anvendelses-katagori 1	Ja	Dagophold	Ja	≤ 50
Anvendelses-katagori 2	Ikke nødvendigvis	Dagophold	Ja	≤ 50
Anvendelses-katagori 3	Nej	Dagophold	Ja	> 50
Anvendelses-katagori 4	Ja	Natophold	Ja	≤ 50
Anvendelses-katagori 5	Nej	Natophold	Ja	≤ 50
Anvendelses-katagori 6	–	Dagophold og eventuelt tillige til natophold	Nej	≤ 50

For etageejendomme skal de brandmæssige krav for anvendelses kategori 4 være opfyldt.

Flugtvejsforholdene for anvendelseskategori 4 skal udføres, så der mindst er en udgang udført som dør til det fri, dør til flugtvejsgang i anden brandsektion eller dør til flugtvejstrappe.

Bygningen kan inddeles i flere brandsektioner, hvor minimumkravet er, at flugtvejstrappen placeres i egen brandsektion, og den øvrige del af bygningen inddeles i brandceller og brandsektioner, med sektionsstørrelser på max 600 m². Hver boligenhed skal udgøre sin egen brandcelle, og flere boliger kan udgøre en brandsektion.

På bygninger med fremspring i facaden, som eksempelvis ved trappetårne, kan der forekomme vinkelsmitte, hvor at to ydervægge ved en brandsektionsvæg danner en vinkel på mindre end 135 grader. Dette skal sikres mod brand i henhold til Figur 16.



Figur 16 - Sikring mod vinkelsmitte. (Knudsen, 2012)

De bærende bygningsdele skal sikres, ligesom der skal sikres ved gennembrydninger for installationer. Ved gennembrydning for installationer er der brandtekniske eksempler i Brandteknisk Vejledning 31 - Brandtætning af gennembrydninger for installationer og DS 428 – Norm for brandtekniske foranstaltninger ved ventilationsanlæg.

Brandteknisk klasse for etageadskillelser er afhængig af bygningshøjde, og om der er indbygget automatisk sprinkling. Hvor gulv i øverste etage er højst 5,1 m over terræn, kan etageadskillelsen udføres som bygningsdel klasse R 60 (BD-bygningsdel 60).

Hvor gulv i øverste etage er mere end 5,1 m over terræn, men højst 9,6 m over terræn, skal etageadskillelsen udføres som bygningsdel klasse R 60 A2-s1,d0 (BS-bygningsdel 60) eller bygningsdel klasse R 60 D-s2,d2 (BD-bygningsdel 60 af klasse B materiale) og bygningsdelene udført med beklædning klasse K_2 60 A2-s1,d0 (60 minutters brandbeskyttelsessystem). Er bygningen forsynet med automatisk sprinkling kan etageadskillelsen udføres som bygningsdel klasse R 60 D-s2,d2 (BD-bygningsdel 60 af klasse B materiale).

Hvor gulv i øverste etage er mere end 9,6 m over terræn, men højst 12,0 m over terræn, skal etageadskillelsen udføres som bygningsdel klasse R 60 A2-s1,d0 (BS-bygningsdel 60).

Hvor gulv i øverste etage er mere end 12,0 m over terræn, men højst 22,0 m over terræn, skal etageadskillelsen udføres som bygningsdel klasse R 120 A2-s1,d0 (BS-bygningsdel 120).

For brandsikring af trapper er bygningshøjden og om trapperummet er forsynet med automatisk sprinkling igen afgørende for trappens brandtekniske klasse. Hvor gulv i øverste etage er højst 5,1 m over terræn, skal trappen udføres af materiale klasse D-s2,d2 (klasse B materiale).

Hvor gulv i øverste etage er mere end 5,1 m over terræn, men højst 9,6 m over terræn skal trappen være bygningsdel klasse R 30 A2-s1,d0 (BS-bygningsdel 30). Trappen kan også være bygningsdel klasse R 30 D-s2,d2 (BD-bygningsdel 30 af klasse B materiale), men skal på undersiden og langs siderne være beklædt med K_2 30 A2-s1,d0 (30 minutters brandbeskyttelsessystem). Er trapperummet forsynet med automatisk sprinkleranlæg, kan trappen udføres som bygningsdel klasse R 30 D-s2,d2 (BD-bygningsdel 30 af klasse B materiale), og trappen skal på undersiden være beklædt med klasse K_1 10 B-s1,d0 (klasse 1 beklædning).

Hvor gulv i øverste etage er mere end 5,1 m over terræn, skal trappen være bygningsdel klasse R 30 A2-s1,d0 (BS-bygningsdel 30).

6 Metoder og materialer

6.1 Målinger af temperaturforhold og relativ fugtighed (RF)

Temperaturforholdene og den relative fugtighed (RF) i rum undersøges ved logning.

Til registrering af fugt og temperaturforhold over en længere periode er anvendt Testo 174H dataloggere, som har indbygget fugt- og temperaturføler, og hvor data lagres i den indbyggede hukommelse.

Figur 17 – Testo datalogger.

Loggerne er programmeret til registrering af temperatur og RF hvert 15. minut og giver en kortlægning af de fugt og temperaturforhold, der vil være i det pågældende rum for en given periode. Resultaterne kan herefter sammenlignes med de forventelige årstidsvariationer.

Der er foretaget målinger i kælderrum med fælles bad, soveværelse med brusekabine, bagtrapper og nyetablerede badeværelser i bagtrapper.

Fællesbadet i kælderen indeholder 4 brusere og er opdelt med spanske vægge. Ved første registrering inden opsætning af fugtloggere var i hver brusekabine etableret udsugning med luftmængder vurderet til 54 m³/h. Der kunne registres skimmel på lofter og kondens på alle overflader. I mellemtiden og ved opsætning af fugtloggerne var der etableret supplerende fugtstyret udsugning, og loftet var nyrenoveret.

Figur 18 – Billede af fælles bad i kælderrum og nyetableret fugtstyrret udsugning monteret i kældervindue.

I soveværelse med brusekabine var ingen udsugning, og forholdene viste ingen tegn på fugtskader.

Figur 19 - Billede af bruskabine opsat i soveværelse.

I de eksisterende bagtrapper var der var ikke foretaget ændringer udover udskiftning af vinduer og døre samt indvendige døre til lejlighederne. Ved bagtrappers adgang til kælder kunne registreres opstigende grundfugt i mindre omfang.

Nyetablerede badeværelser var udført efter gældende regler, med mekanisk udsugning og indretning som vist i Figur 20.

Generel info om fugtlogger nummer, placering og registreringsperiode se Tabel 6.

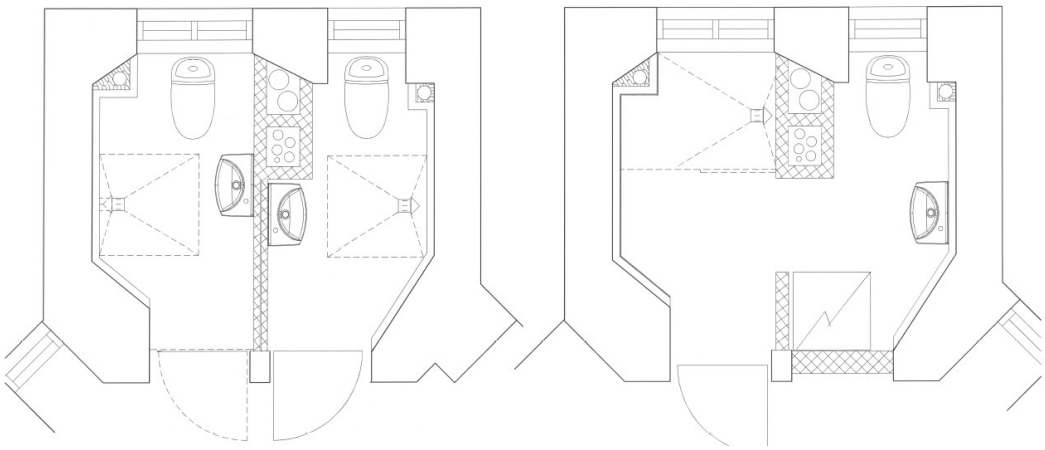
Tabel 6 – Fugtlogger nummer, placering og periode.

Fugtlogger nr.	**Placering**	**Tidsperiode**	
		Til	Fra
BMT04	Fælles bad i kælder, placeret ved føler til fugtstyret udsugning.	19.12.2015	25.01.2016
BMT15	Soveværelse med brusekabine	27.01.2016	22.03.2016
BMT01	I bagtrappe på 4. sal	19.12.2015	25.01.2016
BMT05	I bagtrappe på 3. sal	19.12.2015	25.01.2016
BMT16	Nyetableret badeværelse i bagtrappe	19.12.2015	25.01.2016
BMT02	Nyetableret badeværelse i bagtrappe	19.12.2015	25.01.2016
BMT18	Udvendig under halvtag.	19.12.2015	25.01.2016

6.2 Boligens og badeværelsets indretning

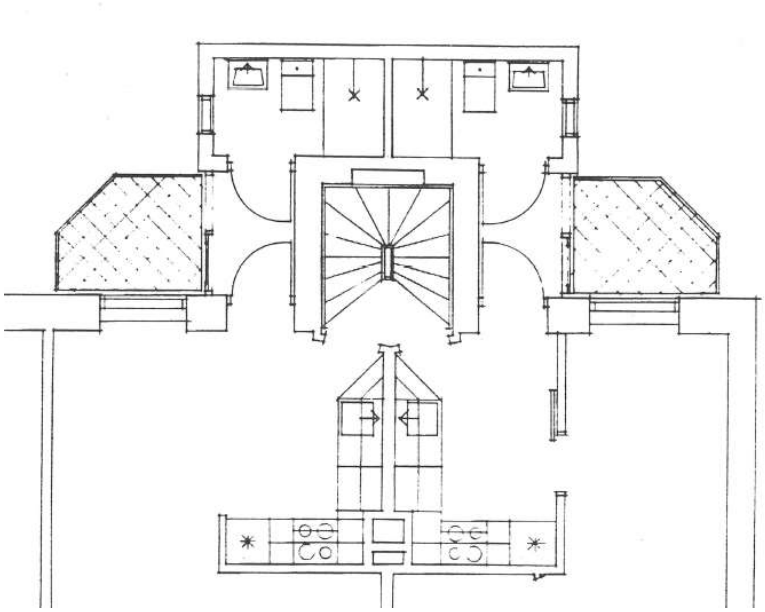
Der tages udgangspunkt i bagtrapperne for ejendommen, som danner grundlag for denne rapport, se afsnit 3.3. Københavns Kommune giver mulighed for at bagtrappen inddrages til boligen, hvis Retningslinjer for etablering af trapperumssprinkling i Københavns Kommune af den 14. marts 2012 kan opfyldes.

Badeværelserne skal indrettes, så de er tilgængelige for alle, men det kan være vanskelige at overholde, hvis pladsen er trang. Der er flere løsningsmuligheder for indretning af badeværelser i bagtrapper. I forhusets bagtrapper er i Figur 20 vist eksempler på allerede udførte badeværelser. Til venstre er indretning i forhold til eksisterende lejlighedsopdeling og til højre ved lejlighedssammenlægning.



Figur 20 - Forslag til indretning af badeværelse i bagtrapper med god plads.

I baghuset er indretning af badeværelser på bagtrappen uden sammenlægning af lejligheder eller en større ombygning, hvor værelser, køkken og gang ombygges ikke at fortrække. Figur 21 viser en alternativ løsning, hvor der udføres en tilbygning til bagtrappen for etablering af badeværelser.



Figur 21 - Forslag til tilbygning for indretning af badeværelser i ældre etageejendomme. (Haagensen, et al., 1987)

6.3 Konstruktioner, kondensanalyse og fugtophobning

I dette afsnit beskrives først de konstruktive detaljer og baggrundsdata for dimensionering af bjælker og murværkets styrke. Til kondensanalyse og beregning af fugtophobning i konstruktioner angives de anvendte metoder for analysen.

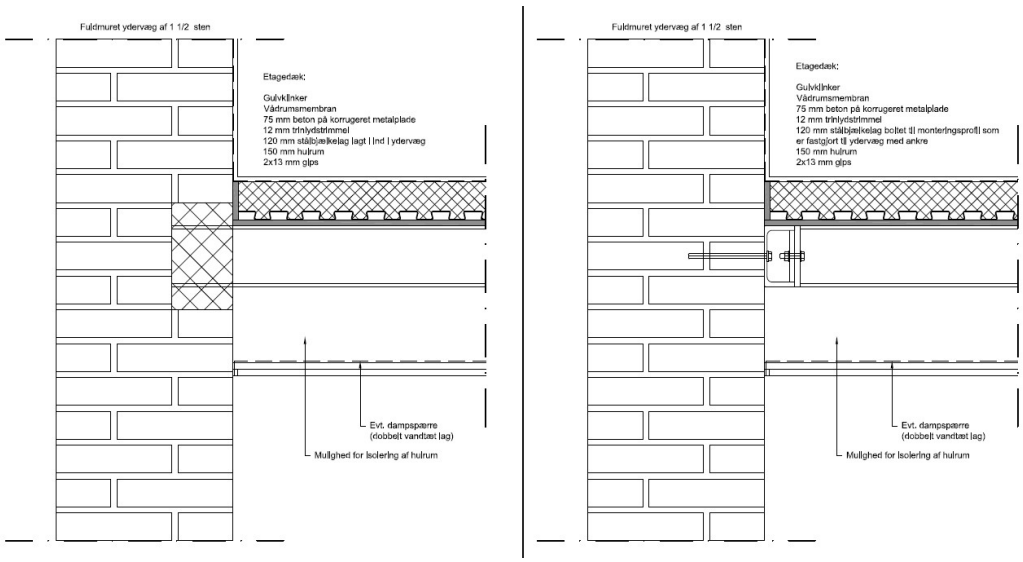
Konstruktionerne undersøges med detaljerede varmetekniske beregninger i HEAT2 for beregning af temperaturfaldet i konstruktionen for kondensanalyse og WUFI for analyse af fugtophobning i konstruktionen ved brug af to vandtættelag i henholdsvis gulv og loft mellem to badeværelser.

6.3.1 Materialer og konstruktioner

I forbindelse med kondensrisikoanalyse ved kuldebroer og fugtophobning i konstruktioner tages der i beregningerne udgangspunkt i samlingsdetaljen mellem det nye etagedæk og den uisolerede ydervæg, fuldmuret i 1 ½ sten, som vurderes at give den størst mulige kuldebro og derved kondensrisiko. I de fugttekniske beregninger analyseres også for fugtophobning i etagedækket mellem 2 badeværelser ved etablering af et vandtæt lag i gulv, og 2 vandtætte lag i henholdsvis det nedhængte loft og den overliggende gulvkonstruktion.

Mest anvendte metoder til etablering af indskudt dæk for nye badeværelser i bagtrapper er stålkonstruktioner, udlagt som bjælkelag, med støbt betonpladegulv på forskallingsplader. Træbjælker opfylder ikke brandkravene for nye vandrette lejlighedsskel i etageejendomme og anvendes kun ved renovering, hvor træbjælkelaget bevares, men brandbeskyttes til BD 90 etageadskillelse. I beregningseksemplerne udskiftes stålkonstruktioner til træbjælker, så eventuelle forskelle kan vurderes.

Stålbjælkerne kan lægges ind i ydervæggen eller monteres på væggen med et monteringsprofil fastgjort til de murede ydervægge med kemiske eller mekaniske ankre i henhold til Figur 22.



Figur 22 - Etagedæk i bad, tv. lagt i ydervæg og th. boltet til monteringsprofil som er fastgjort til ydervæg med ankre. Tegninger i storformat se bilagsrapport.

Normalkonstruktionen for dækket, der undersøges er gulvklinker, vådrumsmembran, 75 mm beton på korrugeret metalplade, 12 mm trinlydsstrimmel, 120 mm stålbjælkelag lagt i ind i ydervæg, 150 mm hulrum til installationer og 2x13 mm gips.

6.3.2 Statik

Som grundlag for de fugttekniske beregninger undersøges de bærende konstruktioner som stålbjælkelaget og murværkets styrke for etablering af betondæk på forskallingsplader. Bjælkelagets tæthed kan have betydning for de termiske beregninger.

Nyttelaster for forskellige bygningstyper er anvist i Dansk Standard DS/EN 1991 - Eurocode 1 og opdelt som angivet i Tabel 7.

Tabel 7 - Nyttelaster for forskellige lastgrupper. (Dansk Standard, 2007)

Lastgruppe	**Nyttelast, karakteristisk kN/m²**
Bolig	***1,5***
Let erhverv	2,5
Samlingslokaler	5,0
Tungere erhverv	7,5

Nyttelaster og beregninger af laster for etagedækkets egenvægt, opstilles til brug for beregning af last på murværk samt dimensionering af bjælkelaget.

Tabel 8 - Etagedækkets egenvægt.

Egenvægt	**kN/m²**
Stålbjælkelag	Afhængig af profiltype, afstand og dim.
Loftkonstruktion, gipsplader på forskalling	0,26
Lette skillevægge i henhold til Euracode 1: ≤ 1 kN/m sættes til ≤ 2 kN/m sættes til ≤ 3 kN/m sættes til	 0,50 0,80 1,20
Svalehaleplader	0,058
Beton pr. 10 mm lagtykkelse	0,22
Klinker pr. 10 mm lagtykkelse	0,22

I de fleste tilfælde anvendes Lewis Svalehaleplader udlagt på bjælker, som forskalling til beton gulve. I Tabel 9 er lasttabel for Lewis Svalehaleplader udstøbt med beton af 0-8 mm kornstørrelse (styrke 25 MPa), bæreevne for simpelt understøttede konstruktioner og max nedbøjning på < L / 150.

Tabel 9 - Last tabel for Lewis gulvkonstruktioner udstøbt med beton. (EFTEX ApS, 2016)

Fladelast

Gulvtykkelse (ht) mm	Fri spændvidde (Lt) mm	Regningsmæssig bæreevne i kN/m²
50	600	30,2
50	900	19,5
50	1200	13,8
50	1500	9,7
75	2000	6,1
75	2500	4,1

Punktlast

Gulvtykkelse (ht) mm	Fri spændvidde (Lt) mm	kN 100x100 mm
50	600 - 1500	3
75	2000 - 2500	3*

* Ekstra armering med 5 x 150 mm Rio net er påkrævet. For kantnære punktlaster - ret henvendelse til Eftex ApS

Ved bjælkeafstande større end 900 mm skal pladerne være understøttet, indtil betonen er afbundet. Der bør derfor tilstræbes, at der ved etablering af nye bjælkelag ikke er bjælkeafstande over 900 mm, hvilket der også anvendes i beregningsgrundlaget.

I Københavns Kommune er udarbejdet et notat om murværk og murværkets trykstyrke for ældre ejendomme. Som minimum er anvist, at der ved beregning af murværk skal følgende værdier anvendes:

E_{0k} = 355 MPa og f_{cnk} = 2,4 MPa med γ_m = 1,87 (Københavns Kommune, 2006)

E_{0k}	*Elasticitetsmodulet*
f_k	*Murværkets karakteristiske trykstyrke*
y_m	*Partielkoefficient*

Svarende til værdier for kalkmørtel K 100/1200 og stenklasse 15. I alle ældre etageejendomme i København er vedtaget, at murværket minimum opfylder kalkmørtel K 100/1200 og stenklasse 15. I forbindelse med de nævnte værdier, skal den regningsmæssige belasting på murværket være mindre end: 2,4 MPa / 1,87 = 1,28 MPa.

Flere parametre gør sig gældende ved beregning af den regningsmæssige belastning på murværk. I beregningseksempelet er der taget udgangspunkt i en bred bagtrappe på 3 m, bjælkeafstande på 900 mm og gulvtykkelse på 75 mm. Der er foretaget en lastopstilling for etageadskillelsen, dimensionering af bjælkelaget samt beregning af bjælkens trykstyrke.

6.3.2 Beregning af kuldebro og kondensanalyse i programmet HEAT2

HEAT2 er et PC-program udviklet til beregning af to-dimensional varmestrømme, både som tidsafhængige varmestrømme med varierende forhold, og i steady-state situationen.

Programmet bruges til detaljerede beregninger af linje- og punkttabskoefficienter for kuldebroer, u-værdier for konstruktioner og beregning af temperaturfaldet gennem konstruktionen til analyse for kondensrisiko.

Begge modeller i Figur 22 opbygges i HEAT2 for beregning af temperaturfaldet i konstruktionen for kondensanalyse. Dampspærren er ikke indtastet, da den ikke har betydning for varmetabet og temperaturfaldet i konstruktionen. Trinlydsstrimmel er indtastet som isolering. Materialedata for beregningerne i henhold til Tabel 10.

Tabel 10 - Materialedata for indtastning i Heat2.

Materiale	**Varmeledningsevne (lambda-værdi)** *W/mK*
Beton	1,9
Gips	0,2
Isolering kl. 37	0,037
Keramiske fliser, porcelæn	1,3
Stål	55
Tegl udvendigt	0,736
Træbjælke	0,13
Luft, stillestående	0,024

For temperaturforholdene er Det danske design år (Danish Design Reference Year – DRY) anvendt. Ude temperatur begrænses til forholdene i februar måned, som er den koldeste måned i Danmark, hvor der typisk er -1,1 °C. Inde temperatur indtastes til 20 °C i henhold til DS 418 Beregning af bygningers varmetab.

Tabel 11 - Måneds- og årsgennemsnit for udeluftens temperatur, for den udvendige temperatur af en mørk, vandret bygningsoverflade og for det udendørs damptryk. (Brandt m. fl., 2013, s. 103)

Måned	$\theta_{udendørs\ luft}$ °C	$\theta_{mørk,\ vandret\ overfl.}$ °C	$p_{udendørs\ luft}$ Pa
Januar	-0,6	-0,6	563
Februar	-1,1	-0,4	532
Marts	2,6	4	685
April	6,6	9,9	805
Maj	10,6	15,3	988
Juni	15,7	22,5	1159
Juli	16,4	22,6	1374
August	16,7	20	1325
September	13,7	15,7	1337
Oktober	9,2	10	1029
November	5	4,7	805
December	1,7	1	635
Året	8,1	10,5	939

Beregningerne udføres også for træbjælkelag, hvor stålbjælkelaget erstattes af træbjælker og beregningerne derved viser konstruktionsopbygningens betydning for varmetabet og temperaturfaldet igennem konstruktionen.

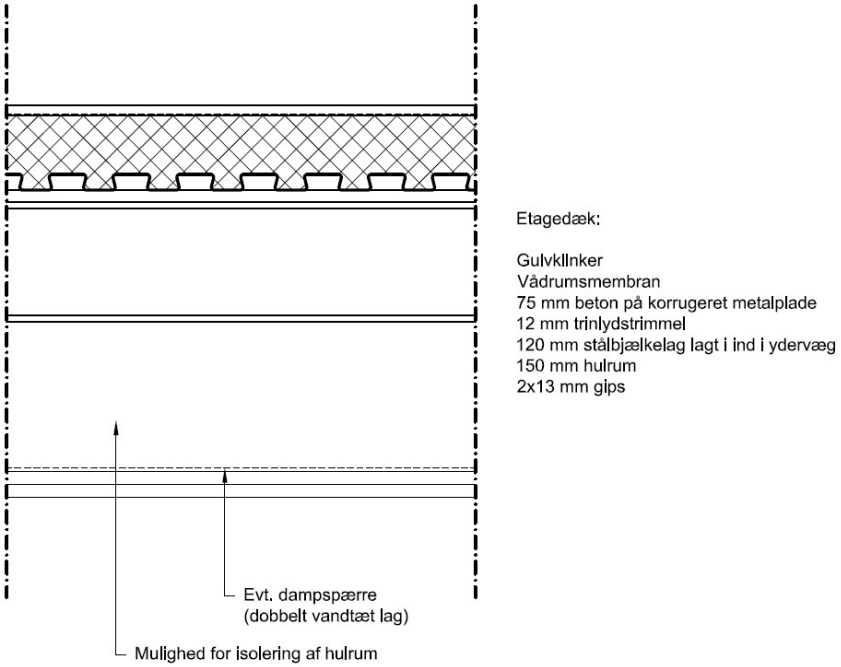
6.3.3 Simulering af fugtophobning i programmet WUFI Pro og WUFI 2D

Simple fugttekniske beregninger kan udføres med Glaser beregninger, som er vejledende og giver en hurtig indikation, om der er fugt og kondens problemer. I forbindelse med ønsket om mere komplicerede beregninger for fugt og kondens er beregningsprogrammet WUFI Pro og WUFI 2D anvendt.

WUFI er et PC program, som siges at være ”state of the art” i forbindelse med beregning af fugt og varmetransport i bygningskomponenter. Programmet udfører dynamiske simuleringer og giver realistiske resultater af de hygrotermiske forhold under faktiske klimaforhold. Ved simulering giver programmet en vurdering af konstruktionsløsningens

egnethed i forbindelse med kondens og mulighederne for udtørring. Programmet giver mulighed for indtastning af påvirkning fra slagregn og medtager i beregningerne fugttransport både som diffusion og kappilarsugning. Forskellen mellem WUFI Pro og WUFI 2D er om simuleringerne udføres i henholdsvis 1D eller 2D.

I første omgang undersøges forholdene for etagedækket mellem 2 badeværelser i WUFI Pro for konstruktion som vist i Figur 23.



Figur 23 – Normalkonstruktion for etagedækket som undersøges i WUFI.

I beregningsprogrammet opbygges konstruktionen af materialer fra programmets materialedatabasen. Hvis enkelte materialer ikke findes i databasen, anvendes andet materiale som tilnærmelsesvis har samme egenskaber. Anvendte materialer er oplistet i Tabel 12. Simuleringerne udføres kun med træbjælkelag, som er mere modtagelig for fugt. Der opstår ikke fugtophobning på stålbjælkerne, men der kan forekomme korrosion.

Tabel 12 – Materialedata fra materialedatabasen til WUFI simuleringer.

Nr.	**Materiale**	**Tykkelse** *m*	**Densitet** *kg/m³*	**Varmeledning** *W/mK*	**Diffusionsmod-stand** -
1	Concrete, C12/15 *(Gulvklinker)*	0,01	2200	1,6	92
2	PE-Membrane 0,2 mm (sd = 87 m) - *(Vådrumsmembran)*	0,001	130	1,65	87000
3	Concrete, C35/45 *(Beton)*	0,075	2220	1,6	248
4	PE-Membrane 0,2 mm (sd = 87 m) *(Korrugeret metalplade)*	0,0005	130	1,65	87000

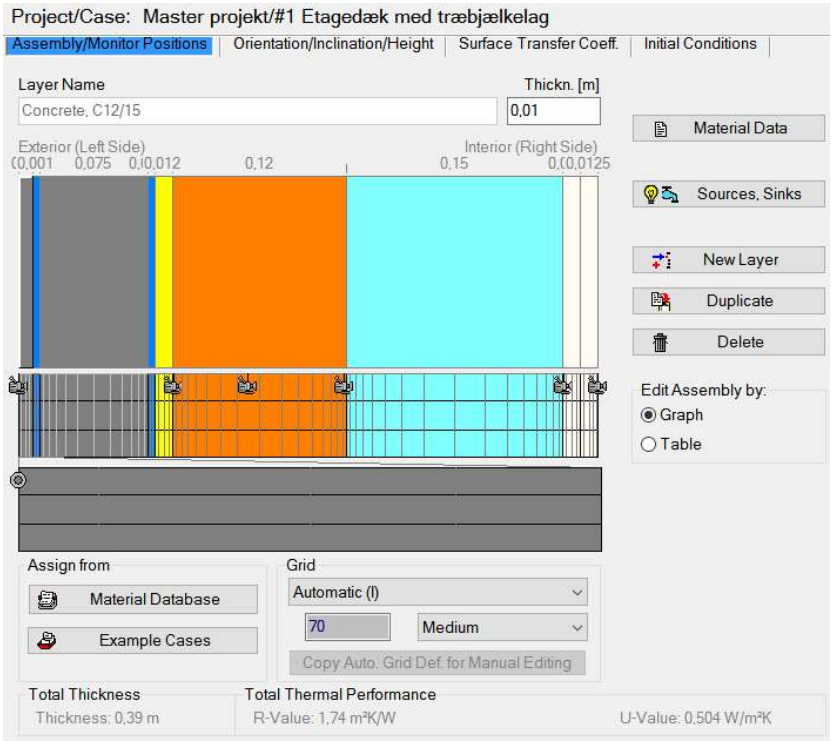
5	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK) *(Trinlydsstrimmel)*	0,012	60	0,04	1,3
6	Softwood *(Træbjælkelag)*	0,12	400	0,09	200
7	Air Layer 150 mm *(Hulrum)*	0,15	1,3	0,94	0,07
8	Gypsum Board *(Gips)*	0,0125	850	0,2	8,3
9	Gypsum Board *(Gips)*	0,0125	850	0,2	8,3

Gulvklinker og korrugeret metalplade er ikke indeholdt i materialedatabasen og erstattet med henholdsvis beton og dampspærre. Alle materialer indbygget i 20 °C med 80% RF.

Simuleringerne udføres også, hvor gipspladerne ikke er lukket tæt ved eksempelvis montage af spots, hvor der i luftlaget indsættes en fugtkilde. Under ”Initial Conditions”.

Dertil undersøges konstruktionen med dobbelt vandtæt lag, hvor dampspærre tilføjes over gipspladerne mellem lag 7 og 8. Det ene forsøg med træbjælkelag 80% RF (vandindhold 60,0 kg/m³) ved 20 °C og andet forsøg med træbjælkelag 50% RF (vandindhold 32,0 kg/m³) ved 20 °C.

Der indsættes målepunkter over gipspladerne, underkant træbjælke, midt træbjælke og overkant træbjælke.

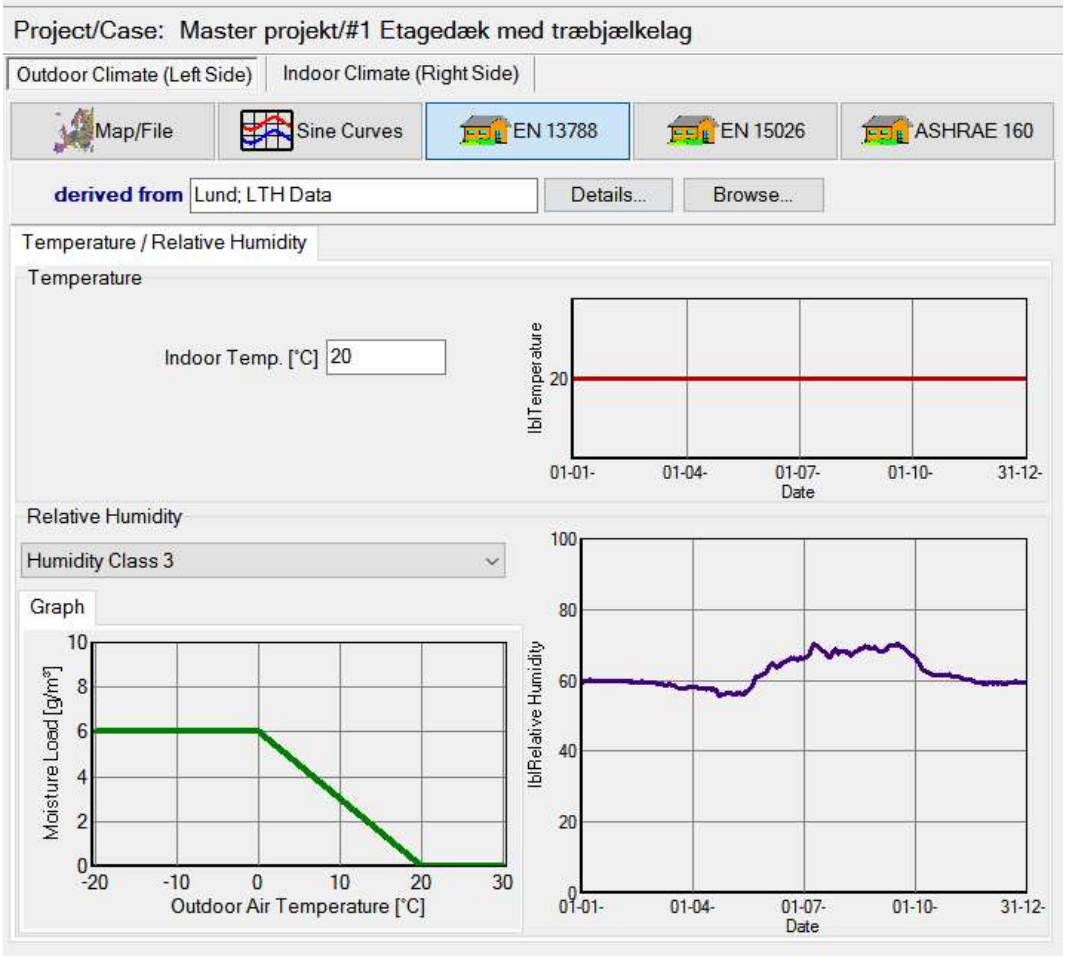


Figur 24 - Målepunkter i WUFI - etagedæk med træbjælkelag.

For overgangskoefficienter vælges standard data for ”Partition wall (inner)”. Alternativt kan værdierne for overgangsisolanser for opadgående varmestrøm fra DS418 (2011) indsættes, men det giver ikke betydelige ændringer.

Simuleringerne foretages i en 3-årig periode fra den 01-10-2016 til 01-10-2019 og giver derved et resultat for fugtophobning.

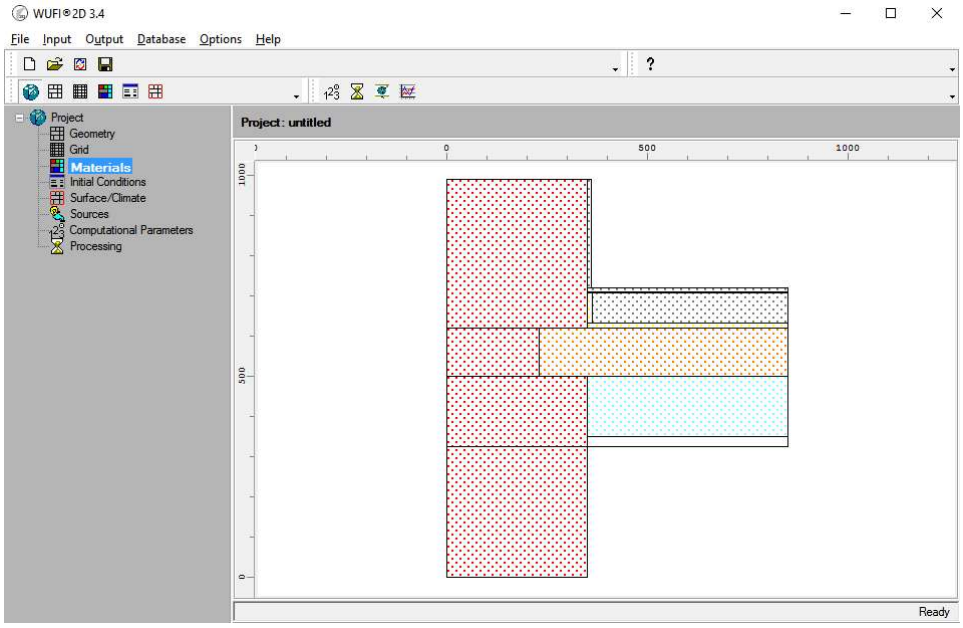
For klimadata vælges Lund LTH Data, som kommer tættest på danske forhold. I begge sider af konstruktionen vælges indvendige forhold ”EN 13788”. På begge sider sættes betingelserne til ”Humidity Class 3” svarende til fugtbelastningsklasse 3.



Figur 25 - De valgte klimadata for begge sider i WUFI simuleringerne.

For WUFI 2D simulering opbygges Figur 22 - stålbjælkelag er igen udskiftet til træbjælkelag. WUFI 2D's automatisk generede ”Grid” ændres til ”Coarse” svarende til grov.

Samme materialedata for bygningsdelene som i Tabel 12 anvendes. Materialedata for muret ydervæg: ”Solid Brick Masonry” med densitet 1900 kg/m³, varmeledningsevne 0,6 W/mK og diffusionsmodstand 10.



Figur 26 - Opbygning af model i WUFI 2D.

For klimadata vælges igen Lund LTH Data både for ude og inde forhold. For indvendige betingelser anvendes ”EN 13788” - ”Humidity Class 3”.

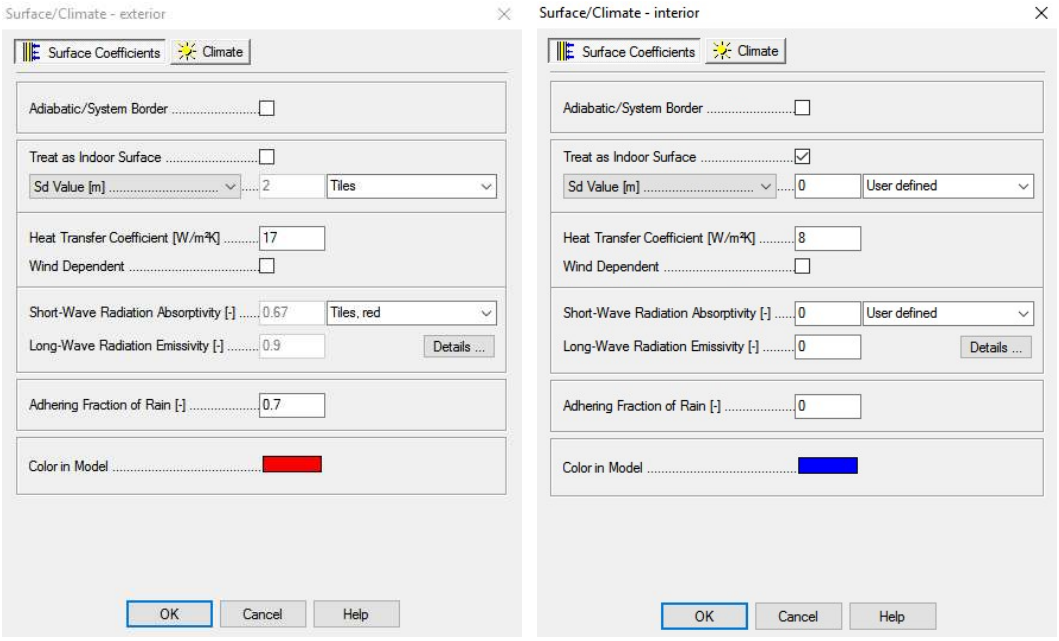
Randbetingelser for udvendige overfladekoefficienter er:

- Diffusionsmodstand, standardværdi for ”Tiles” - Sd-værdi 2 m.
- Overgangsisolans 17 W/m²K, vind afhængig er ikke sat til.
- Kortbølge strålings absorptionskoefficient 0,67 - standardværdier for ”Tiles, red”
  - den del af solstråling som absorberes ved overfladen.
- Langbølge strålings emissivitet 0,9 - standardværdier for ”Tiles, red”
  - emissivitet af overfladen for varmestråling.
- Regnvands absorptionsfaktor 0,7 – i henhold til WUFI 2D vejledning fra Fraunhofter IBP (Zirkelbach, Th., H.M., M., & Ch.).
  - reduktions faktor som tager højde for, regnvand som sprøjter af overfladen og ikke bidrager til kappilar sugning.

Randbetingelser for indvendige overfladekoefficienter er:

- Behandle som indvendig overflade er valgt.
  - WUFI 2D beregner automatisk overfladekoefficienter.
- Overgangsisolans 8 W/m²K.

I overgangen mellem inde og ude er ”Adiabatic/System border” afkrydset. Alle indtastningsdata se Figur 27.



Figur 27 - Data for overfladekoefficienter i WUFI 2D. Til venstre udvendig påvirkninger og til højre indvendige.

Simuleringerne i WUFI 2D foretages igen over en 3-årig periode fra den 01-10-2016 til 01-10-2019. Samme undersøgelser for konstruktionen med dobbelt vandtæt lag, hvor dampspærre tilføjes over gipspladerne undersøges. Det ene forsøg med træbjælkelag 80% RF (vandindhold 60,0 kg/m³) ved 20 °C og andet forsøg med træbjælkelag 50% RF (vandindhold 32,0 kg/m³) ved 20 °C.

7 Resultater

Generelt giver afsnittet resultaterne for undersøgelserne af den relative fugtighed (RF), statikske forhold samt HEAT- og WUFI-simuleringer af den mest kritiske samlingsdetalje ved etablering af badeværelser i bagtrapper. Resultaterne af den relative fugtighed (RF) angiver beboeradfærd og dens betydning i de undersøgte rum, og bruges til analyse af fugtophobning i konstruktioner og kondensanalyser ved kuldebroer. De bærende konstruktioner er undersøgt i forbindelse med opbygning af den konstruktive detalje.

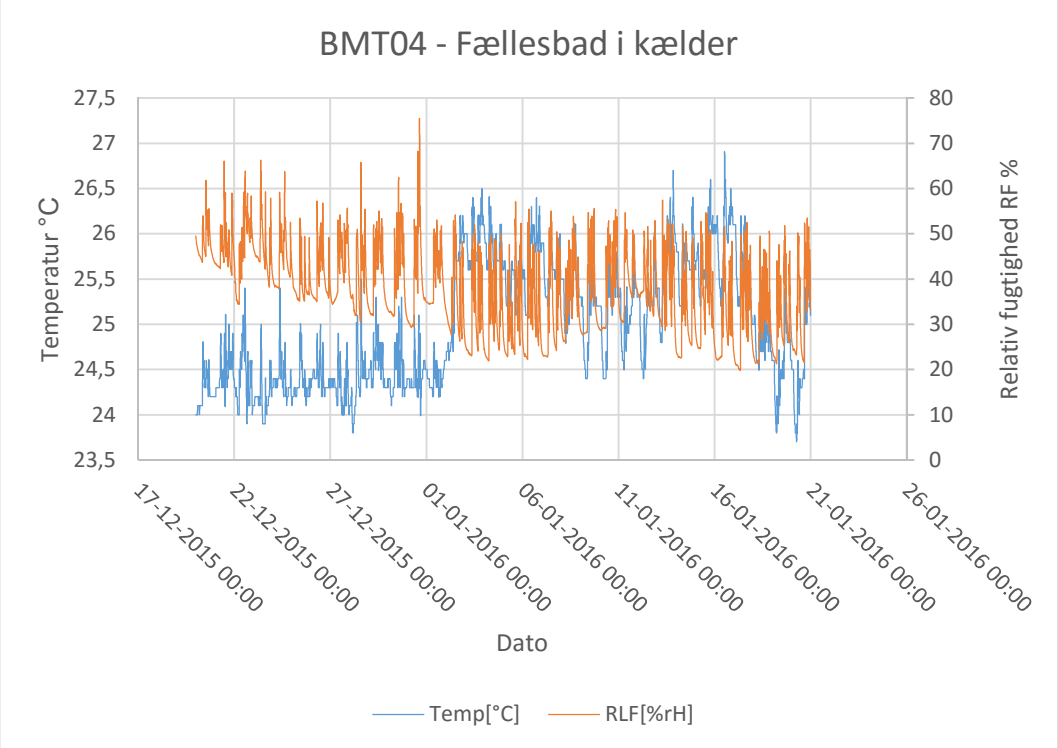
7.1 Data fra målte temperaturforhold og relativ fugtighed (RF)

Afsnittet giver resultaterne for undersøgelserne af den relative fugtighed (RF) i kælderrum med fælles bad, soveværelse med brusekabine, bagtrapper og nyetablerede badeværelser i bagtrapper.

Data fra de opsatte loggere for hele perioden er vedlagt som bilag - slutperioden i graferne er meget afvigende og viser, hvornår loggerne er afhentet og frem til aflæsning.

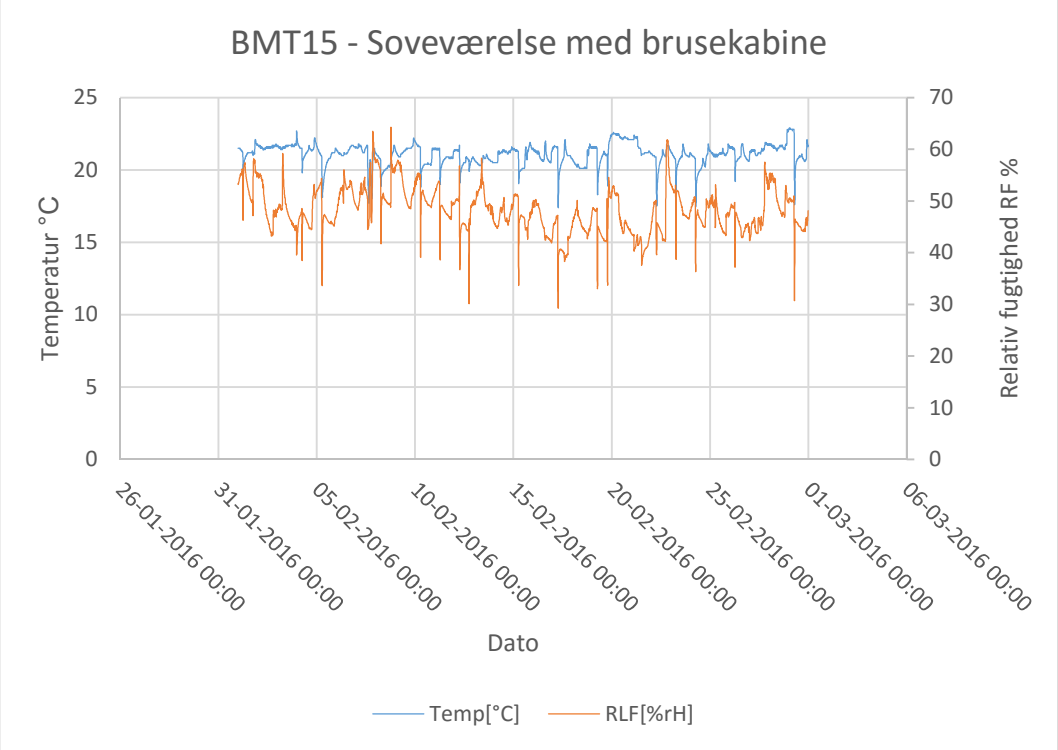
Alle nedenstående grafer er sorteret og viser data for en måned.

BTM04 – Fælles bad i kælder
Måleperiode: 20.12.2015 – 20.01.16



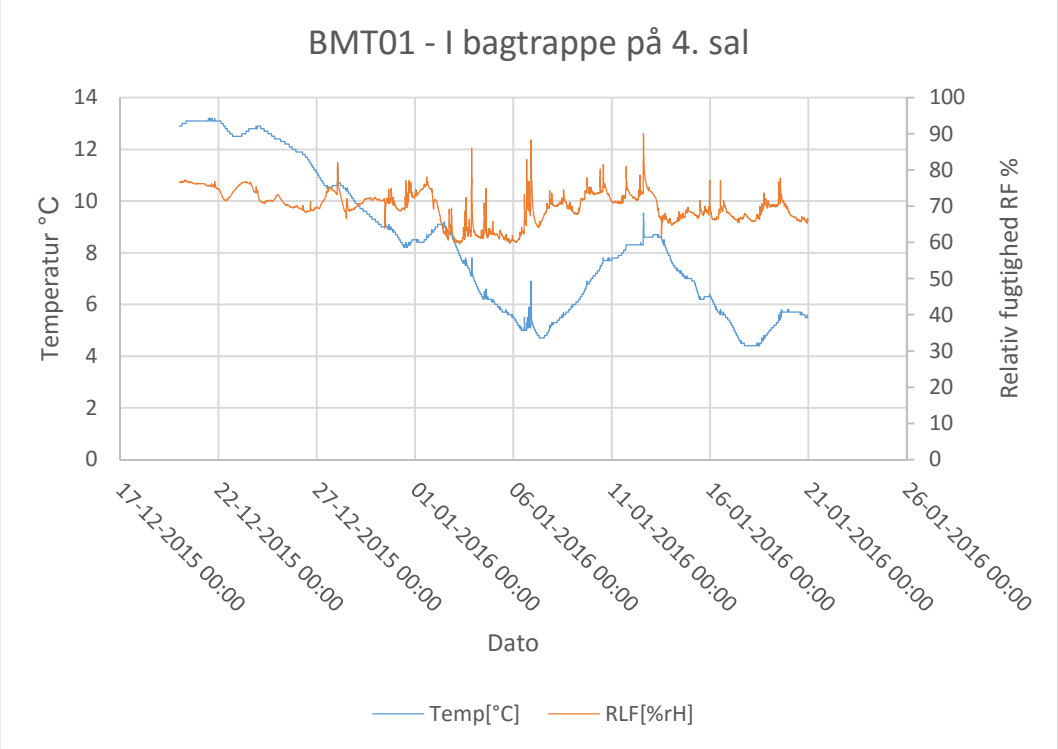
Figur 28 – Fugtlogger BTM04, resultater af logning i fællesbad i kælder.

BTM15 – Soveværelse med brusekabine
Måleperiode: 01.02.2016 – 01.03.16



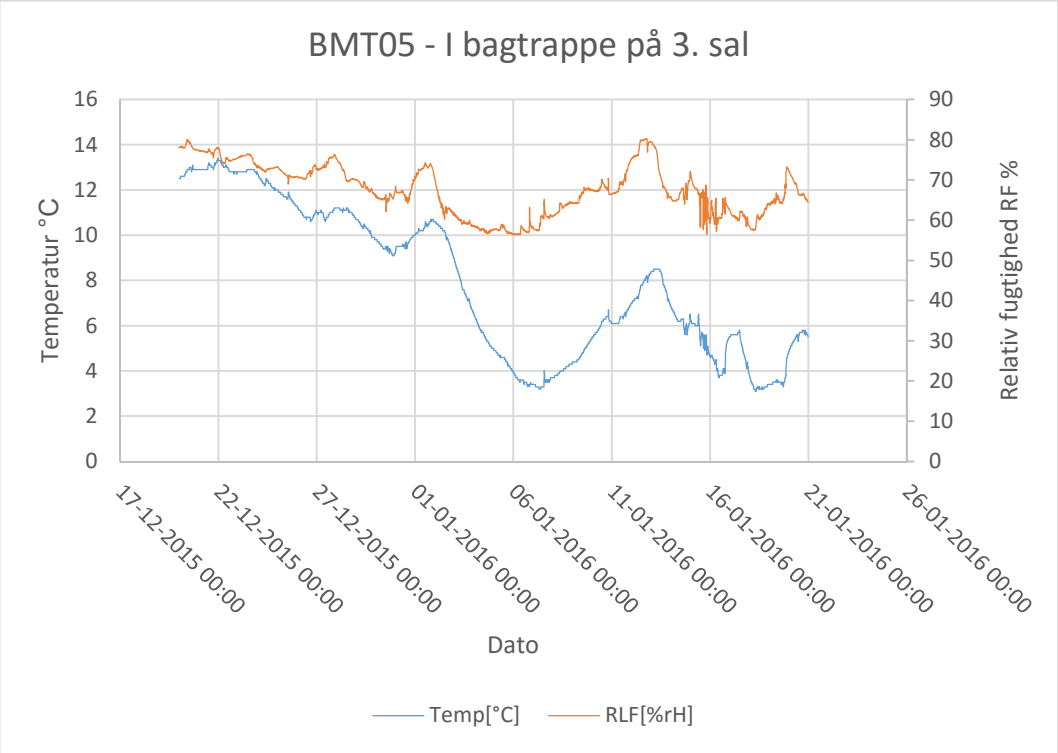
Figur 29 – Fugtlogger BTM15, resultater af logning i soveværelse med brusekabine.

BTM01 – Bagtrappe 4. sal
Måleperiode: 20.12.2015 – 20.01.16



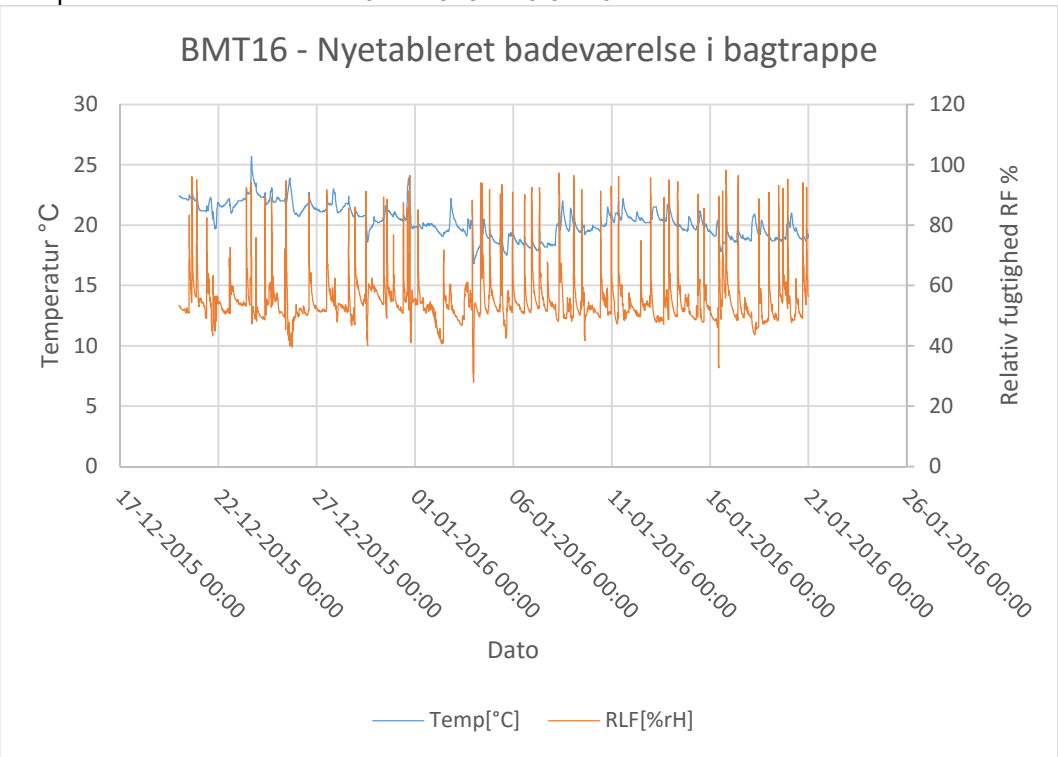
Figur 30 – Fugtlogger BMT01, resultater af logning i bagtrappe 4. sal.

BTM05 – Bagtrappe 3. sal
Måleperiode: 20.12.2015 – 20.01.16



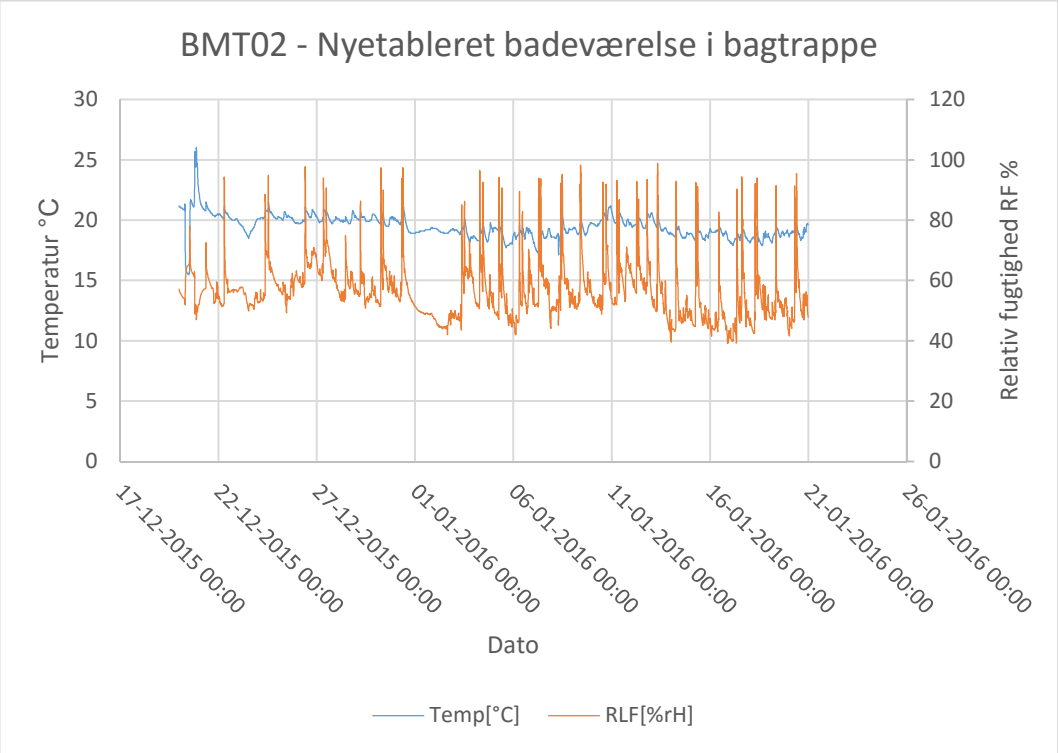
Figur 31 – Fugtlogger BMT05, resultater af logning i bagtrappe 3. sal.

BTM16 – Nyetableret badeværelse i bagtrappe
Måleperiode: 20.12.2015 – 20.01.16



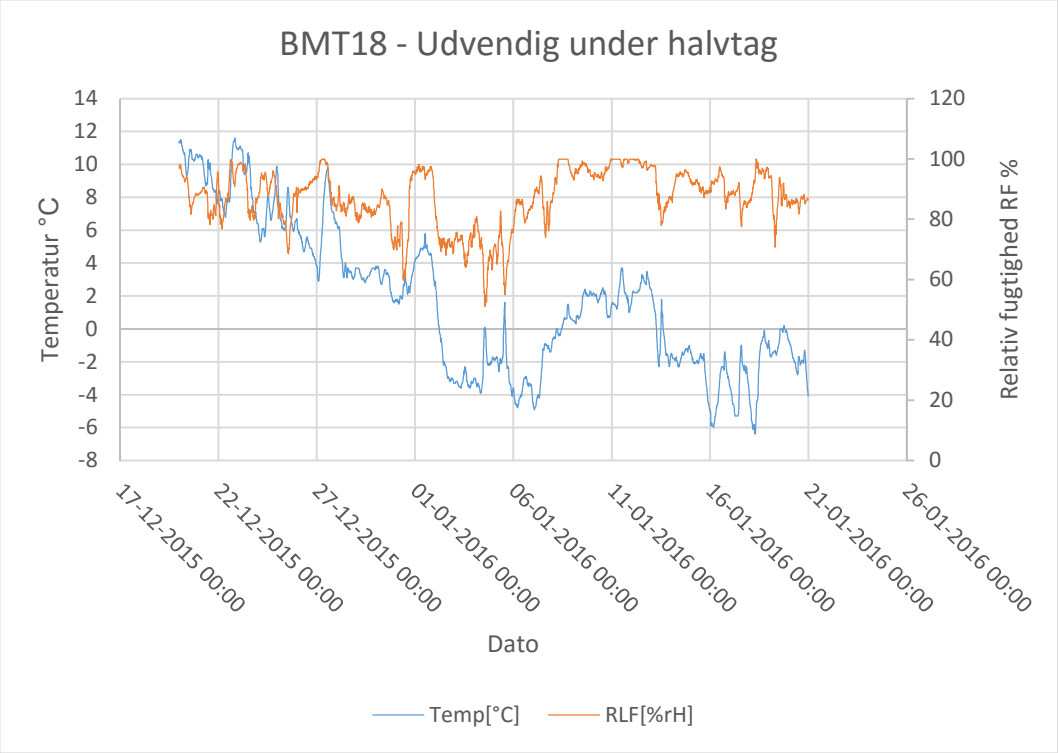
Figur 32 - Fugtlogger BMT16, resultater af logning i nyetableret badeværelse i bagtrappe.

BTM02 – Nyetableret badeværelse i bagtrappe
Måleperiode: 20.12.2015 – 20.01.16



Figur 33 - Fugtlogger BMT02, resultater af logning i nyetableret badeværelse i bagtrappe.

BTM18 – Udvendig under halvtag
Måleperiode: 20.12.2015 – 20.01.16



Figur 34 - Fugtlogger BMT18, resultater af logning udvendig under halvtag.

7.2 Statik

Hele beregningsgrundlaget er vedlagt som bilag i henhold til billagsrapport.

Tabel 13 - Lastopstilling for etagedækket.

Etageadskillelse Lewis	m^3/m^2	kN/m^3	kN/m^2	
Klinker	0,0100	22,00	0,220	
Beton på lewisplader	0,0750	22,00	1,650	
Lewisplader	1,0000	0,06	0,058	
Stålbjælker	0,1408	1,00	0,141	
Forskalling	0,0083	3,50	0,029	
Gips	0,0260	9,00	0,234	
			0,000	
			0,000	
			0,000	
Lette skillevægge	1,0000	0,50	0,500	
			0,000	
Samlet last	0,0000		**2,832**	kN/m^2

Sammenfatning af resultaterne:

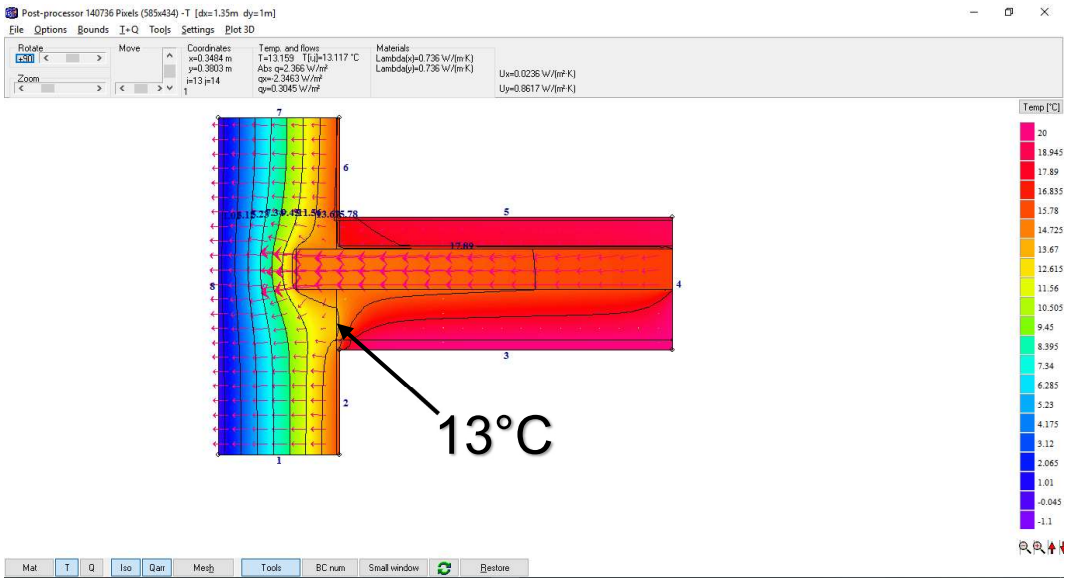
Simpel understøttet bjælke med jævnt fordelt last.

Lastbredde (bjælkeafstand):	0,9 m
Spændevidde (bagtrappebredde):	3,0 m
Vedlagsdybde:	0,1 m
Jævnt fordelt last (egen last):	2,83 kN/m²
Nyttelast:	1,50 kN/m²
Stålkvalitet:	S235
Stålprofil:	IPE 120
Nedbøjning i stålprofilet:	6,16 mm

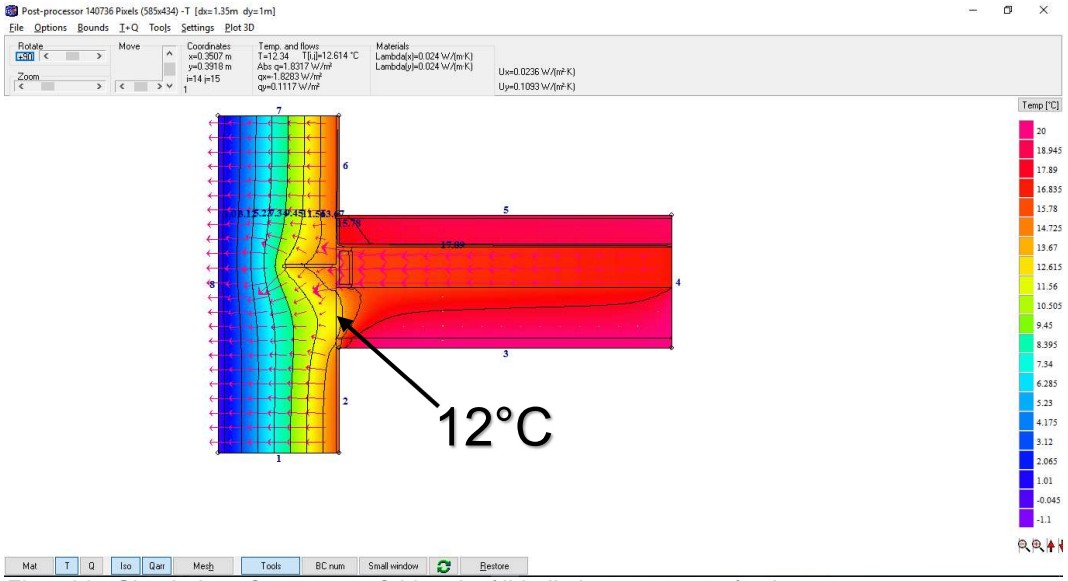
Bjælkens trykstyrke på murværket viser, at den regningsmæssige belastning er 1,07 MPa uden vederlagsplade.

7.3 HEAT simuleringer

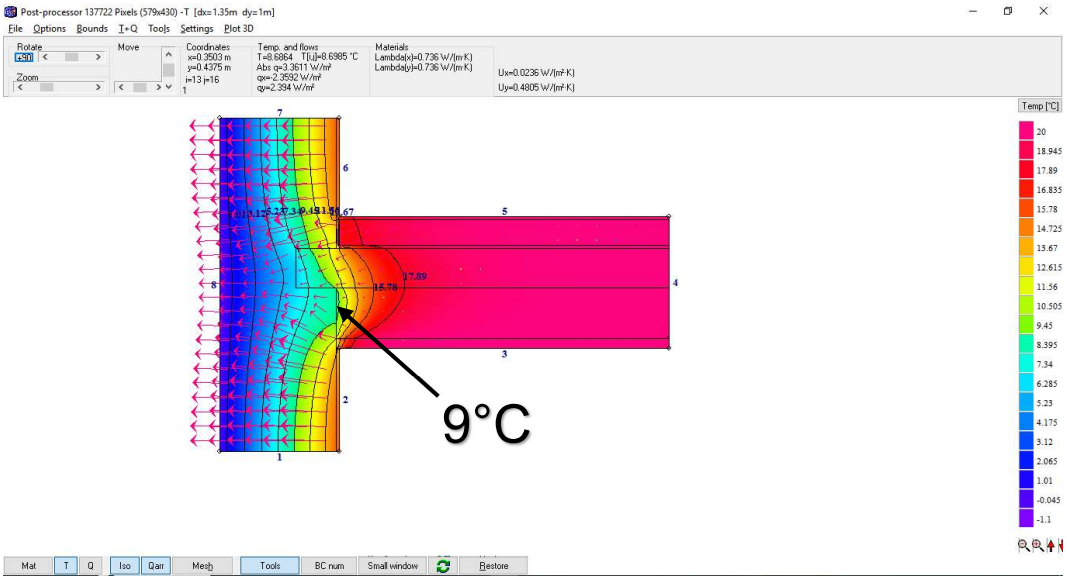
Afsnittet viser HEAT simuleringer for beregning af temperaturfaldet i konstruktionen ved stålbjælkelag lagt i ydervæggen og stålbjælker monteret på ydervæggen med monteringsprofil. Samme beregninger er foretaget for træbjælkelag og samlingsdetaljen mellem bjælkerne.



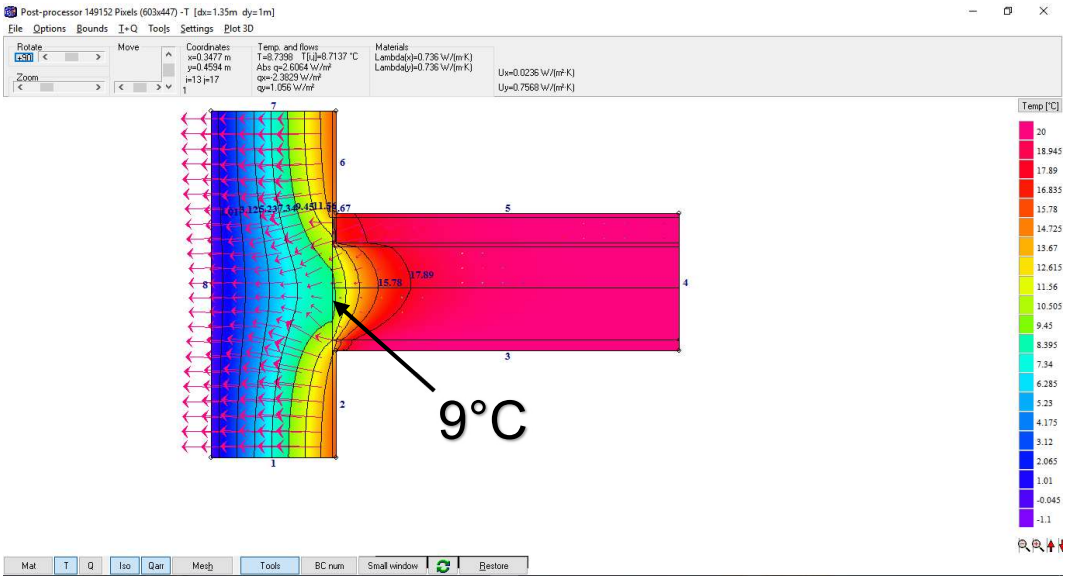
Figur 35 - Simulering af temperaturfald ved stålbjælkelag lagt i ydervæg.



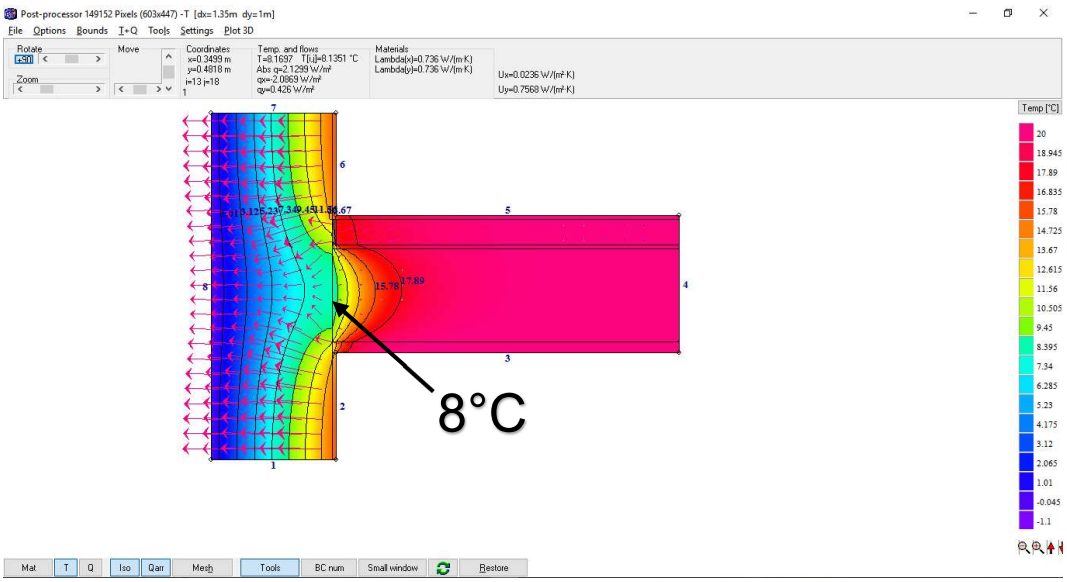
Figur 36 - Simulering af temperaturfald ved stålbjælkelag monteret på ydervæg.



Figur 37 - Simulering af temperaturfald ved træbjælkelag lagt i ydervæg.



Figur 38 - Simulering af temperaturfald ved træbjælkelag monteret på ydervæg.



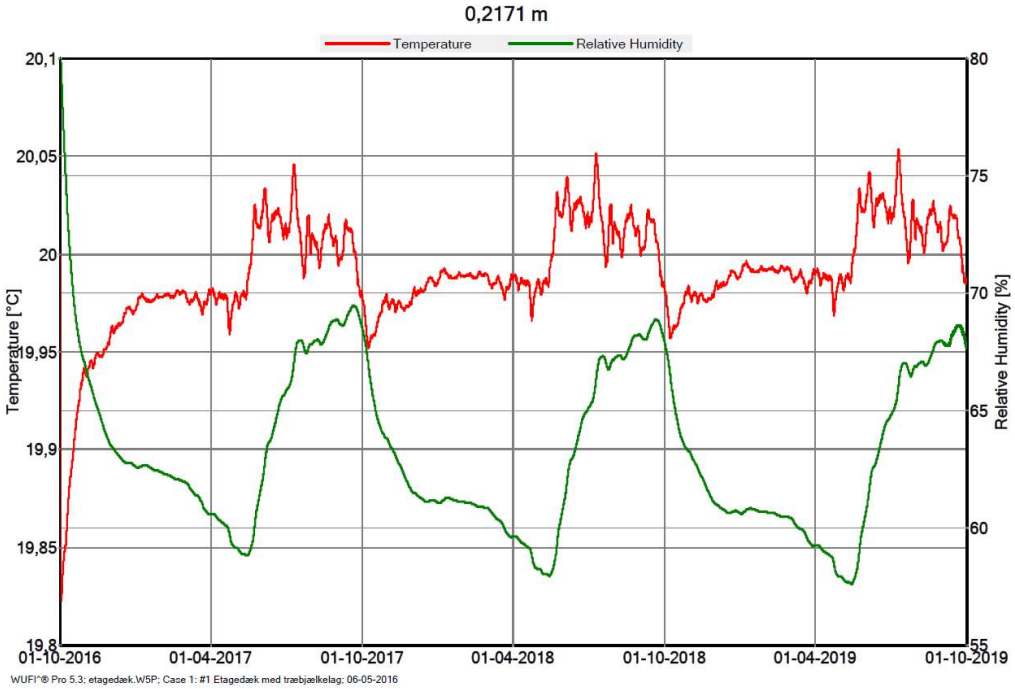
Figur 39 - Simulering af temperaturfald mellem bjælkelag.

7.4 WUFI simuleringer

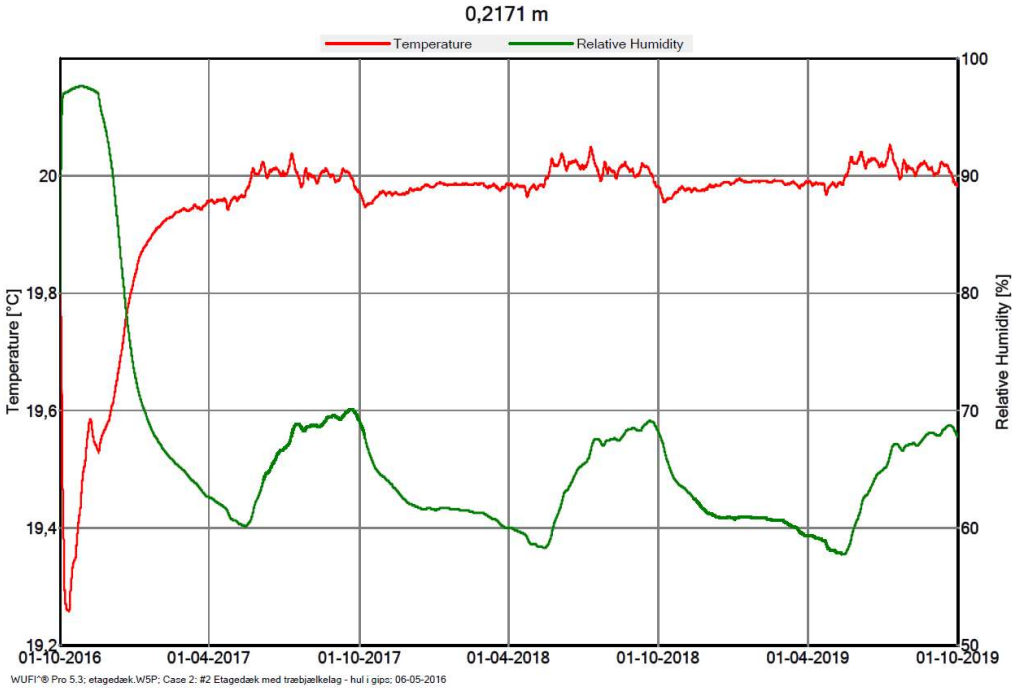
7.4.1 WUFI Pro

Afsnittet viser WUFI 1D simuleringer for beregning af fugt og kondens. Resultaterne viser forholdene for etagedækket mellem 2 badeværelser - konstruktion som vist i Figur 23.

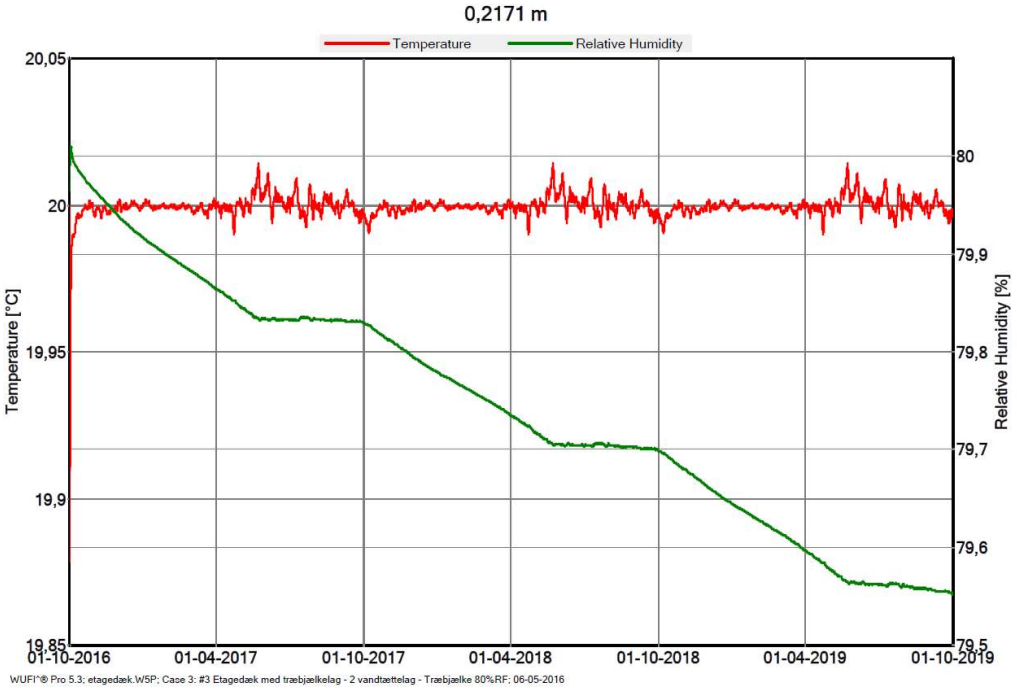
Kun resultater af målepunktet i underkant træbjælkelag er vist. Øvrige målepunkter som over gipspladerne, midt træbjælke og overkant træbjælke se bilagsrapport.



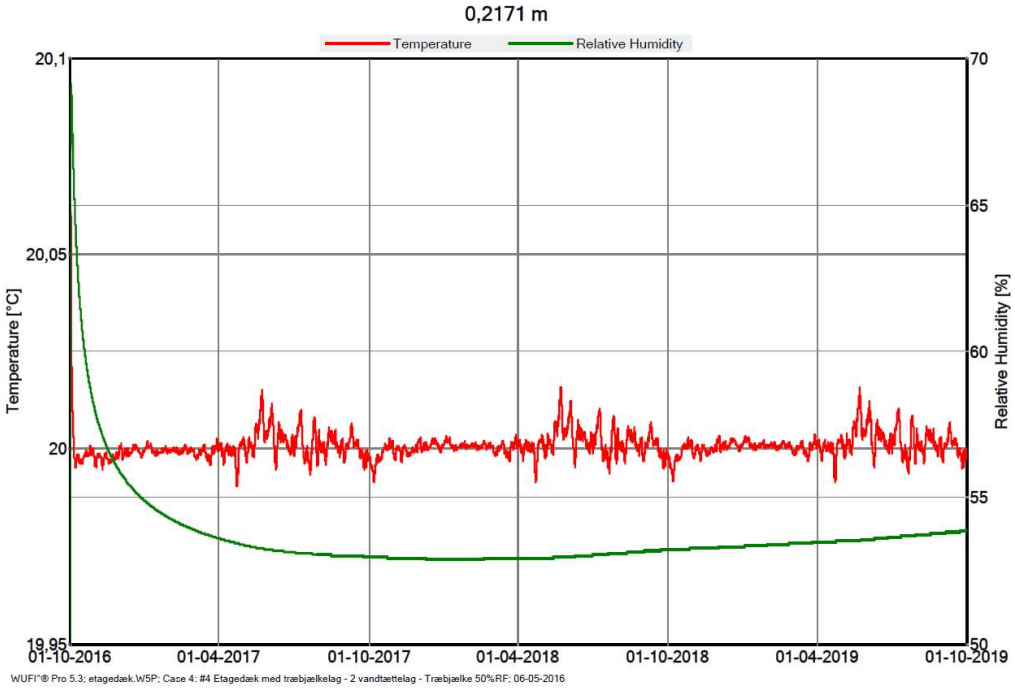
Figur 40 – Simuleringsresultat af forholdene for etagedækket mellem 2 badeværelser.



Figur 41 - Simuleringsresultat af forholdene for etagedækket mellem 2 badeværelser. Luftlaget i hulrummet ændret til 100% RF (vandindhold 47,1 kg/m³) ved 20 °C.



Figur 42 - Simuleringsresultat af forholdene for etagedækket mellem 2 badeværelser ved 2 vandtættelag, træbjælke 80% RF.



Figur 43 - Simuleringsresultat af forholdene for etagedækket mellem 2 badeværelser ved 2 vandtættelag, træbjælke 50% RF.

7.4.1 WUFI 2D

Afsnittet viser WUFI 2D simuleringer for beregning af fugt og kondens. Resultaterne viser forholdene for konstruktion som vist i Figur 22, hvor træbjælkelaget er lagt ind i ydervæggen.

Resultater af målepunkterne se bilagsrapport. Resultaterne i bilagsrapporten er oplistet således:

Simuleringsresultat 001 -	Indvendig side af ydervæg i hulrum i det nedhængte loft.
Simuleringsresultat 002 -	Underkant træbjælke.
Simuleringsresultat 003 -	Bjælkeender i ydervæg.
Simuleringsresultat 004 -	Hele træbjælken.
Simuleringsresultat 005 -	Indvendig side af ydervæg i hulrum i det nedhængte loft, hvor luftlaget i hulrummet ændret til 100% RF (vandindhold 47,1 kg/m³).
Simuleringsresultat 006 -	Underkant træbjælke, hvor luftlaget i hulrummet ændret til 100% RF (vandindhold 47,1 kg/m³).
Simuleringsresultat 007 -	Indvendig side af ydervæg i hulrum i det nedhængte loft, ved 2 vandtættelag, træbjælke 80% RF.

Simuleringsresultat 008 -	Underkant træbjælke, ved 2 vandtættelag, træbjælke 80% RF.
Simuleringsresultat 009 -	Hele træbjælken, ved 2 vandtættelag, træbjælke 80% RF.
Simuleringsresultat 010 -	Indvendig side af ydervæg i hulrum i det nedhængte loft, ved 2 vandtættelag, træbjælke 50% RF.
Simuleringsresultat 011 -	Underkant træbjælke, ved 2 vandtættelag, træbjælke 50% RF.
Simuleringsresultat 012 -	Hele træbjælken, ved 2 vandtættelag, træbjælke 50% RF.

8 Diskussion

8.1 Data for temperaturforhold og relativ fugtighed (RF)

I en måneds tid er der ved logning undersøgt for temperaturforhold og den relative fugtighed (RF) i kælderrum med fælles bad, soveværelse med brusekabine, bagtrapper og nyetablerede badeværelser i bagtrapper. Data fra hver enkel af loggerne gennemgås for fugtniveau, for at kunne konstatere, om der er kritiske niveauer i et eller flere af de undersøgte rum.

8.1.1 Kælderrum med fælles bad

Kælderrummet med fælles bad blev visuelt gennemgået over to omgange. Ved første registrering inden opsætning af fugtloggere, var der i hver af de 4 brusekabiner etableret udsugning. På hele kælderrummets gipsloft kunne der registreres skimmel og på de øvrige overflader var der tydelig kondens. Rummet blev gennemgået i vintermånederne og viste tegn på manglende udsugning. Vinduerne stod konstant åbne eller blev åbnet efter brug af badefaciliteterne. De kolde overflader der blev dannet i forbindelse med de åbne vinduer, og til den høje temperatur og relative fugtighed når badefaciliteterne blev brugt, gav tydelig kondens på overfladerne og god grobund for skimmel.

I mellemtiden og ved opsætning af fugtloggerne var der i kælderrummet etableret supplerende fugtstyret udsugning, og loftet var nyrenoveret. Vinduerne var lukket og radiatoren tændt. Data fra fugtloggerne i måle perioden viser gennemsnits temperatur på 25°C og relativ fugtighed på 37% RF. Der sker store udsving i den relative fugtighed i morgentimerne, frokost og aften, hvor badefaciliteterne bliver brugt. Temperaturen stiger til ca. 26°C, og den relative fugtighed viser ca. 58% RF. Kun nytårsaften den 30.12.2015 kl. 12.00 forekommer der stor udsving i den relative fugtighed på 76% RF i en meget kort periode, hvor beborene højst sandsynligt gør sig klar til fest. Det ser ud til at den supplerende udsugning, der er opsat er yderst effektiv og brugerne af badefaciliteterne i kælderen er blevet informeret om brugen af rummet og opvarmningens vigtighed. Resultaterne viser ingen tegn til bekymring i forbindelse med data fra fugtloggerne.

8.1.2 Soveværelse med brusekabine

Ved visuel gennemgang, af soveværelset med brusekabine, kunne der ikke konstateres fugtmæssige problemområder i rummet. Gennemsnitsdata for perioden viser temperatur på 21°C og relativ fugtighed på 48% RF. Der sker som forventet udsving i den relative fugtighed, når soveværelset bruges, men der kan ikke registreres, hvornår der bades.

Beboren blev bedt om ikke at ændre på sine vaner i forbindelse med bad og udluftning af soverummet. I 2 til 3 valgfrie dage skulle beboeren undgå at udlufte efter bad og holde døren til de øvrige rum i lejligheden lukket. Data fra logning viser, at beboeren udlufter jævnligt i korte perioder, men selv med en detaljeret gennemgangen af logger data, kan der ikke registreres, hvornår udluftning efter bad er undladt. Det kunne tyde på, at rummets størrelse og beboerens adfærd har betydning for den relative fugtighed (RF).

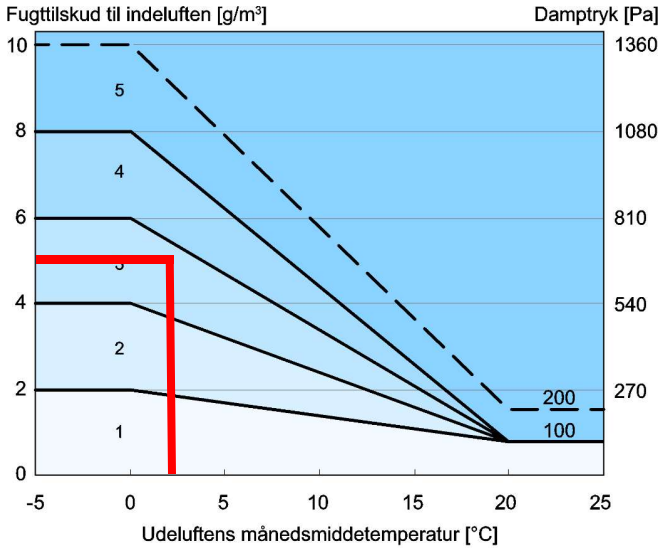
Undersøges logger data fra soveværelset har lejligheden i henhold til beregningerne i Figur 44 og aflæsning i Figur 45 en brugerrelateret fugtniveau svarende til fugtbelastningsklasse 3, svarende til fugtbelastning i boliger med ukendt beboelsestæthed, som er gældende for etageejendomme.

	Inde	Situation 3	
Temperatur	21,1 °C	-1,1 °C	
Max fugt (g/m3)	18,43	4,44	Opslag i SBi 224, tabel 23 s. 242
RF	48,25 %	91 %	
Absolut fugt	8,89	4,04	
Fugttilførsel		4,85	

Inde = mine målinger, gennemsnit 27.01.2016 til 22.03.2016

Situation 3 = opslag for januar måned (TRY) , se Tabel 11

Figur 44 - Beregning af tilført fugt i g/m³ ud fra loggermålinger i soveværelset, BMT15.



Figur 45 - Det forventede fugttilskud eller øget damptryk i fugtbelastningsklasserne 1-5, der afhænger af udeluftens månedsmiddeltemperatur. (Brandt m. fl., 2013)

8.1.3 Bagtrapper

Ved visuel gennemgang af begge bagtrapperum, kunne konstateres, at begge trapper fremstår som nyrenoverede. Begge trapperum har fået nye indvendige døre til lejlighederne samt nye vinduer og døre på facaden.

Bagtrapperne er uden varmekilde og opvarmes ikke som tidligere fra de utætte døre til lejlighederne. Den naturlige ventilation fra de gamle og utætte vinduer er tillige blevet fjernet.

Begge målinger viser i perioder forhøjet relativ fugtighed, som kunne tyde på at enkelte beboere bruger bagtrappen til udluftning, eventuel i forbindelse med madlavning, i stedet for at åbne køkkenvinduet eller bruge emhætten. I et af udslagene på BMT01 ses en relativ fugtighed på næsten 90% RF ved 21,6°C. Resultaterne kan give grund til bekymring i forbindelse med, at den varme fugtige luft rammer de kolde overfalder.

8.1.4 Nyetablerede badeværelser i bagtrapper

De undersøgte, nyetablerede badeværelser i eksisterende bagtrapper er udført efter gældende regler med mekanisk udsugning. Badeværelserne er undersøgt kun for fugttilskuddet i rummet, som stemmer overens med brugerrelateret fugtniveau svarende

til fugtbelastningsklasse 3. Grundet forskelle i de målte indeklimaforhold, er fugttilførelsen i de opstillede modeller for badeværelserne forskellige.

	Inde	Situation 2	Situation 3	
Temperatur	20,3 °C	1,8 °C	-0,6 °C	
Max fugt (g/m3)	17,59	5,48	4,62	Opslag i SBi 224, tabel 23 s. 242
RF	54,70 %	87,26 %	94 %	
Absolut fugt	9,62	4,78	4,34	
Fugttilførsel		4,84	5,28	

Inde = mine målinger, gennemsnit 19.12.2015 til 25.01.2016

Situation 2 = beregnet ud fra mine udemålinger, gennemsnit 19.12.2015 til 25.01.2016

Situation 3 = opslag for januar måned (TRY) , se Tabel 11

Figur 46 - Beregning af tilført fugt i g/m³ ud fra loggermålinger i nyetableret badeværelse i bagtrappe, BMT16.

	Inde	Situation 2	Situation 3	
Temperatur	19,5 °C	1,8 °C	-0,6 °C	
Max fugt (g/m3)	16,79	5,48	4,62	Opslag i SBi 224, tabel 23 s. 242
RF	56,02 %	87,26 %	94 %	
Absolut fugt	9,40	4,78	4,34	
Fugttilførsel		4,62	5,06	

Inde = mine målinger, gennemsnit 19.12.2015 til 25.01.2016

Situation 2 = beregnet ud fra mine udemålinger, gennemsnit 19.12.2015 til 25.01.2016

Situation 3 = opslag for januar måned (TRY) , se Tabel 11

Figur 47 - Beregning af tilført fugt i g/m³ ud fra loggermålinger i nyetableret badeværelse i bagtrappe, BMT02.

8.2 Statik

Bjælkens trykstyrke viser, at den regningsmæssige belastning er 1,07 MPa uden vederlagsplade og opfylder kravene på max 1,28 MPa.

I beregningseksemplet er de valgte parametrene i den tungere ende og vil som regel være mindre og opfylde kravene til den maksimale trykstyrke på murværket. Den maksimale nedbøjning i beregningseksemplet er tillige også på den sikre side i forhold til lasttabellen fra Lewis, da vejledningen fra stålnormen er anvendt med max nedbøjning på < L / 400.

Fastgørelse af monteringsprofil for bjælkelaget til de murede ydervægge med kemiske eller mekaniske ankre kan fordeles jævnt og opfylde kravene til belastningen på murværket. Murværket skal være intakt, og væggens dybde har betydning. Mekaniske ankre kan knuse murstene, så kemiske ankre er at foretrække.

Til hver enkel opgave bør en rådgivende ingeniør eftervise konstruktionerne, og især murværkets tilstand bør undersøges.

8.3 HEAT simuleringer

Beregninger af de termiske forhold giver et godt overblik over, hvor der på konstruktionsdetaljer kan forekomme fugtmæssige problemer. Der er udført termiske beregninger for detaljen på Figur 22, som viser temperaturfaldet i konstruktionen ved bjælker lagt i ydervæggen, bjælker monteret på ydervæggen samt forholdet mellem bjælkerne i etagedækket. Statiske beregninger viser, at stålbjælkelaget kan ligges pr. 900 mm, og der vil være områder, hvor bjælkerne ikke har mulighed for at opvarme murværket.

Beregningerne er udført for bjælkelag af både træ og stål, og der ses tydelige forskelle på temperaturfaldet i ydervæggen. Stålbjælker lagt i ydervæggen, opvarmer den murerede ydervæg i større omfang end træbjælker. Bjælker lagt i ydervæggen, eller monteret på væggen, giver ikke de store udsving i temperaturforholdene. Forholdene mellem bjælkerne i etagedækket giver dog et stort udsving i temperaturfaldet på ydervæggen i forbindelse med at bjælkerne er fjernet.

Det er især området på indvendig side af ydervæggen i det nedhængte loft, der kan give grund til bekymring i forbindelse med kritiske overfladetemperaturer jævnfør Tabel 2 - Kritiske indvendige overfladetemperaturer for fugtbelastningsklasserne 1-4. Beregnet iht. DS/EN ISO 13788:2013 for hhv. kondensrisiko (100 % RF) og skimmelrisiko (75 % RF). Indelufttemperaturen er 20 °C, dog 22 °C i juni og september og 23 °C i juli og august. Udelufttemperaturen er baseret på månedsmiddelværdier fra referenceåret TRY. . For fugtbelastningsklasse 3 er kritiske overfladetemperaturer for henholdsvis kondensrisiko og skimmel, 11,5 °C / 100% RF og 15,9 °C / 75% RF.

I alle beregningseksempler er temperaturforholdet ved indvendig side af ydervæggen i det nedhængte loft under den kritiske overfladetemperatur for fugtbelastningsklasse 3 i januar måned.

Ved opslag undersøges, hvornår overfladetemperaturen bliver kritisk ved de målte fugtniveauer i de to nyetablerede badeværelser for ejendommen, som danner grundlag for denne rapport. Simpel opslag kan foretages i vanddampdiagrammet på Figur 7 eller Figur 8, eller der kan foretages mere nøjagtigt aflæsning i damptrykstabellen i SBi-anvisning 224 Fugt i bygninger (Brandt m. fl., 2013, s. 242).

For opslag i damptrykstabel for måling BMT16 fås:

- Her måltes 20,3 °C og 54,7% RF i gennemsnit over den målte måned.
- %RF x mætningsdamptryk ved 20,3 °C = aktuelt damptryk
  0,547 x 2.383 Pa = 1.304 Pa
- Dermed kan $RF_{kritisk}$ beregnes (75% RF)
  1.304 Pa / 0,75 = 1.739 Pa
- Det kritiske damptryk slås op i damptrykstabellen (1.739 Pa) (Brandt m. fl., 2013). Ved at interpolere i tabellen fås, at den kritiske overfladetemperatur = 15,3 °C.
- Kondens på overfladen slås op i damptrykstabellen (1.304 Pa). Ved at interpolere i tabellen fås, at kondens på overfladen = 10,9 °C

For opslag i damptrykstabel for måling BMT02 fås:

- Her måltes 19,5 °C og 56,0% RF i gennemsnit over den målte måned.

- % RF x mætningsdamptryk = aktuelt damptryk
  0,56 x 2.268 Pa = 1.270 Pa

- Dermed kan $RF_{kritisk}$ beregnes (75% RF)
  1.270 Pa / 0,75 = 1.693 Pa

- Det kritiske damptryk slås op i damptrykstabellen (1.693 Pa). Ved at interpolere i tabellen fås, at den kritiske overfladetemperatur = 14,9 °C.

- Kondens på overfladen slås op i damptrykstabellen (1.270 Pa). Ved at interpolere i tabellen fås, at kondens på overfladen = 10,5 °C

Opslag for de kritiske overfladetemperaturer for de målte fugtniveauer viser, at temperaturen fra alle HEAT beregninger er under den kritiske overfladetemperatur og i enkelte tilfælde, med kondens på overfladen. Alle målinger er foretaget tæt på brusekabinen og ikke i det nedhængte loft. Det kan ikke forventes, at den relative fugtighed i hulrummet i det nedhægte loft er ligeså høj som i selve badeværelset.

Mulighederne for at forholdene kan forekomme, er hvis loftet perforeres, ved eksempelvis montage af spots. I den forbindelse kan en damspærre monteret over gipspladerne overvejes. Montage af damspærre over gipsloftet gør, at der forekommer dobbeltdampspærre i etagedæk konstruktionen, som strider mod alle gældende anvisninger.

Mulighederne for efterisolering af bør overvejes. Indvendig efterisolering er en dårlig løsning i vådrum, men tager også meget af pladsarealet. Udvendig efterisolering ville være en god løsning og fjerne kritiske overfladetemperaturer på den indvendige side.

8.4 WUFI simuleringer

Uhensigtsmæssige valg af konstruktioner og materialer – fx membraner - eller forkert udførelse indebærer en stor risiko for efterfølgende fugt og skimmel, især i de fugtbelastede rum, som badeværelser.

Opfugtning i bygningens konstruktioner kan skyldes utætheder i bygningens klimaskærm, opstigende grundfugt, utætheder i dampspærren eller kuldebroer. Høj luftfugtighed kan skyldes manglende opvarmning, ventilation og udluftning.

Detaljerede fugttekniske beregninger for etagedækkets opbygning under forskellige forhold, er i første omgang simuleret i WUFI Pro og senere i WUFI 2D, hvor etagedækkets sammenbygning med ydervæggen er undersøgt.

For alle undersøgelser er betingelserne, fugtbelastningsklasse 3 i begge badeværelser, som er i henhold til fugtlogger målinger for nyetableret badeværelser i bagtrapper, se fugtlogger målinger i bilagsrapport.

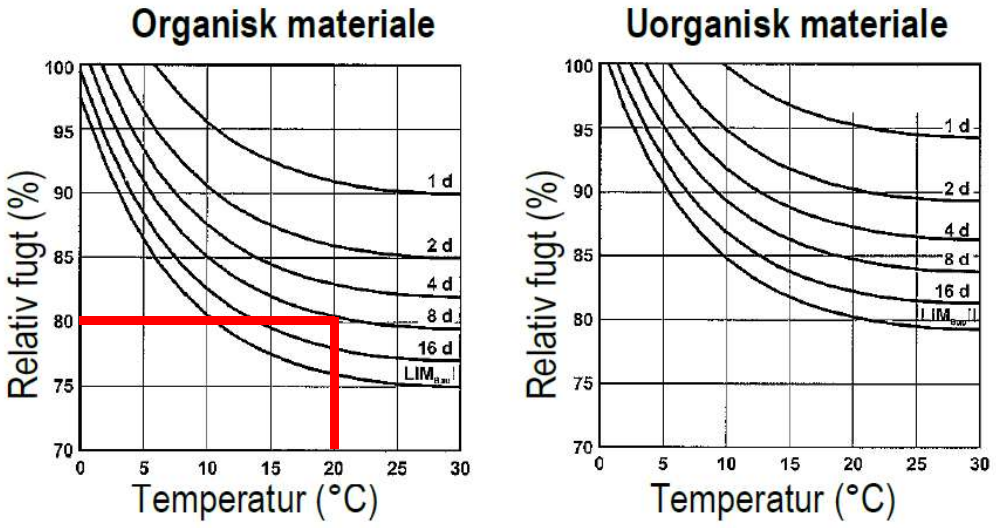
8.4.1 WUFI Pro 1D simulering

Resultater for intakt gipsloft, som er forhold der i dag bygges efter, viser resultater under 70% RF og ingen fugtophobning i træbjælkelaget. Ved gennemgang af alle målepunkter i konstruktionen, viser resultaterne, at ingen målinger kommer over den kritiske relativ fugtighed på 75% RF.

Samme undersøgelser udføres med perforeret gipsloft, som kan forekomme i forbindelse med montering af spots i gipspladeloftet. Formålet er at undersøge forholdene, hvis der fra badeværelset kommer fugtig luft i etagedækkets hulrum. I konstruktionen er indbygget luftlag med forhøjet relativ fugtighed og viser resultater med forhøjet relativ fugtighed i start perioden. Efter ca. tre måneder er den relative fugtighed i samme niveau, som ved resultaterne for loft som ikke er perforeret. Fugttilføjelsen i hulrummet er ikke konstant, men var det tilfældet kunne der være mulighed for, at træbjælken kommer over den kritiske relativ fugtighed på 75% med mulighed for fugtophobning i træbjælkelaget.

I den forbindelse undersøges samme konstruktion med dampspærre over gipsloftet. Konstruktionen betragtes udført med dobbeltdampspærre ved at vådrumsmembranen på betonpladen også er damptæt. Simulerings resultater med indbygning af træbjælker med 80% RF viser i starten faldende relativ fugtighed på trækonstruktionerne, men den treårige simuleringsperiode viser resultater, som aldrig kommer under 79% RF. Udtørring af træbjælkerne sker meget langsomt, og der er risiko for skimmelvækst. Konstruktionen er også undersøgt med indbygning af træbjælker med 50% RF, hvor alle simuleringer viser som forventet, gode resultater for relative fugtighed på trækonstruktionerne. Dette kræver dog nøje tilsyn under udførelse og kontrol af alle indbygnings materialer og deres relative fugtighed.

Undersøges trækonstruktionen med 80% RF ved 20 °C, i forhold til sammenhængen mellem skimmelvækst ud fra temperatur, RF, materiale og tid, som er vist i Figur 48, kan ses at der på konstruktionen dannes skimmelsporer efter kun 8 dage. Den nederste kurve i hvert diagram (lim) beskriver de laveste fugtforhold, hvorved der stadig kan opstå skimmel. For alle resultater ses at der er større risiko for skimmel på organiske overfalder. Figuren giver et godt indblik over hvornår der er risiko for at der dannes skimmelsporer.



Figur 48 - Sammenhæng mellem skimmelsvampevækst, temperatur og relativ fugtighed på forskellige materialer. Figuren viser tilnærmede værdier over hvor mange dage det mindst tager før, der dannes skimmelsporer, når fugtighed og temperatur holdes konstant (Møller, 2013).

8.4.2 WUFI 2D

Samme fremgangsmåde og undersøgelser, som for WUFI 1D, er udført i 2D ved sammenbygningen af bagtrappens eksisterende ydervæg og det nye etagedæk.

Termiske undersøgelser af temperaturfaldet i ydervæggen i HEAT, viste at området ved indvendig side af ydervæggen i hulrummet i det nedhængte loft skal undersøges nærmere.

Resultater for intakt gipsloft viser stigende relativ fugtighed i de 3 år, der simuleres i. Ser man isoleret kun på det første år, viser resultatet høj relativ fugtighed, som derefter falder til niveauer under den kritiske relative fugtighed. Samme resultater opnås for hele træbjælken og underkant træbjælke. Især bjælkeenden i ydervæggen viser store udsving med kritisk stigende fugtophobning, som kan have betydning for de øvrige resultater for stigende fugt i konstruktionerne efter et år.

Generelt i alle simuleringsresultater er der efter et år en voldsom stigning i den relative fugtighed. Den stigende fugtophobning var overraskende, men vil med sandsynlighed se anderledes ud hvis bjælkelaget var af stål, hvor der ikke forekommer fugtophobning, som ved træbjælkelaget. Fugtforholdene ville have været betydelige lavere ligesom simuleringsresultaterne for det første år med træbjælkelag.

Simuleringsresultaterne for WUFI 2D for etagedækkets træbjælker kan sammenlignes med resultater for WUFI 1D, hvor man tilnærmelsesvis kan sige, at resultaterne er ens, men kun set over et år. Indvendig side af ydervæg i det nedhængte loft, er som træbjælkerne yderst påvirket af dobbelt damspærre og den relative fugtighed, som materialerne indbygges med.

Dobbelt damspærre kan virke, hvis udførelsen følges nøje, men den kan også være en ulempe hvis svigt i vådrumsmembranen forekommer, og vandet ligger i hullerummet uden det kan opdages fra etagen neden under.

9 Konklusion

I forbindelse med de manglende badefaciliteter i hver enkel bolig er der i flere ældre etageejendomme etableret fælles badefaciliteter i kælderrum. Ved visuel gennemgang af baderum i kælder med manglende udsugning og opvarmning kan ses skader som skimmel på loft og vægge samt råd i træbjælkelaget over baderummet. Ved målinger af temperaturforhold og relativ fugtighed kan det konstateres, at der med tilstrækkelig udsugning og opvarmning af kælderrummet ikke er grund til bekymring.

De manglende badefaciliteter har også betydet, at mange har opsat brusekabine i soveværelset. Målinger af temperaturforhold og relativ fugtighed viser stigning i den relative fugtighed, når soveværelset bruges, men der kan ikke registreres, hvornår der bades. Det kan konstateres, at rummets størrelse og beboerens adfærd har betydning for den relative fugtighed, men også at flere soveværelser i forskellige størrelser med indbygget brusekabine bør undersøges.

Målinger af temperaturforhold og relativ fugtighed i eksisterende bagtrapper viser tegn på, at bagtrappen bruges til udluftning af boligen i stedet for at vinduet åbnes. Den varme fugtige luft ledes ud til bagtrappens kolde overflader, og der er risiko for fugtskader.

Fugtforholdene i ældre bagtrapper er generelt ikke et problem, men en påtænkt renovering skal ske med forsigtighed. Ved udskiftning af de indvendige døre til lejlighederne samt vinduer og døre på facaden, betyder det at bagtrapperne ikke opvarmes som tidligere fra de utætte døre til lejlighederne, og den naturlige ventilation fra de gamle og utætte vinduer bliver fjernet. Bagtrappen kommer til at fremstå kold og uventileret, hvilket giver risiko for fugtskader.

I nyetablerede badeværelser i bagtrapper viser målinger af temperaturforhold og relativfugtighed, at fugtbelastningen fra indeluften stemmer overens med den forventede fugtbelastningsklasse, der er for boliger med ukendt beboelsestæthed – svarende til fugtbelastningsklasse 3.

Hvis fortrappen sprinkles og trætrappen brandsikres er mulighederne for etablering af badeværelser i bagtrapper i ældre etageejendomme mange. Bagtrappens størrelse har stor betydning for indretning af badeværelset, men en tilbygning med badeværelser til bagtrappen kan også være en mulighed.

Mest anvendte metoder til etablering af indskudt dæk for nye badeværelser i bagtrapper er stålkonstruktioner udlagt som bjælkelag med støbt betonpladegulv på forskallingsplader. Bjælkelaget kan også være af træbjælker, men skal brandbeskyttes.

De statiske beregninger viser, at bjælkernes trykstyrke opfylder kravene i forhold til murværkets maksimale bæreevne. Bjælkernes tæthed har betydning for de termiske forhold og temperaturfaldet i konstruktionen - hvor henholdsvis træ- eller stålbjælker opvarmer murværket. På indvendig side af ydervæggen i det nedhængte loft viser termiske beregninger kritisk overfladetemperaturer, både ved valg af træ- eller stålbjælker, men værst er det mellem bjælkerne, hvor temperaturfaldet er størst, og der kan forekomme skader, hvis området kommer i kontakt med varm fugtig luft.

Der er for samme detalje, udført hygrotermiske beregninger for de bygningsfysiske problemområder, som viser at, hvis loftet i etagedækket er intakt, er der ikke risiko for fugtskader. Perforeres loftet, er der mulighed for opfugtning i konstruktioner og risiko for kondens på indvendig side af ydervæggen i det nedhængte loft.

I den forbindelse er der udført beregninger for etagedæk etableret med dobbelt dampspærre med vådrumsmembran i gulv og suppleret med dampspærre i loft. Simulering af fugtforholdene i konstruktionen viser, at udtørring af træbjælkerne sker meget langsomt, og der er risiko for skimmelvækst.

Konstruktionen er også undersøgt med indbygning af træbjælker med 50% RF, hvor alle simuleringer viser gode resultater på konstruktionernes relative fugtighed. Dette kræver nøje tilsyn under udførelse og kontrol af alle indbygnings materialer og deres relative fugtighed.

Det må konstateres, at konstruktionen med dobbelt dampspærre kan virke, hvis udførelsen følges nøje, men anbefales ikke udført. For mange faktorer er afgørende for, at det kan lykkes, og løsningen kan også være en ulempe, hvis svigt i vådrumsmembranen forekommer, og vandet ligger i hulrummet uden det opdages. Der forekommer ingen bygningsfysiske udfordringer, så længe loftet er intakt, men perforeres loftet, bør der tætnes, så der ikke er mulighed for varmt fugtig luft i det nedhægte loft.

9.1 Perspektivering

I forbindelse med målinger af temperaturforhold og relativ fugtighed i fællesbaderum i kælder, soveværelset med brusekabine, eksisterende bagtrapper og nyetablerede badeværelser i bagtrapper bør flere rum af samme type undersøges, så man kan få et mere generelt resultat af fugttilførslen i de forskellige rum. Eksempelvis kan rummets størrelse, ventilation / udluftning have en væsentlig betydning på fugtforholdende. Især soveværelser med brusekabine skal undersøges nærmere.

I de hygrotermisk beregninger for perforeret loft er luftlaget indtastet med forhøjet relativ fugtighed og viser resultater med forhøjet relativ fugtighed, men kun i start perioden. Beregningerne kan udbygges med periodevis fugttilførsel i luftlaget svarende til, når der bades.

Alle beregninger med perforeret loft viser grund til bekymring, hvis der tilføres varm fugtig luft i hulrummet i det nedhængte loft. Beregningseksemplet kan udbygges med virkelige målinger af fugttilførslen i det nedhængte loft, eksempelvis i baderum, hvor der er monteret spots og loftet er perforeret. Undersøgelsen skal igen ske i flere badeværelser, men også hvor ventilationsforholdene er forskellige.

Etagedæk med dobbeltdampspærre viser gode resultater, hvis træbjælker indbygges med 50% RF. Beregningerne kan eventuel udbygges, hvis et mere nøjagtigt resultat ønskes for, hvornår de kritiske niveauer indtræffer, ved at den den relative fugtighed på træbjælkerne øges gradvist.

Kildehenvisning

Brandt m. fl., E. (2013). *SBI-anvisning 224. Fugt i bygninger.* Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

Brandt, E. (2005). *Erfaringsblad (99) 05 12 31 Skimmel i bygninger - Vækstbetingelser og forebyggelse.* Byg-Erfa Byggeteknisk Erfaringsformidling.

Brandt, E. (2014). *Erfaringsblad (42) 14 10 06. Fliser på vægge og gulv - underlag, fliseklæber og fliser.* Byg-Erfa Byggeteknisk Erfaringsformidling.

Brandt, E., & Morelli, M. (2015). *SBI-anvisning 252. Vådrum.* Statens Byggeforskningsinstitut.

Brandt, E., Buhl, L., & Fritzel, P. (2010). *Erfaringsblad (50) 10 11 30. Vådrum – gulvafløb og afløbsledninger.* Byg-Erfa Byggeteknisk Erfaringsformidling.

Dansk Standard. (2007). *Eurocode 1: Last på bærende konstruktioner.* Dansk Standard.

Dansk Standard. (2011). *DS 418 Beregning af byningers varmetab.* Dansk Standard.

EFTEX ApS. (2016). *Lewis svalehaleplader*. Hentet fra EFTEX ApS: http://www.eftex.dk/uploads/lewis/download/5-Lewis-brochure-4-konstruktive-egenskaber.pdf

Haagensen, H., Jensen, N., Jensen, S., Johansen, D., Johansen, L., Miglioranza, S. G., . . . Rønby Pedersen, L. (1987). *Ældre Etageejendomme, Renovering og byggeskik.* Boligstyrelsen.

Isover Saint-Gobain. (2016). *Isover Saint-Gobain, Fugt*. Hentet fra Isover Saint-Gobain: http://www.isover.dk/fugt

Knudsen, R. (2012). *Brandsikring af byggeri.* Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut.

Københavns Kommune. (2006). Opsætning og renovering af altaner på eksisterende bygninger. Københavns Kommune. Teknik- og Miljøforvaltningen. Center for Byggeri, Konstruktion.

Københavns Kommune. (2016). Hentet fra Bygningsfornyelse: http://www.kk.dk/byfornyelse

Københvans Kommune, Bygningsfornyelse. (2014). *Bæredygtig Byfornyelse, Skal jeres ejendom have et løft?* Hentet fra Københavns Kommune, Publikationsdatabase: http://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/index.asp?mode=detalje&id=%20933

Munch-Andersen, J. (2008). *SBI-anvisning 221. Efterisolering af etageboligbyggeri.* Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

Møller, E. (2013). *Materialenedbrydning - Mekanismer og forebyggelse.* SBi - Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

Sebastian, W. (2005). *Erfaringsblad (42) 05 04 11. Misfarvning af fuger i vådrum - årsag, forbyggelse og udbedring.* Byg-Erfa Byggeteknisk Erfaringsformidling.

Skibstrup Eriksen, S., Hommel-Hansen, O., Woetmann Nielsen, C., Ovesen, K., & Østergaard, J. (1991). *SBI-meddelelse 87. Nye vådrum i gamle boliger. Erfaringer fra en undersøgelse af 44 nyere vådrum.* Statens Byggeforskningsinstitut.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København. (2016). *Kondensdannelse i vægkonstruktioner*. Hentet fra Statens Byggeforskningsinstitut: http://www.sbi.dk/byggeteknik/bygningsfysik/fugt/fugtforhold-i-trefacader-med-letbeton-bagvegge/kondensdannelse-i-vegkonstruktioner

Trafik- og Byggestyrelsen. (2016). *Bygningsreglement 2015.* Trafik- og Byggestyrelsen. Hentet fra Bygningsreglement.dk: http://bygningsreglementet.dk/

Zirkelbach, D., Th., S., H.M., K., M., K., & Ch., B. (u.d.). *WUFI 2D Calculation Example Step by Step.* Fraunhofter Institut Bauphysik.

Bilagsrapport

Bilag 1 - Tegninger af de undersøgte detaljer

Bilag 2 - Fugtlogger simuleringer

Bilag 3 - Statiske beregninger for bjælkelaget

Bilag 4 - WUFI Pro simulering - Etagedæk med træbjælkelag

WUFI Pro simulering - Etagedæk med træbjælkelag - hul i gips

WUFI Pro simulering - Etagedæk med træbjælkelag - 2 vandtætte lag - Træbjælke RF 80%

WUFI Pro simulering - Etagedæk med træbjælkelag - 2 vandtætte lag - Træbjælke RF 50%

Bilag 5 - WUFI 2D simuleringer:

Simuleringsresultat 001 - Indvendig sidde af ydervæg i hulrum i det nedhængte loft.

Simuleringsresultat 002 - Underkant træbjælke.

Simuleringsresultat 003 - Bjælkeender i ydervæg.

Simuleringsresultat 004 - Hele træbjælken.

Simuleringsresultat 005 - Indvendig sidde af ydervæg i hulrum i det nedhængte loft, hvor luftlaget i hulrummet ændret til 100% RF (vandindhold 47,1 kg/m³).

Simuleringsresultat 006 - Underkant træbjælke, hvor luftlaget i hulrummet ændret til 100% RF (vandindhold 47,1 kg/m³).

Simuleringsresultat 007 - Indvendig sidde af ydervæg i hulrum i det nedhængte loft, ved 2 vandtættelag, træbjælke 80% RF.

Simuleringsresultat 008 - Underkant træbjælke, ved 2 vandtættelag, træbjælke 80% RF.

Simuleringsresultat 009 - Hele træbjælken, ved 2 vandtættelag, træbjælke 80% RF

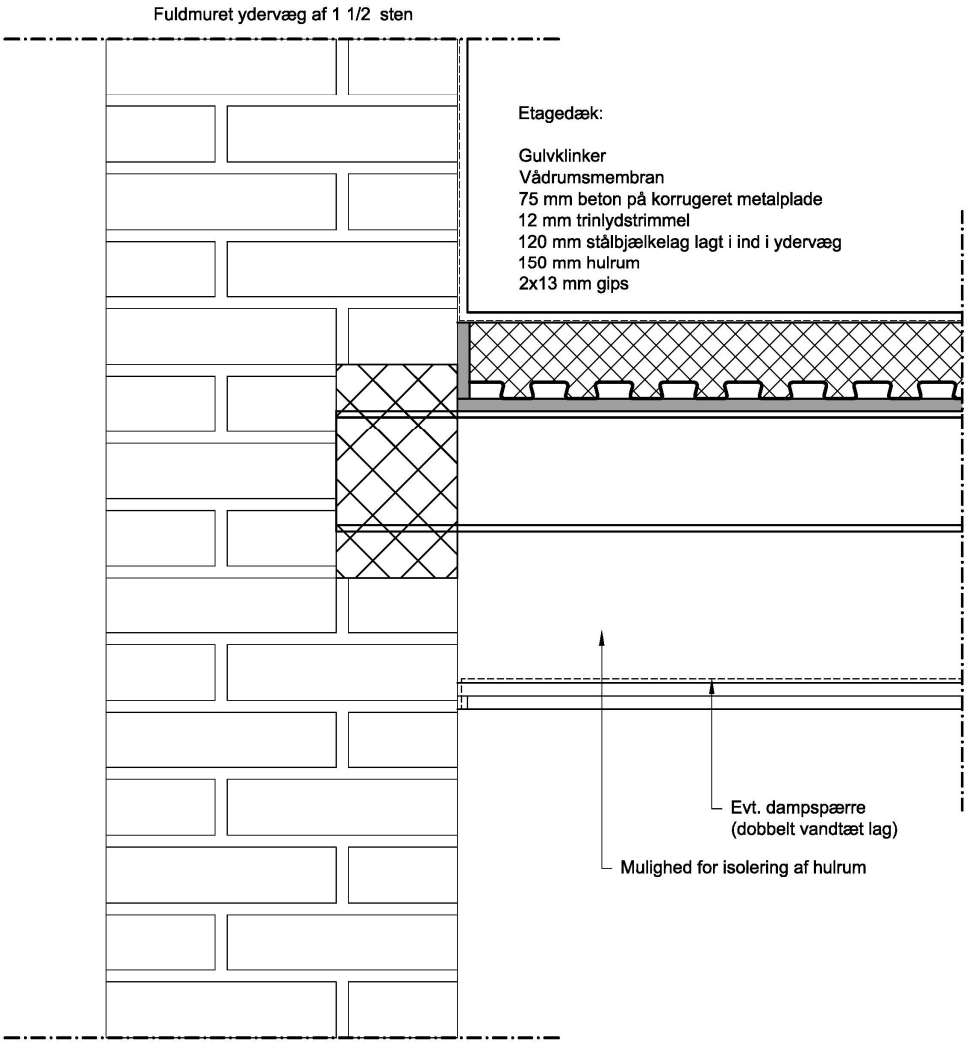
.

Simuleringsresultat 010 - Indvendig sidde af ydervæg i hulrum i det nedhængte loft, ved 2 vandtættelag, træbjælke 50% RF.

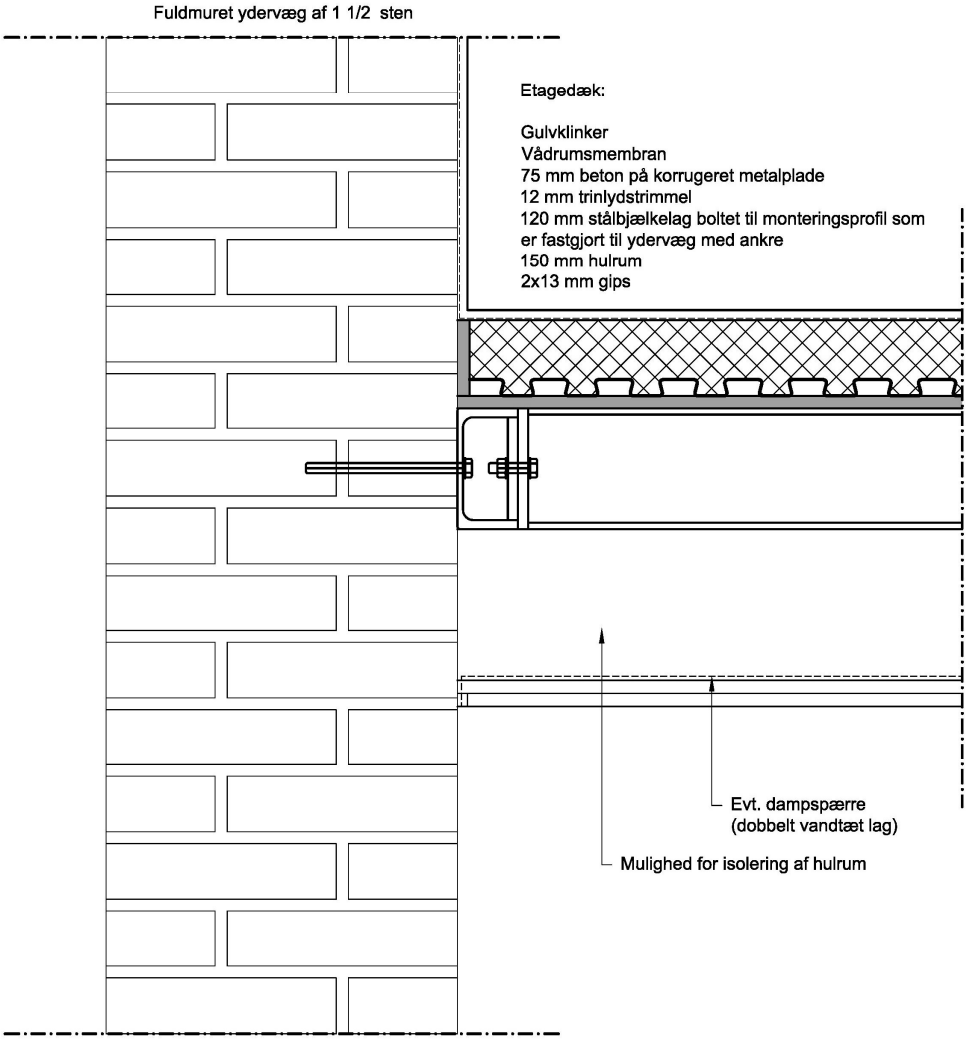
Simuleringsresultat 011 - Underkant træbjælke, ved 2 vandtættelag, træbjælke 50% RF.

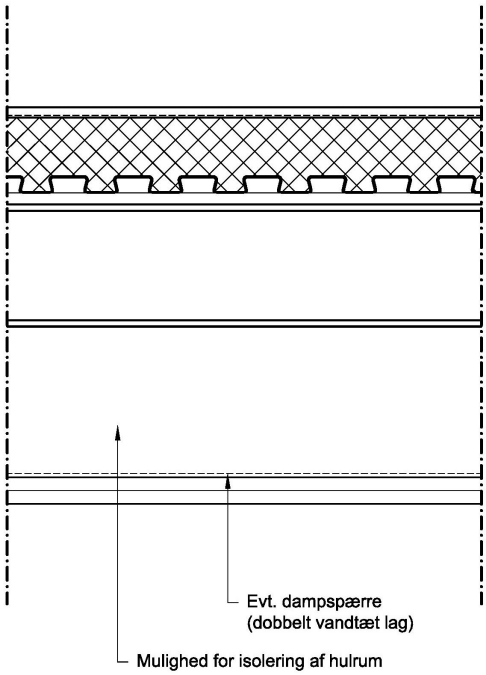
Simuleringsresultat 012 - Hele træbjælken, ved 2 vandtættelag, træbjælke 50% RF.

Bilag 1 - Tegninger af de undersøgte detaljer



Bilag 1 - fortsat



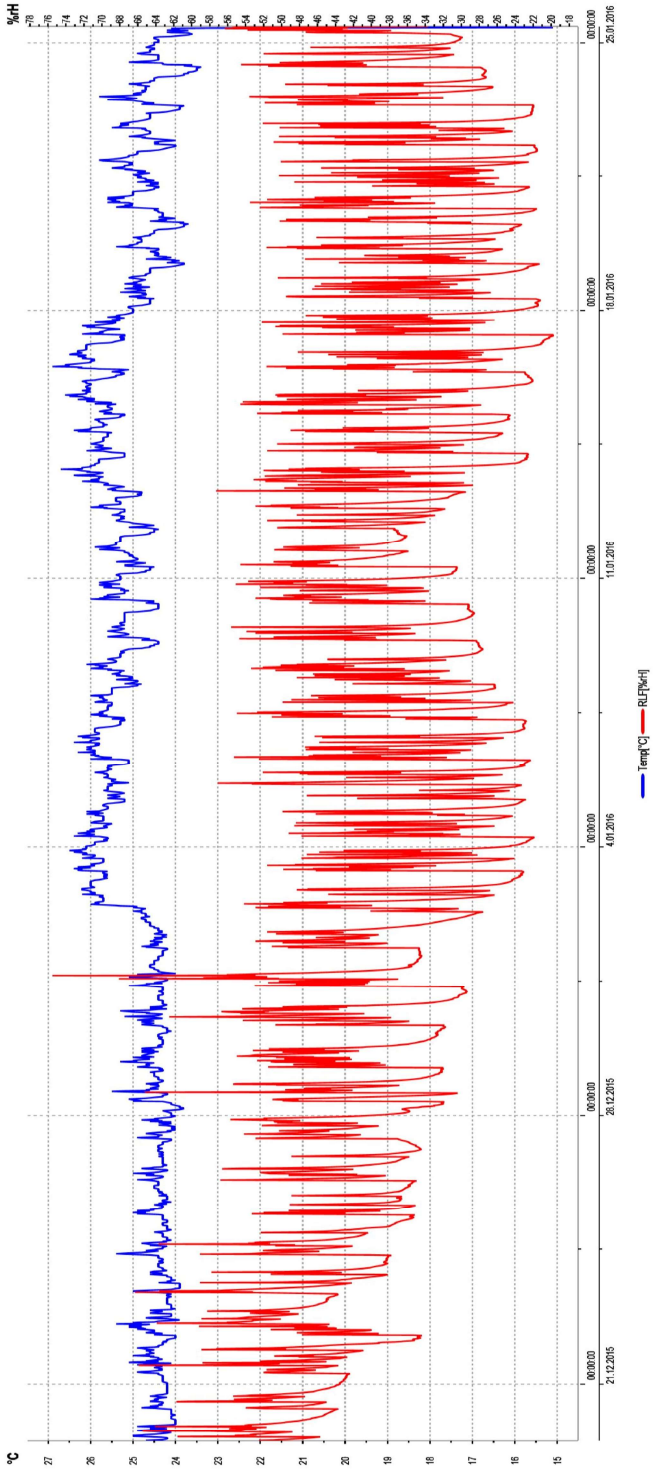


Etagedæk:

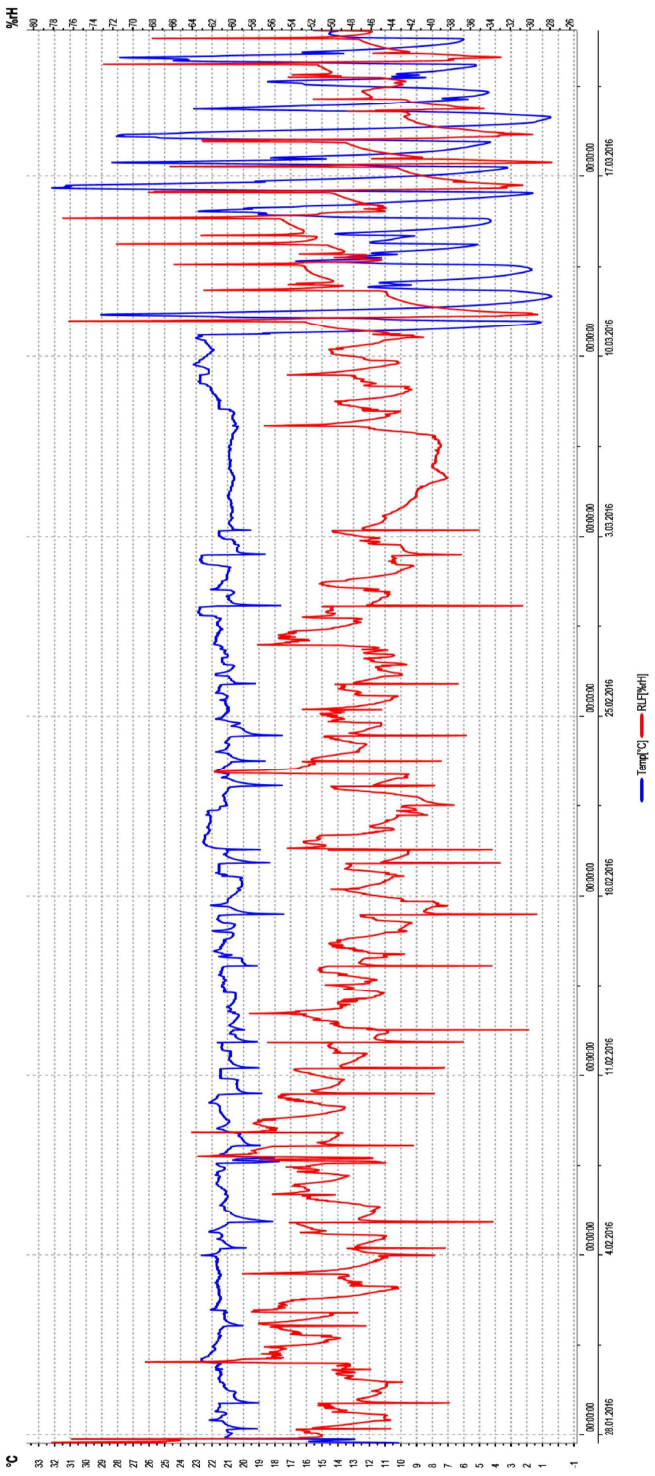
Gulvklinker
Vådrumsmembran
75 mm beton på korrugeret metalplade
12 mm trinlydstrimmel
120 mm stålbjælkelag lagt i ind i ydervæg
150 mm hulrum
2x13 mm gips

Bilag 2 - Fugtlogger simuleringer

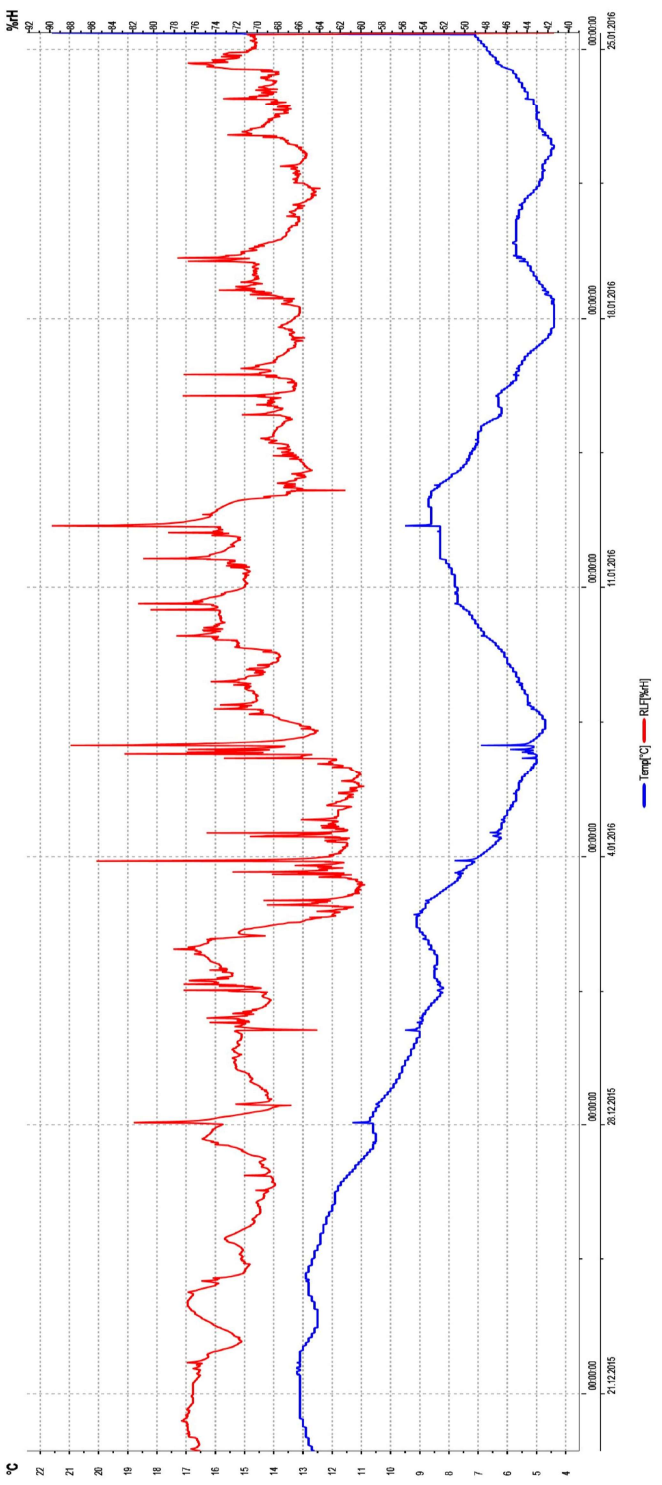
Apparatnavn: BMT04		10-04-2016 14:57:49			Side 1/1
		Minimum	Maksimum	Middelværdi	Grænseværdier
Starttid: 19-12-2015 12:00:00					
Sluttid: 25-01-2016 10:15:00	Temp [°C]	15,10	26,90	24,917	-20,0/70,0
Målekanaler: 2	RLF [%rH]	19,80	75,50	36,837	0,0/100,0
Måleværdier: 3546					
36683473					



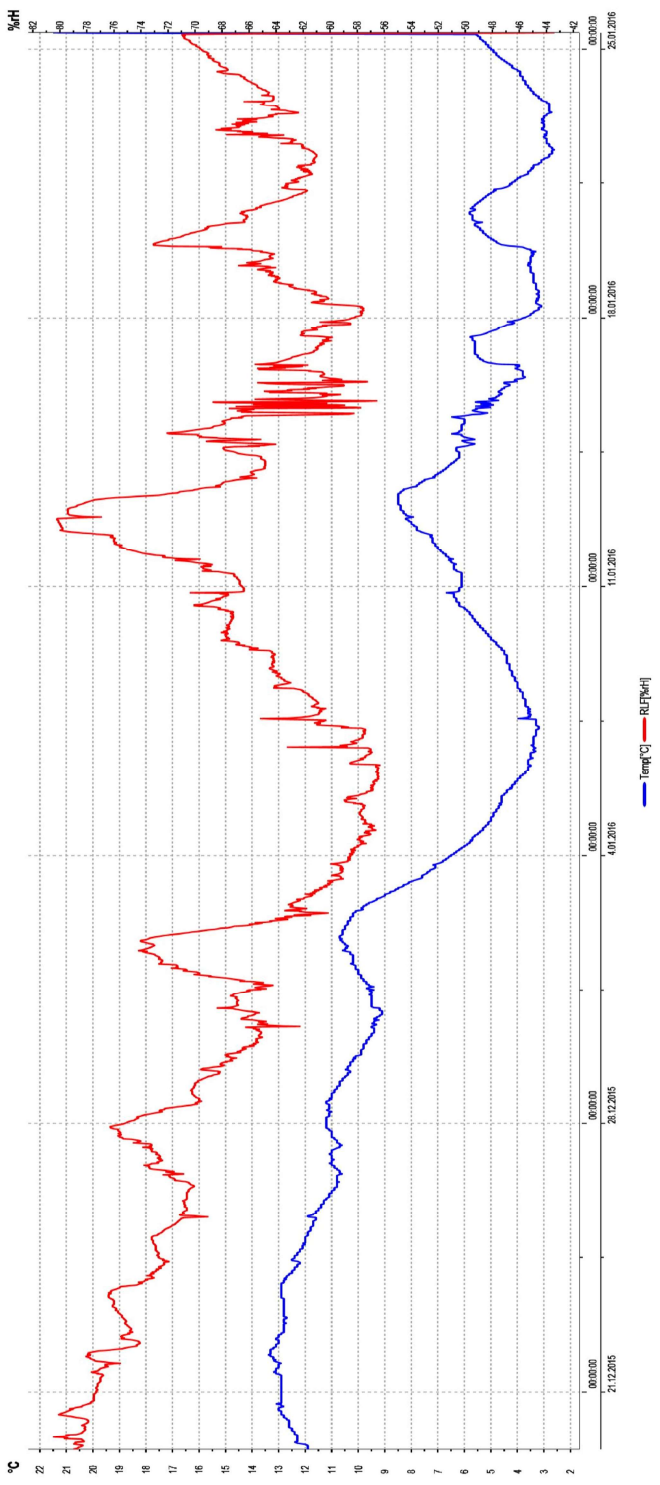
Apparatnavn: BMT 15		10-04-2016 14:59:35			Side 1/1
		Minimum	Maksimum	Middelværdi	Grænseværdier
Starttid: 27-01-2016 16:00:00					
Sluttid: 22-03-2016 16:30:00	Temp [°C]	0,40	32,20	18,906	-20,0/70,0
Målekanaler: 2	RLF [%rH]	27,80	78,20	47,251	0,0/100,0
Måleværdier: 5283					
36670264					
174 H Datalogger					



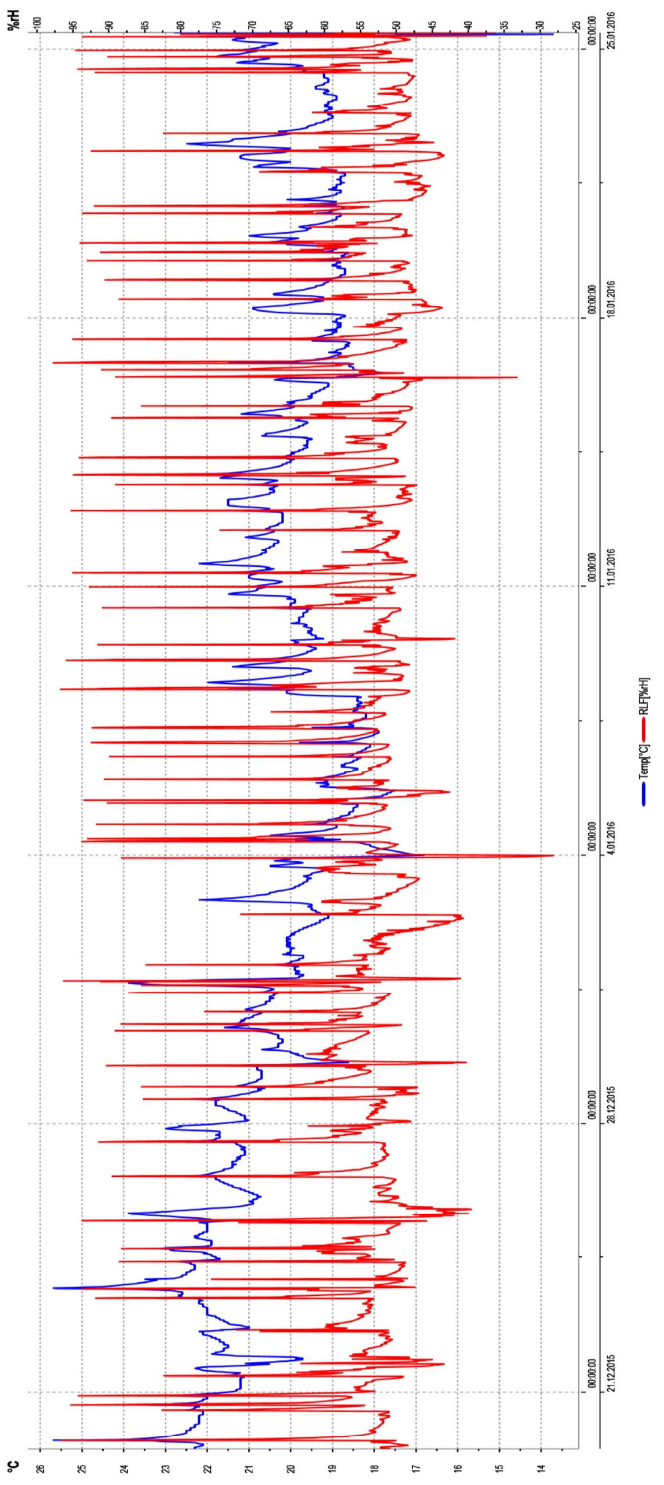
Apparatnavn: BMT01	10-04-2016 15:01:11				Side	1/1
Starttid: 19-12-2015 12:00:00		Minimum	Maksimum	Middelværdi	Grænseværdier	
Sluttid: 25-01-2016 10:15:00	Temp [°C]	4,40	21,60	8,078	-20,0/70,0	
Målekanaler: 2	RLF [%rH]	41,40	89,80	69,801	0,0/100,0	
Målеværdier: 3546						
36683420						



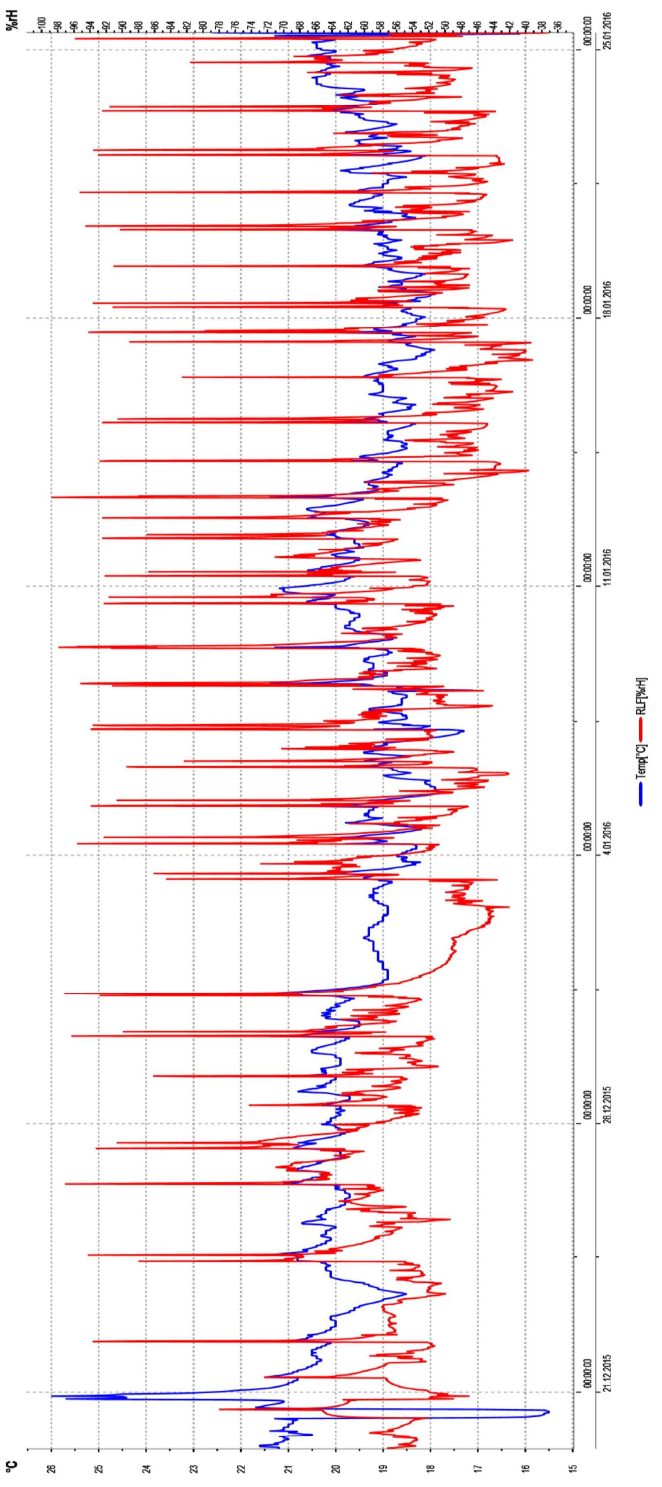
Apparatnavn: BMT05	10-04-2016 15:03:55				Side	1/1
		Minimum	Maksimum	Middelværdi	Grænseværdier	
Starttid: 19-12-2015 12:00:00						
Sluttid: 25-01-2016 10:15:00	Temp [°C]	2,60	21,50	7,500	-20,0/70,0	
Målekanaler: 2	RLF [%rH]	43,40	80,50	67,397	0,0/100,0	
Måleværdier: 3546						
36683448						



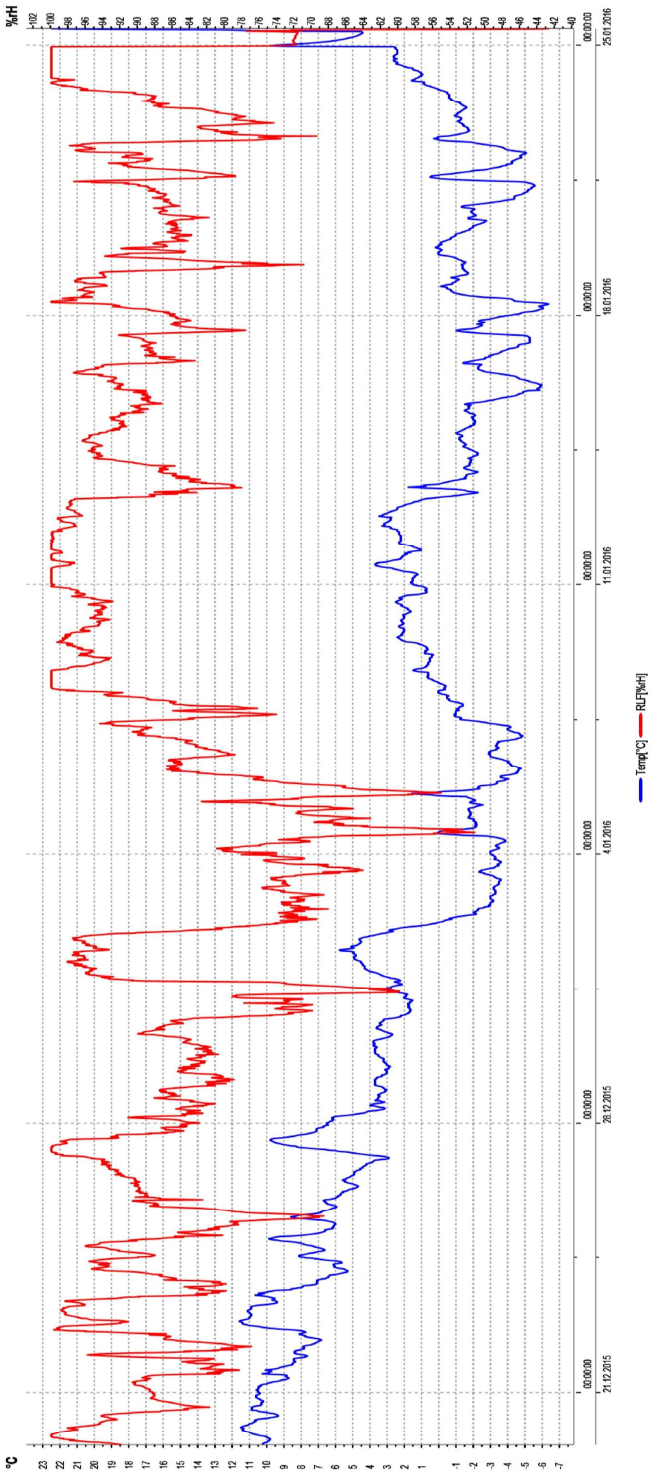
Apparatnavn: BMT 16		10-04-2016 15:04:45			Side 1/1
		Minimum	Maksimum	Middelværdi	Grænseværdier
Starttid: 19-12-2015 12:00:00					
Sluttid: 25-01-2016 10:15:00	Temp [°C]	13,70	25,70	20,305	-20,0/70,0
Målekanaler: 2	RLF [%rH]	28,10	97,80	54,314	0,0/100,0
Måleværdier: 3546					
36672907					
174 H Datalogger					



Apparatnavn: BMT02	10-04-2016 15:06:00				Side	1/1
		Minimum	Maksimum	Middelværdi	Grænseværdier	
Starttid: 19-12-2015 12:00:00	Temp [°C]	15,50	26,00	19,505	-20,0/70,0	
Sluttid: 25-01-2016 10:30:00	RLF [%rH]	37,10	98,80	55,691	0,0/100,0	
Målekanaler: 2						
Måleværdier: 3547						
36686050						



Apparatnavn: BMT 18		10-04-2016 15:07:14			Side 1/1
		Minimum	Maksimum	Middelværdi	Grænseværdier
Starttid: 19-12-2015 15:01:00	Temp [°C]	-6,40	22,50	1,593	-20,0/70,0
Sluttid: 25-01-2016 10:31:00	RLF [%rH]	42,60	99,90	87,441	0,0/100,0
Målekanaler: 2					
Måleværdier: 3535					
36672865					
174 H Datalogger					



A2.1 B101

SAMMENFATNING		
Lastbredde	0,90	m
Spændvidde	3,00	m
Kvalitet:	S235	
Stålprofil:	Ipe	120
Antal bjælker	1	stk
Antal kg stål	25,3	kg
Momentspænding	OK	
Forskydningsspænding	OK	
Nedbøjning	6,16	mm

A2.1.1 Indledning

Stålbjælker i etagedæk for etablering af bad

A2.1.2 Konstruktion

Simpel understøttet bjælke med jævnt fordelt last.

Spændvidde l = 3,00 m
Vederlagsdybde = 0,1 m ½ sten

A2.1.3 Laster

Antal overliggende etager:

JÆVNT FORDELT LAST

Egenlast

Egenlast 1	etage		2,83	kN/m²
Egenlast 2				
Egenlast 3				kN/m²
Egenlast 4				kN/m²

Nyttelast

Variabel last 1	person		1,50	kN/m²
Variabel last 2				kN/m²
Naturlast sne	sne			kN/m²
Naturlast vind	vind			kN/m²

		Partialkoefficient			
LASTKOMBINATION		Nyttelast dominerende	snelast dominerende	vindlast dominerende	Karakteristisk
Egenlast					
etage		1,00	1,00	1,00	1
0		1,00	1,00	1,00	1
0		1,00	1,00	1,00	1
0		1,00	1,00	1,00	1
Variabel last					
person		1,50	0,50	0,50	1
sne		0,30	1,50	0,00	1
vind	Katergori C	0,30	0,30	1,50	1

LAST		Nyttelast	Snelast	Vindlast	Karakteristisk
Egenlast	meter	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
etage	0,90	2,55	2,55	2,55	2,55
0		0,00	0,00	0,00	0,00
0		0,00	0,00	0,00	0,00
0		0,00	0,00	0,00	0,00
					2,55
Partial	1,50				
Etagereduktion	1,00				

Variabel last	meter	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
person	0,90	2,03	1,01	1,01	1,35
0		0,00	0,00	0,00	0,00
sne		0,00	0,00		0,00
vind		0,00	0,00	0,00	0,00
SUM =		**4,57**	**3,56**	**3,56**	**1,35**

rd = 4,57 kN/m
rgk = 2,55 kN/m
rqk = 1,35 kN/m

A2.1 B101

A2.1.4 Snitkræfter

Antal bjælker: 1,00 stk

Moment	Regningsmæssig		Egenlast	Nyttelast
M=1/8*rd*l^2	5,15	kNm	2,87	1,52
Mmax	**5,15**	kNm	**2,87**	**1,52**

Reaktion				
R=1/2*rd*l	6,86	kN	3,82	2,03
Rmax	**6,86**	kN	**3,82**	**2,03**

Max nedb. for nyttelast = 400 del af spændvidde 1/400 Bjælker etageadskillelse
umax = 7,5 mm 1/200 Tag

A2.1.5 Eftervisning

Stålkvalitet	S235		235	Mpa
Partialkoefficient	normal		1,1	faktor
Materialekontrolklasse	normal	MAK	1	faktor

epsilon (235/fy)^0,5	1,00	
c/tf	5,08	klasse1
d/tw	21,41	klasse1
Tværsnitsklasse	klasse1	

- **Materialer:**

Bjælketype: Ipe
Bjælkefaktor: 120

A	Iy	Wel	Wpl	h	tw	tf	b
mm² x1e+3	mm⁴ x1e+6	mm³ x1e+3	mm³ x1e+3	mm	mm	mm	mm
1,32	3,18	53	60,38	120	4,4	6,3	64

fyd = 213,6 MPa
E = 210000 MPa
samlet jernmængde = 25,3 kg

- **Momentspænding:**

sigm = Ms/Wpl = **85,2** Mpa < f = **213,6 Mpa** OK

- **Nedbøjning:**

Jævnt fordelt
u = 5*qk*l^4/(384*E*Iy) =

Egenlast =	**4,0**	mm		745
Nyttelast =	**2,1**	mm		1407
SUM =	**6,2**	m	l/u=	**487**

For nyttelast < umax = **7,50** mm OK

- **Forskydningsspænding :**

tau = Vd/Akrop **14,5** MPa

< fyd^(1/3)/3 = **123,3 Mpa** OK

- **Vederlagsspænding**

Ved krop: sigm =Vd/(lv*(t+d+tv)) = **6,41** Mpa
Total: sigm = Vd/(lv*b) = **1,07** Mpa

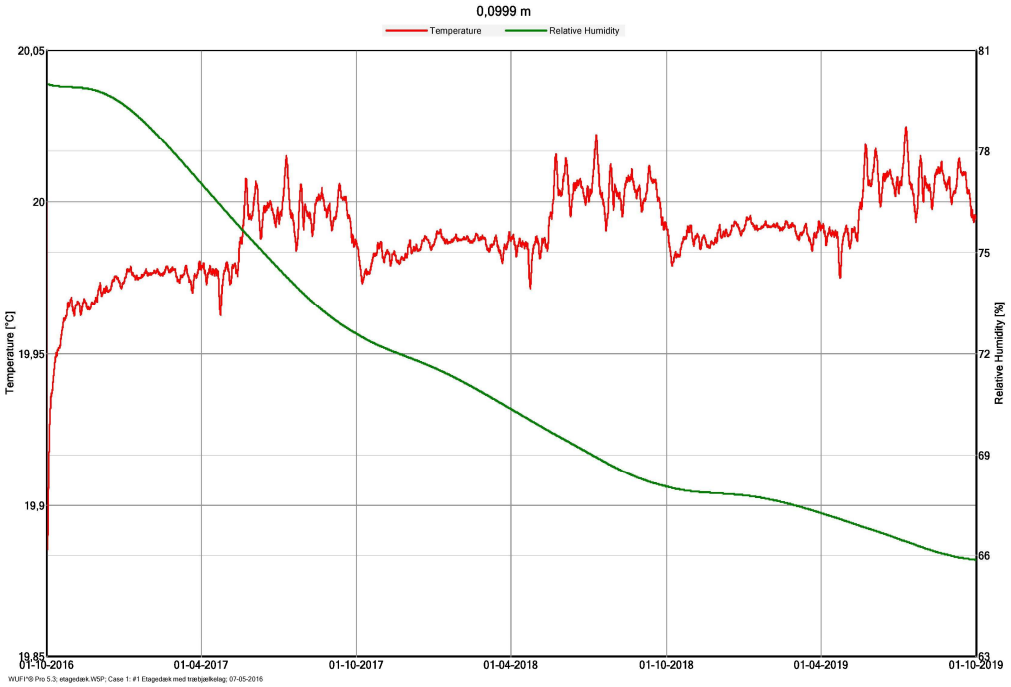
Muret K 100/1200 **fcnd =** **1,28** Mpa
Stenklasse massive 15 **Vederlagsspænding:** OK

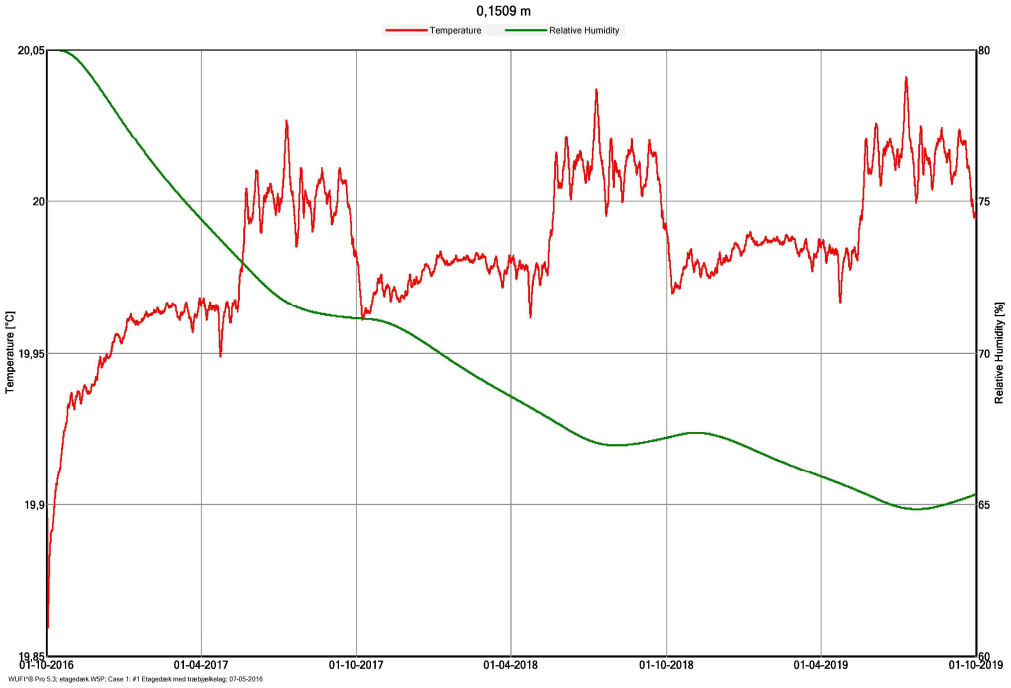
Moment i flange **0,04** kNm
Modstandsmoment **16666,7** mm³ Sum af W i flange
Spænding i flange ved vederlag **2,68** Mpa OK

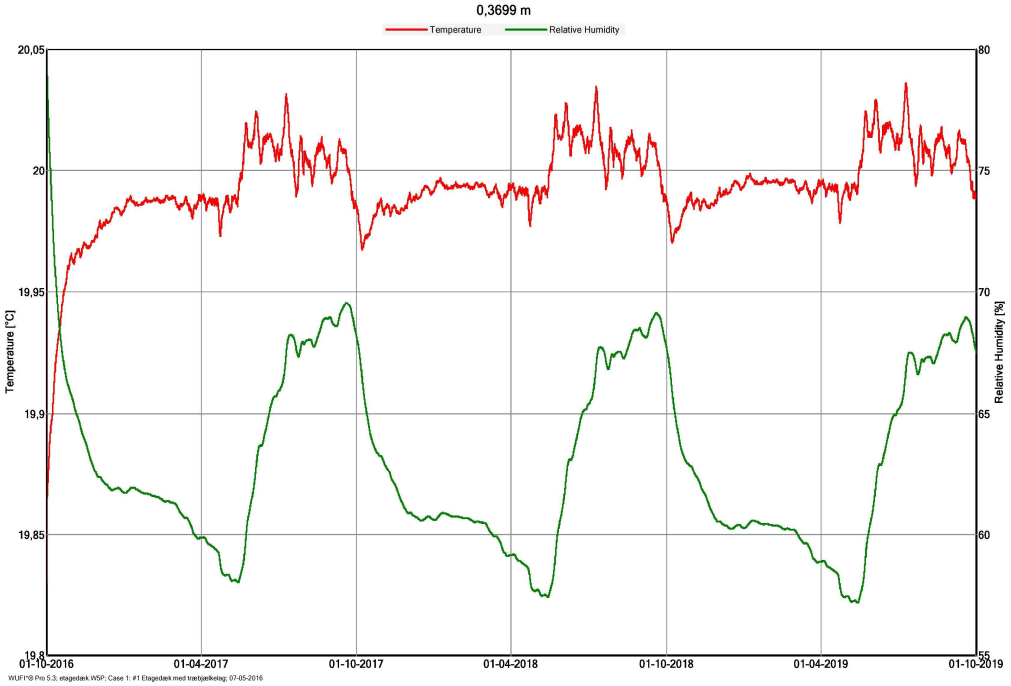
4

Bilag 4 - WUFI Pro simuleringer

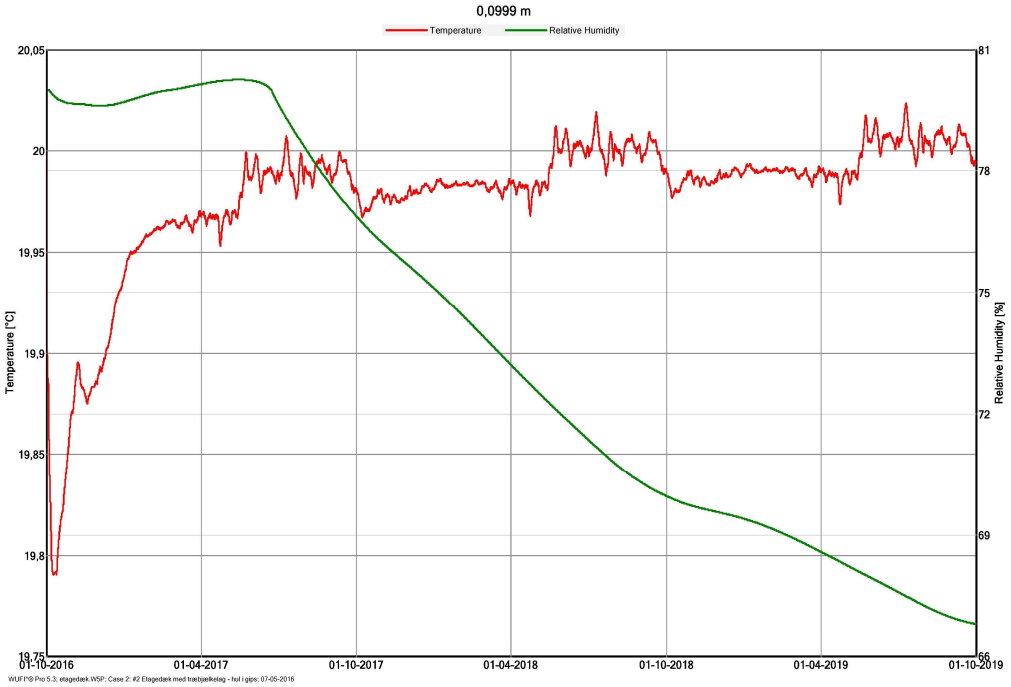
Etagedæk med træbjælkelag

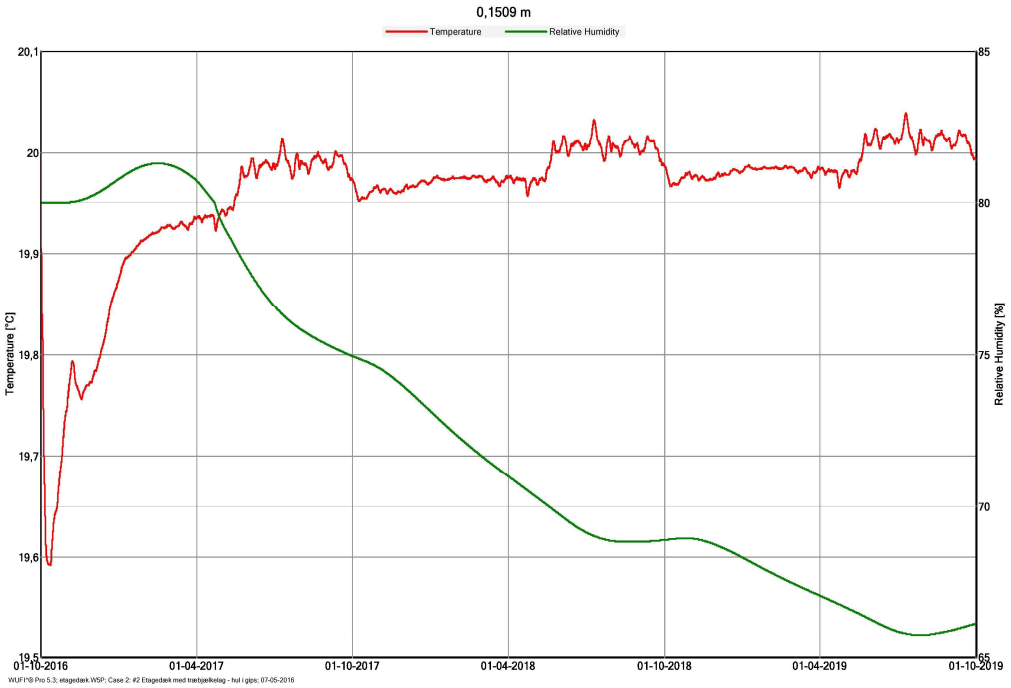


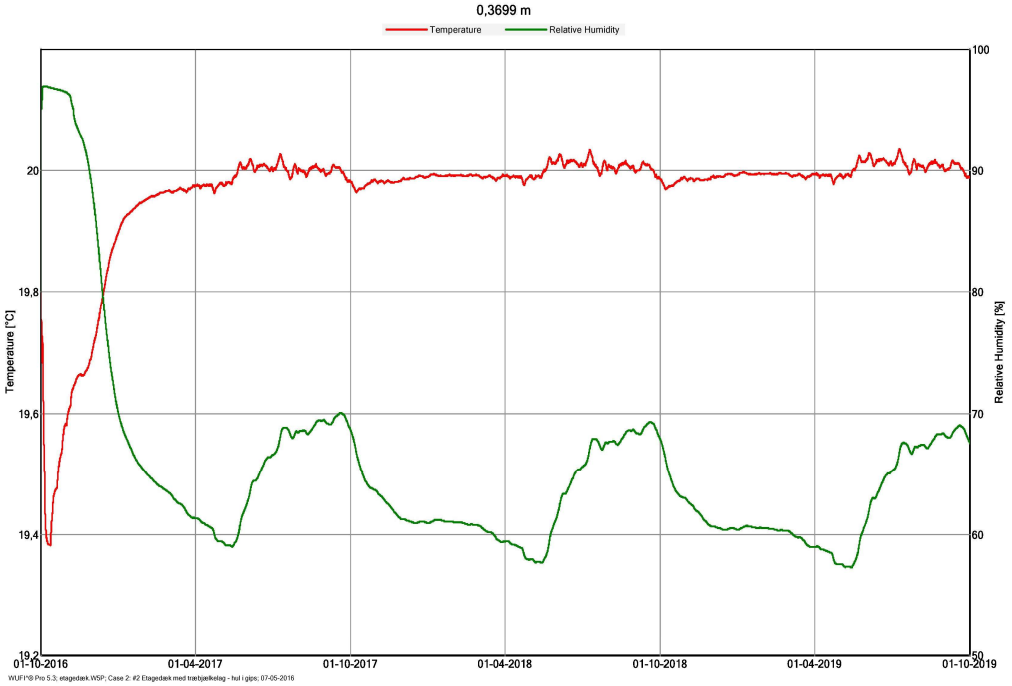



0,3699 m
Temperature
Relative Humidity
20,05
20
19,95
19,9
19,85
19,8
80
75
70
65
60
55
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
01-10-2016
01-04-2017
01-10-2017
01-04-2018
01-10-2018
01-04-2019
01-10-2019

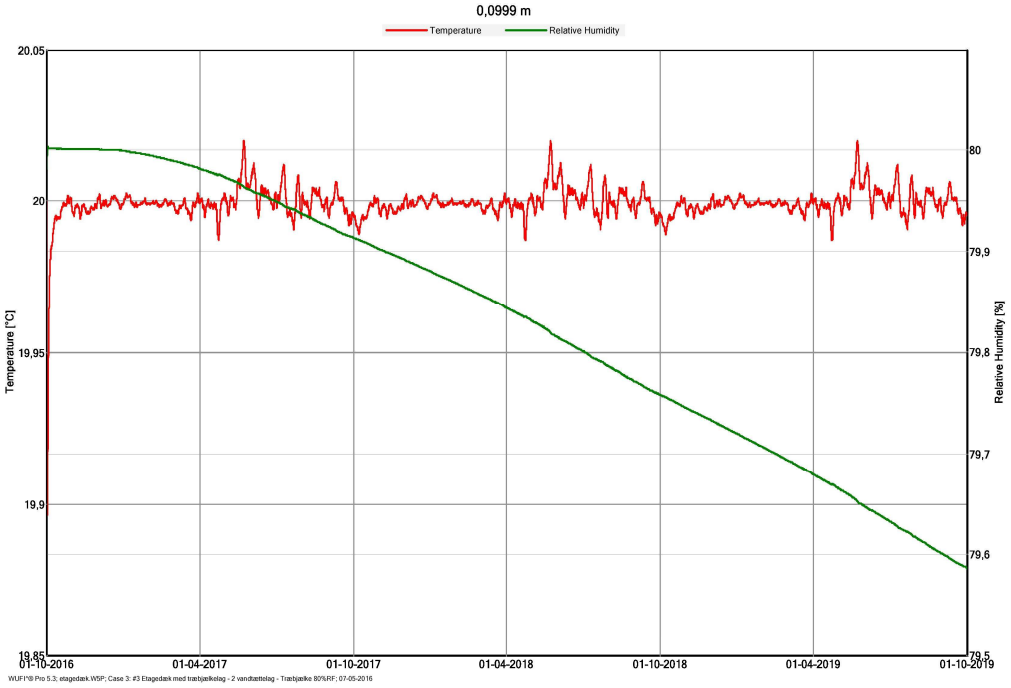
Etagedæk med træbjælkelag - hul i gips

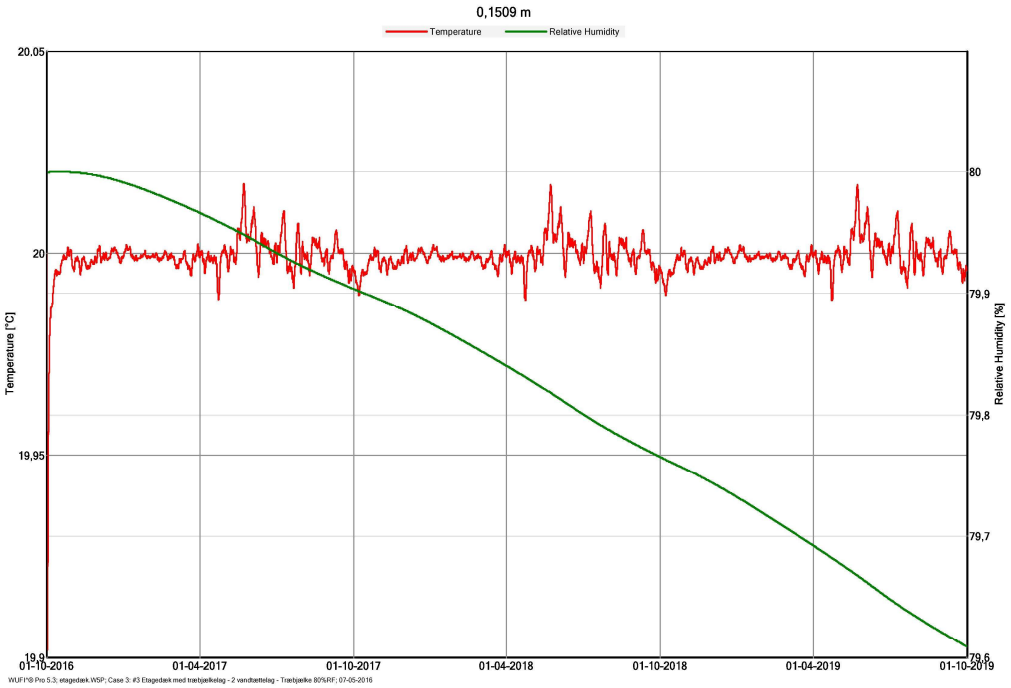




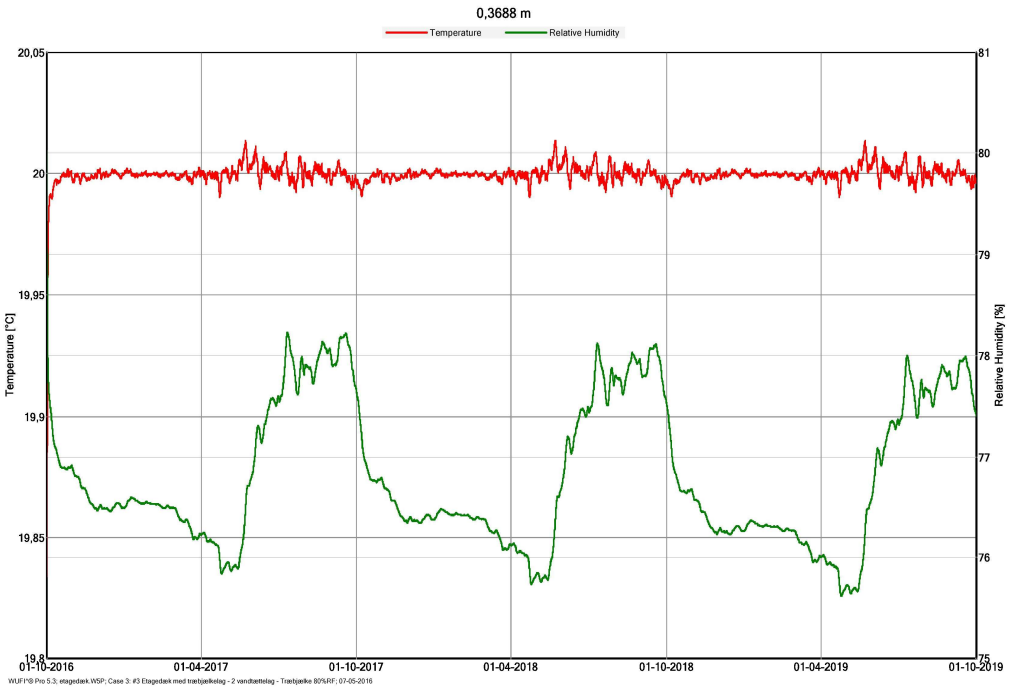

0,3699 m
Temperature
Relative Humidity
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
20
19,8
19,6
19,4
19,2
100
90
80
70
60
50
01-10-2016
01-04-2017
01-10-2017
01-04-2018
01-10-2018
01-04-2019
01-10-2019
WUFI® Pro 5.3; etagedæk.WSP; Case 2: #2 Etagedæk med trækbjælkelag - hul i gips; 07-05-2016

Etagedæk med træbjælkelag - 2 vandtætte lag - Træbjælke RF 80%

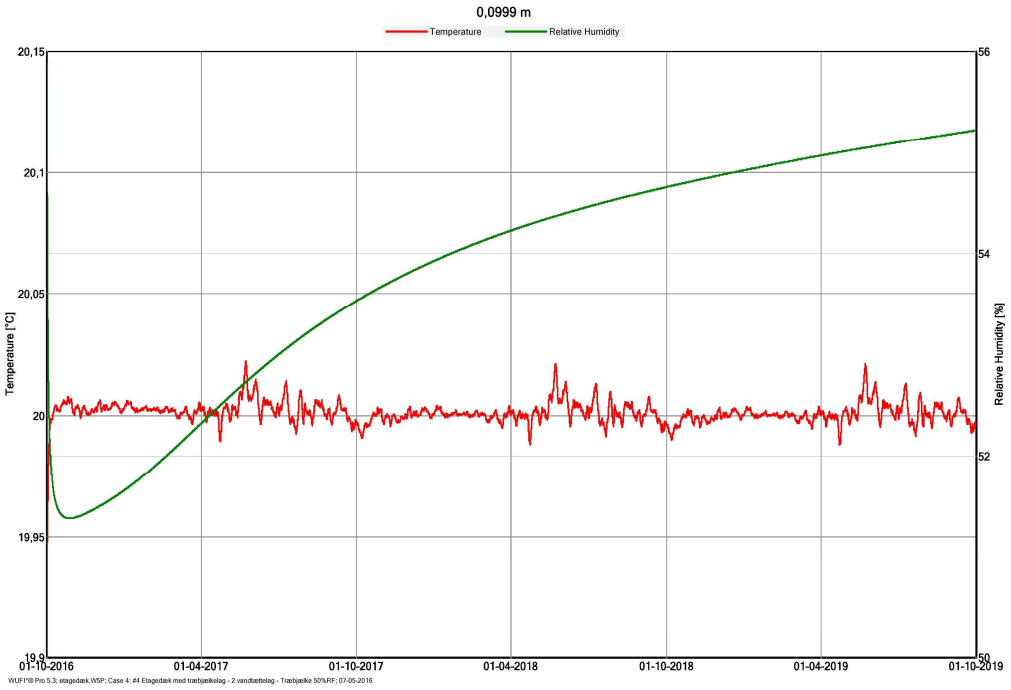


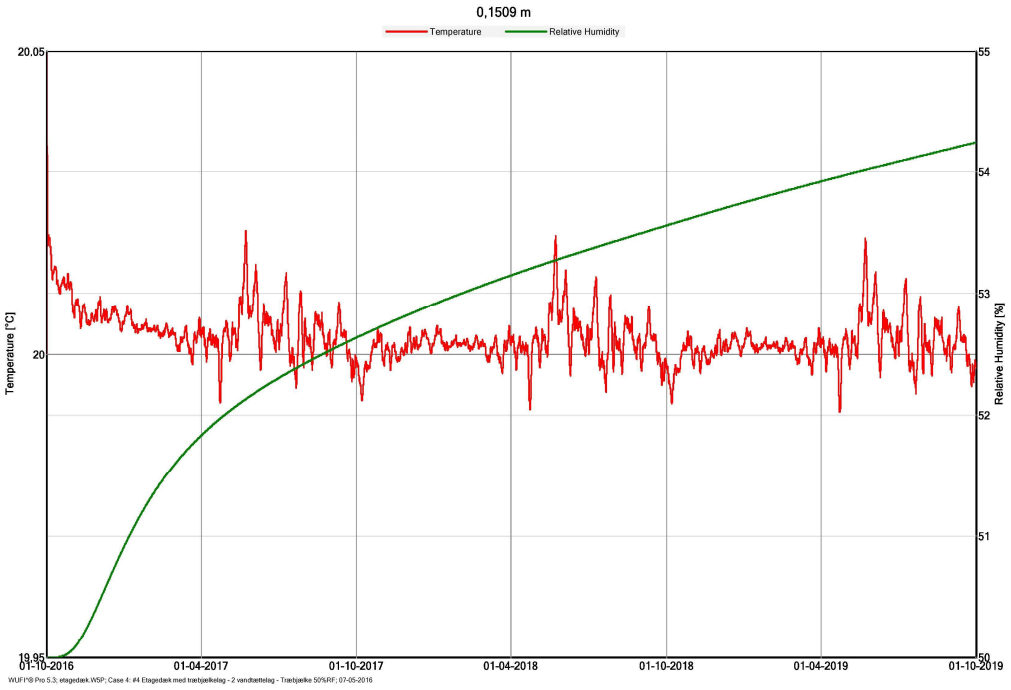


Bilag 4 - fortsat

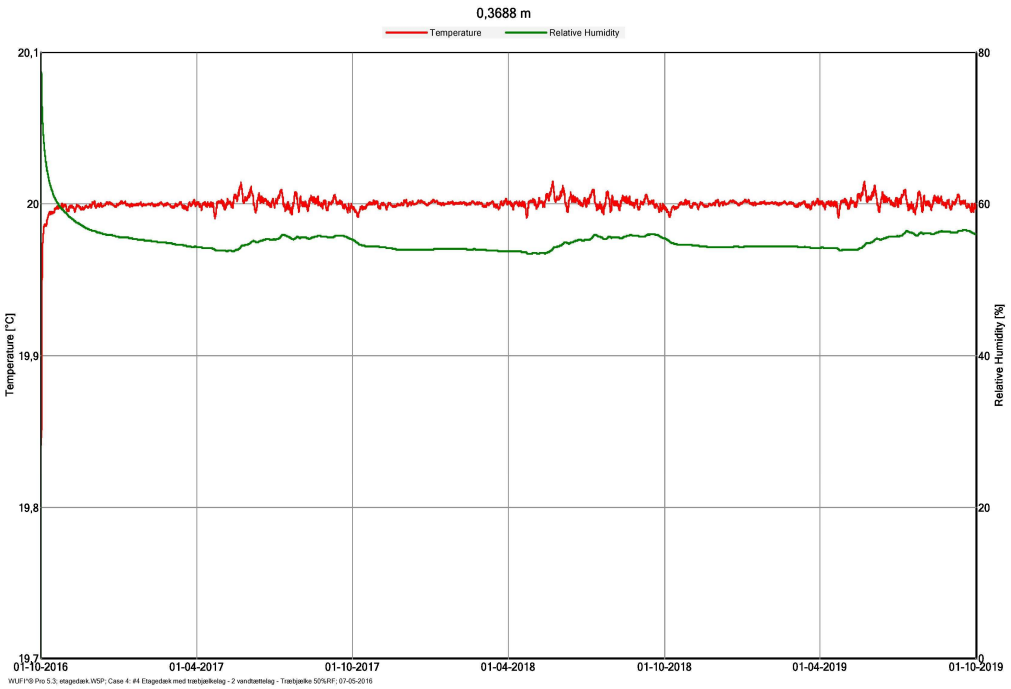


Etagedæk med træbjælkelag - 2 vandtætte lag - Træbjælke RF 50%



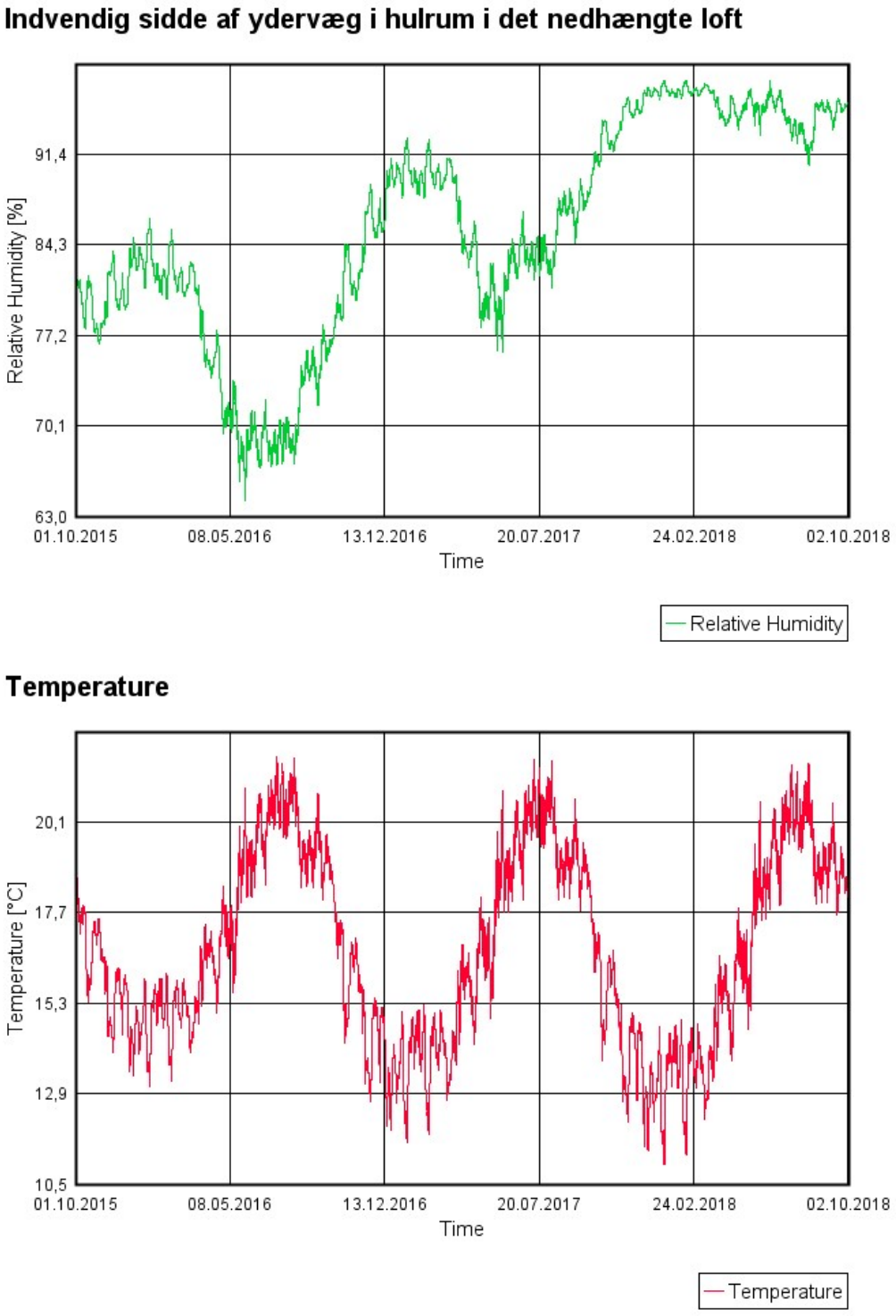


Bilag 4 - fortsat

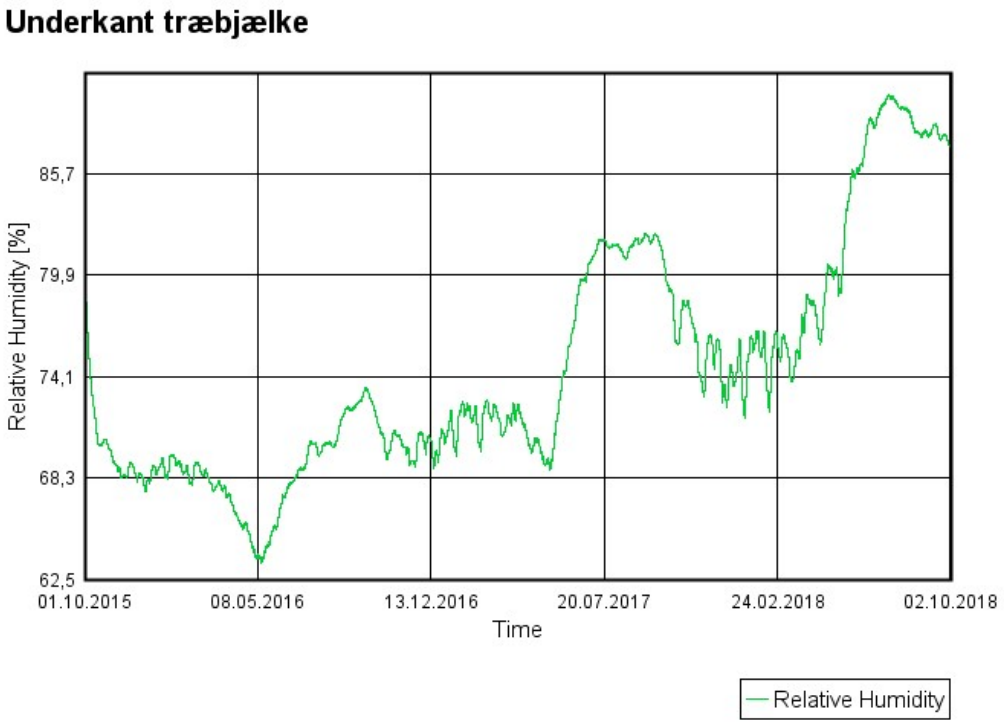


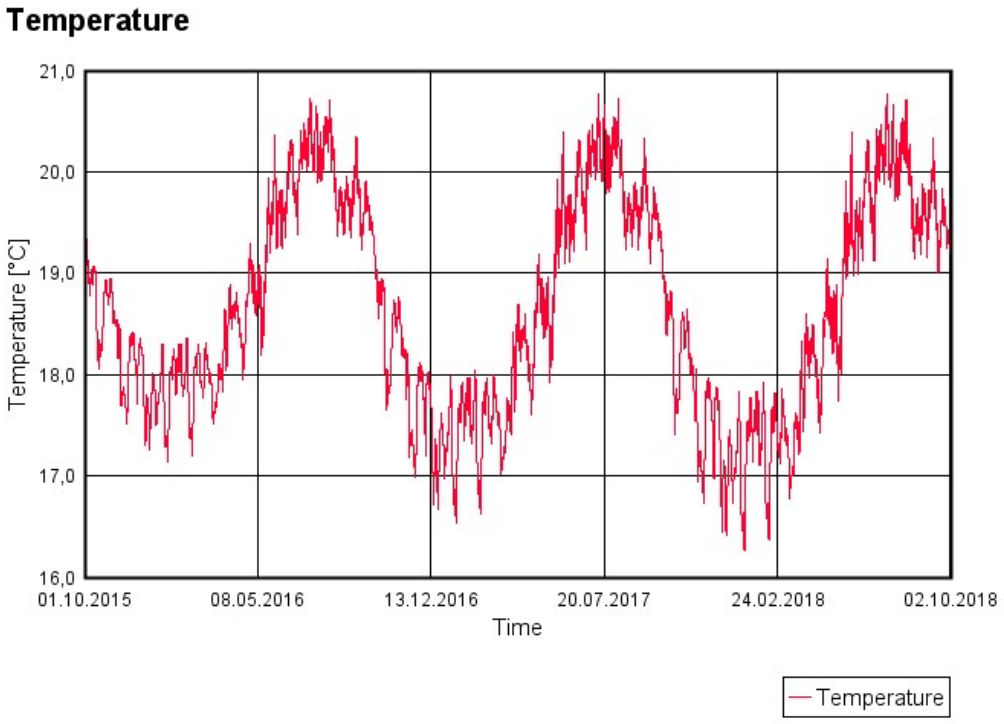
Bilag 5 - WUFI 2D simuleringer

Simuleringsresultat 001 - Indvendig sidde af ydervæg i hulrum i det nedhængte loft.

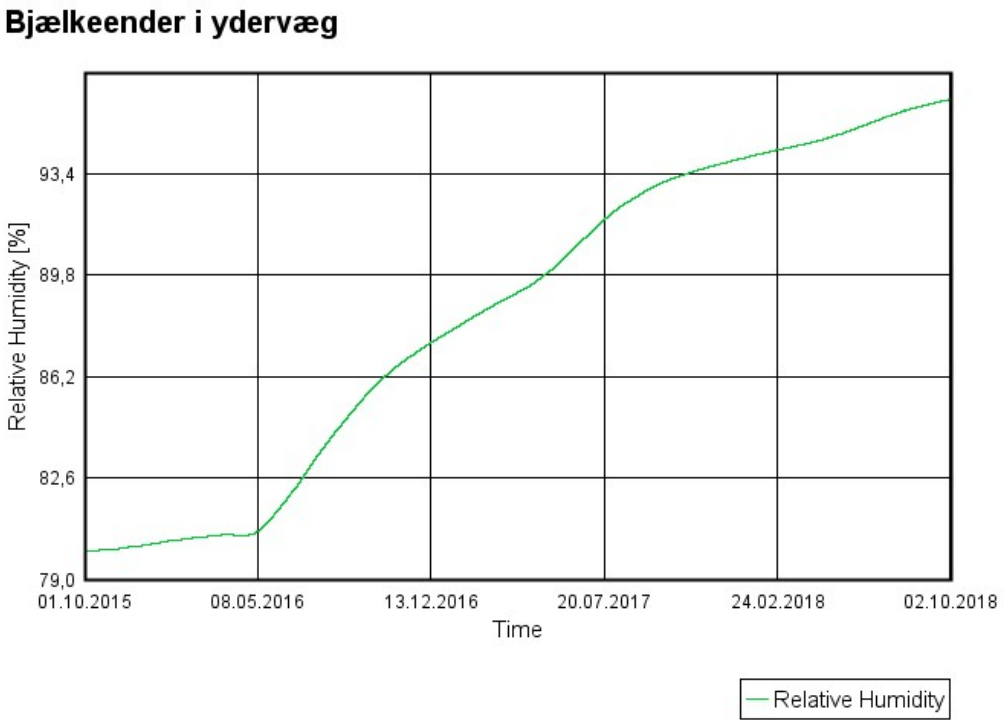


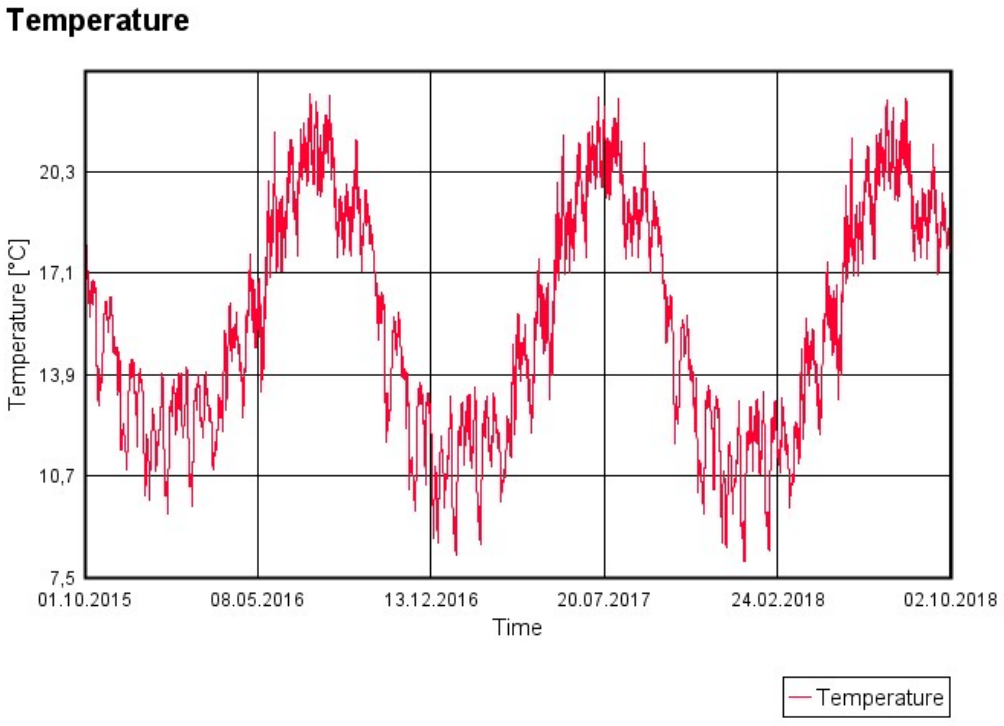
Simuleringsresultat 002 - Underkant træbjælke.



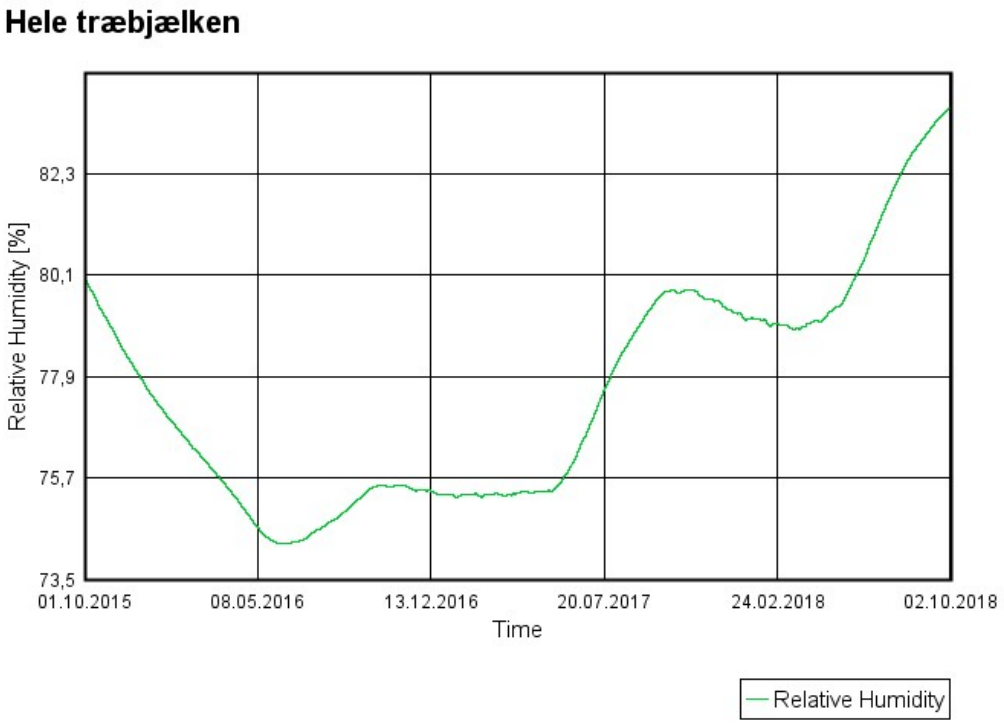


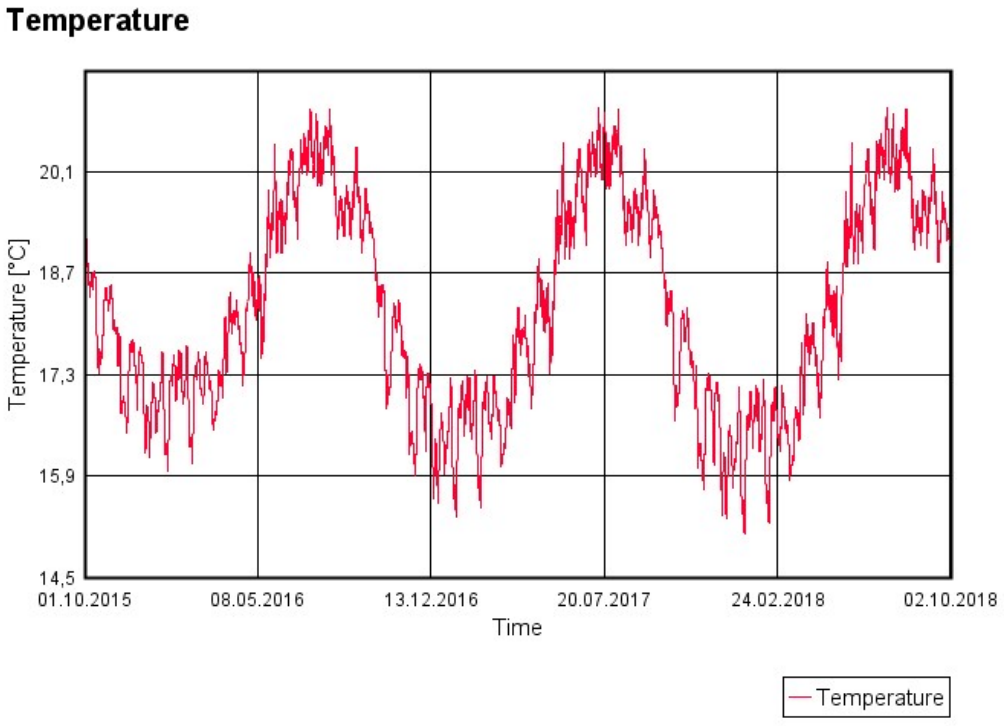
Simuleringsresultat 003 - Bjælkeender i ydervæg.



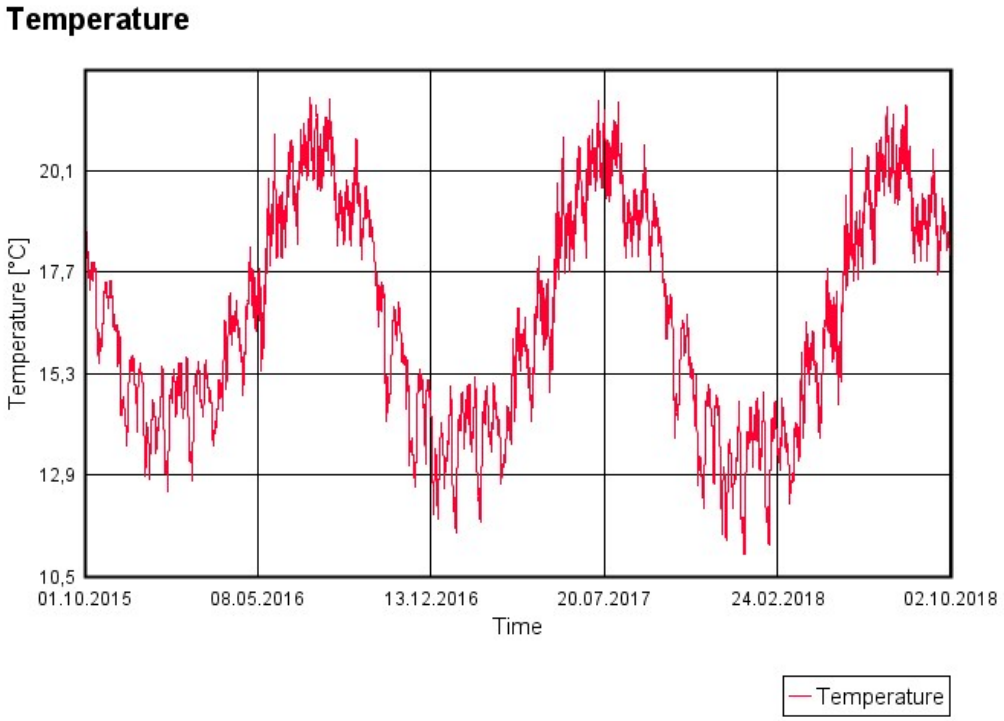


Simuleringsresultat 004 - Hele træbjælken.

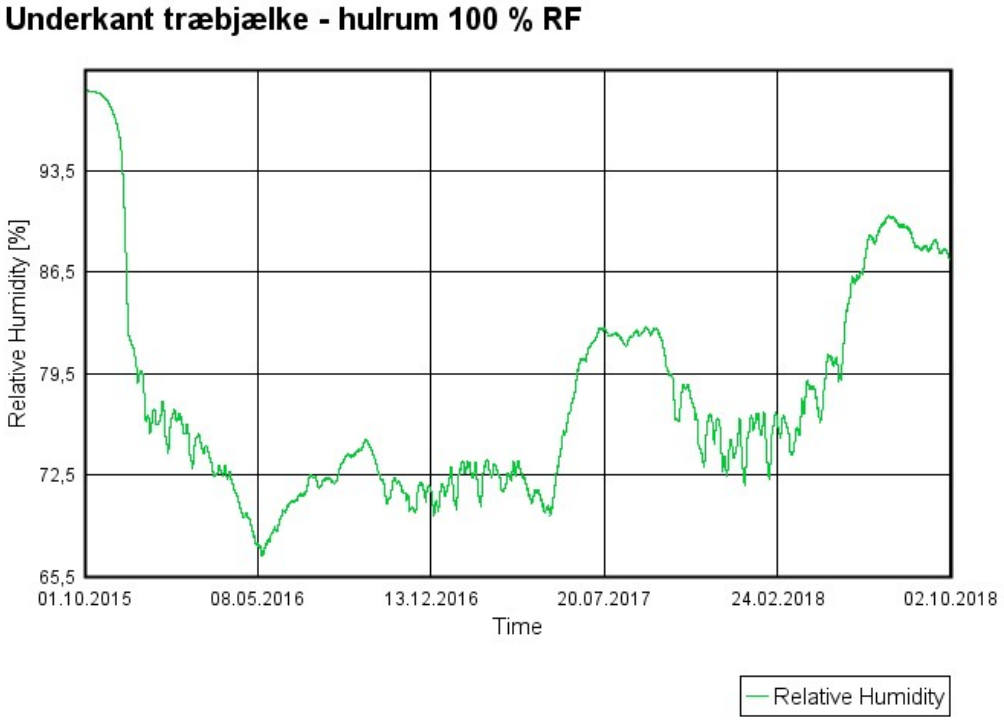


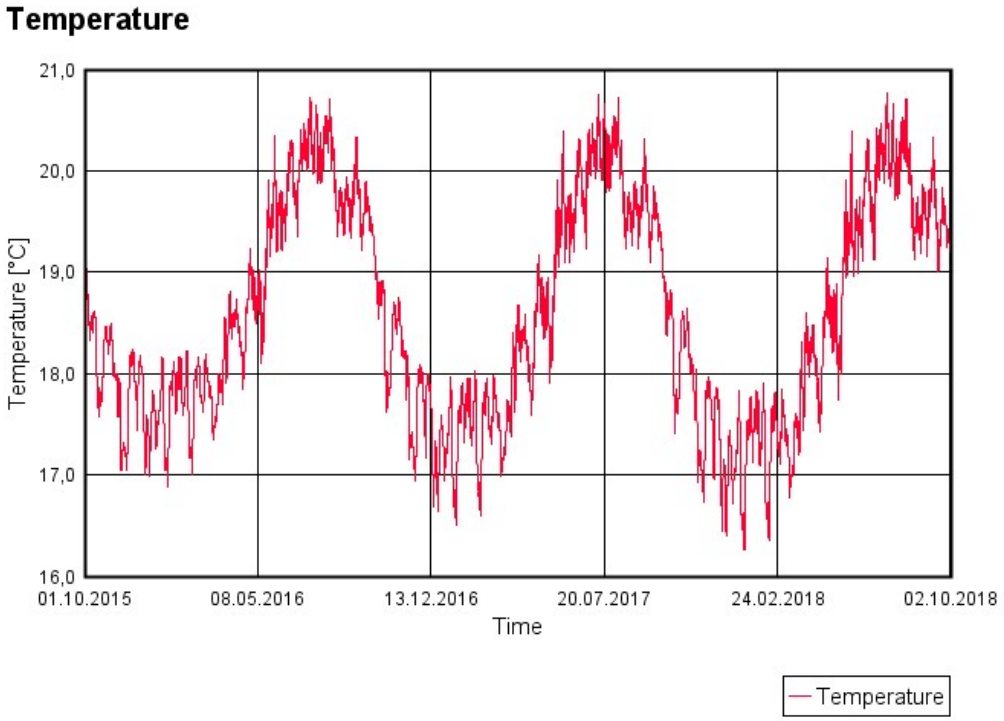


Simuleringsresultat 005 - Indvendig side af ydervæg i hulrum i det nedhængte loft, hvor luftlaget i hulrummet ændret til 100% RF (vandindhold 47,1 kg/m³).

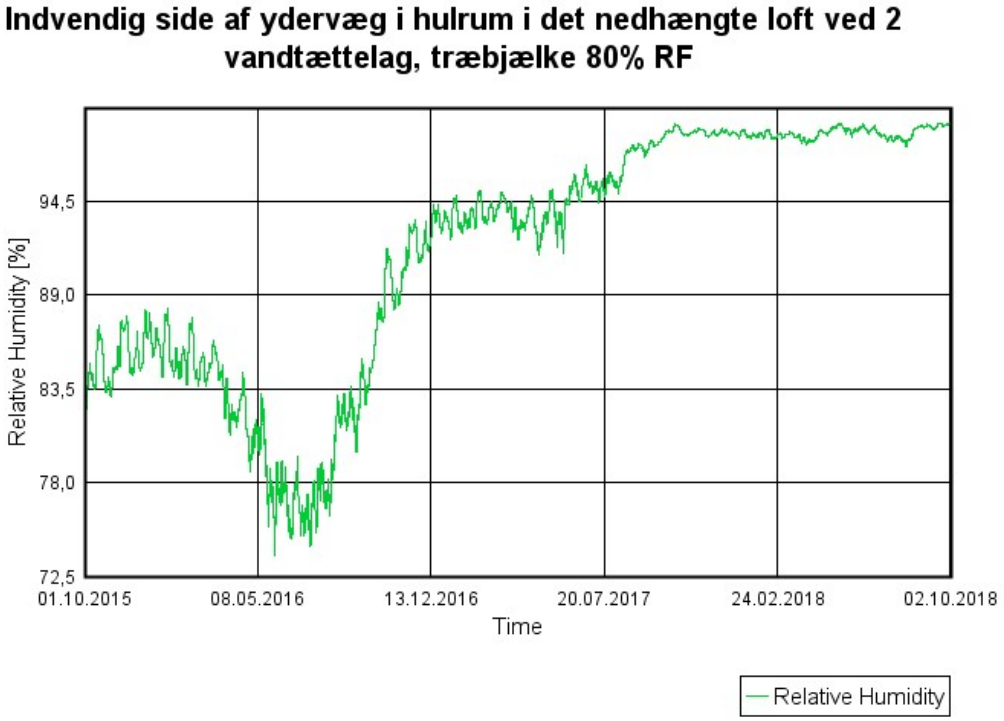


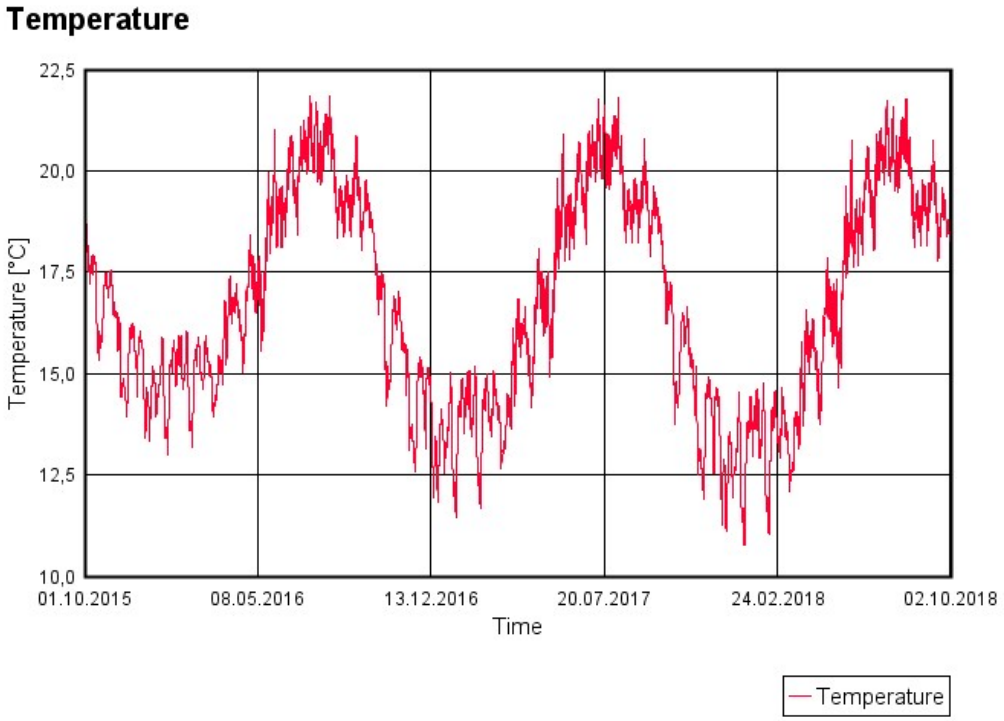
Simuleringsresultat 006 - Underkant træbjælke, hvor luftlaget i hulrummet ændret til 100% RF (vandindhold 47,1 kg/m³).



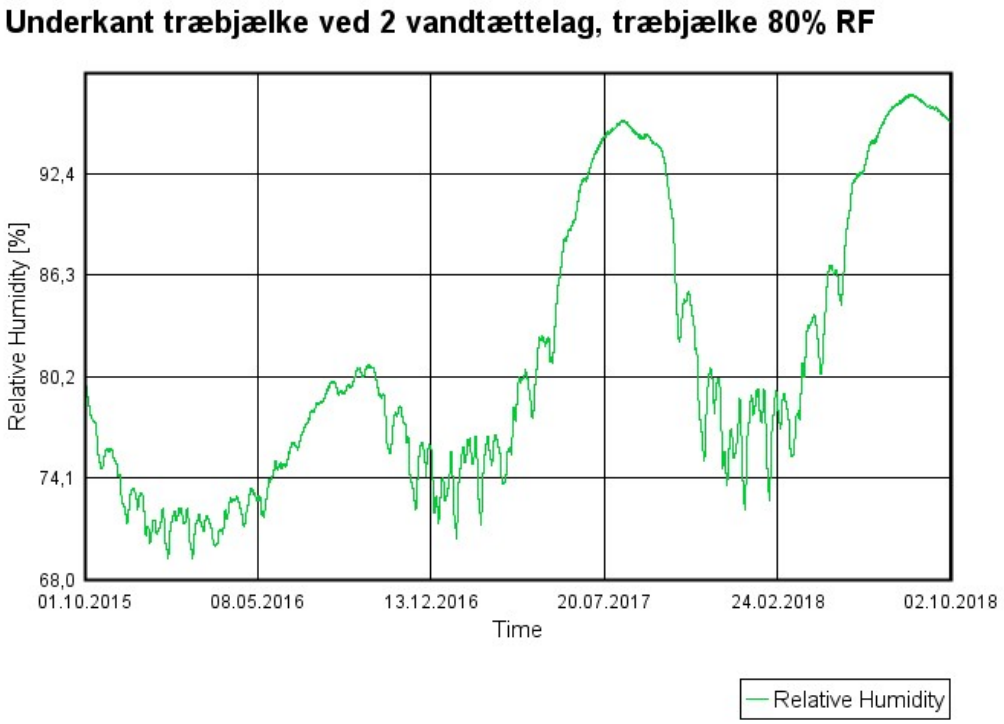


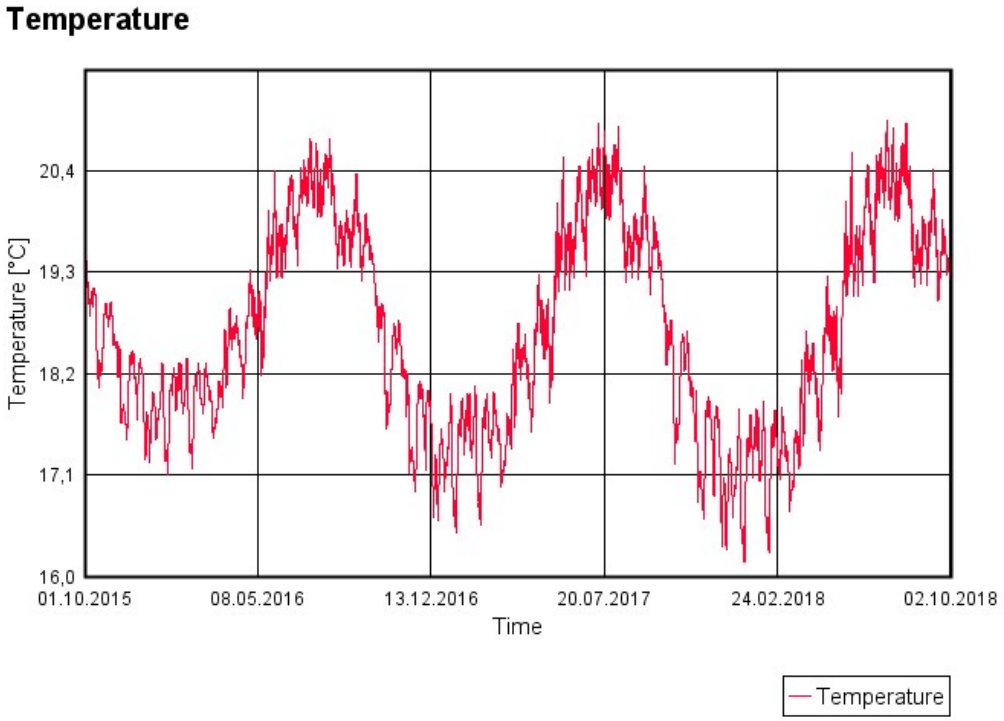
Simuleringsresultat 007 - Indvendig side af ydervæg i hulrum i det nedhængte loft ved 2 vandtættelag, træbjælke 80% RF.



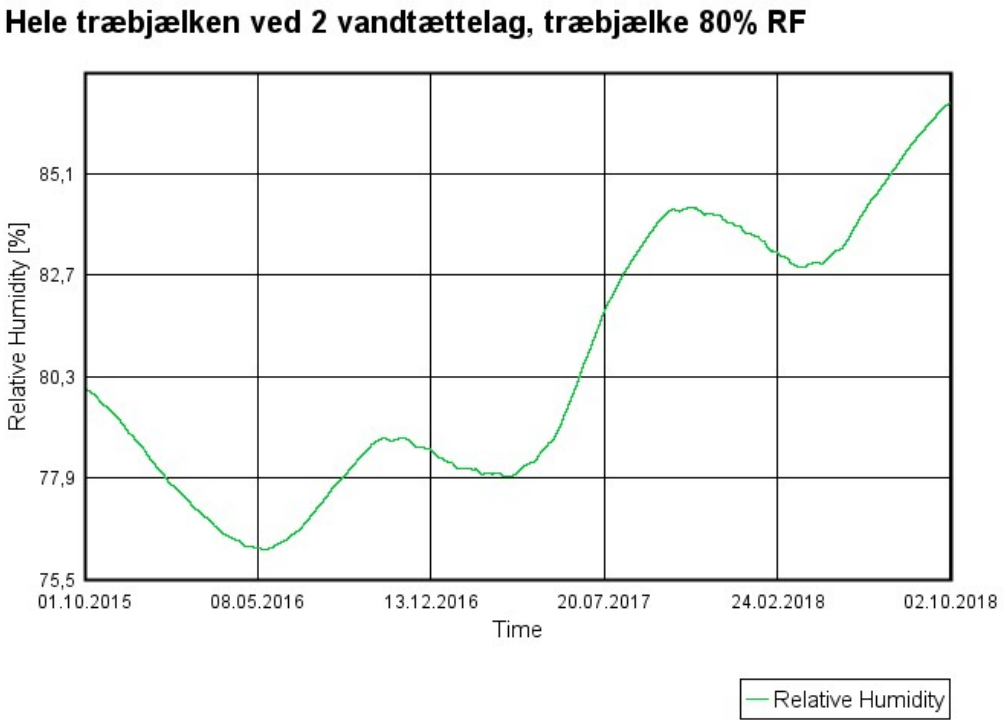


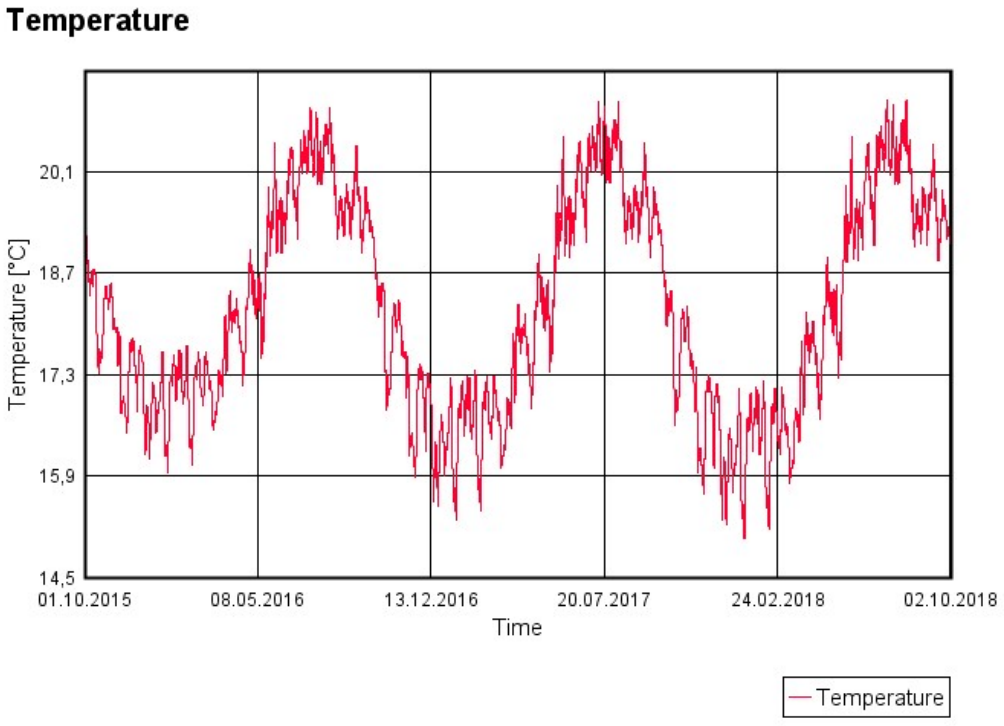
Simuleringsresultat 008 - Underkant træbjælke ved 2 vandtættelag, træbjælke 80% RF.



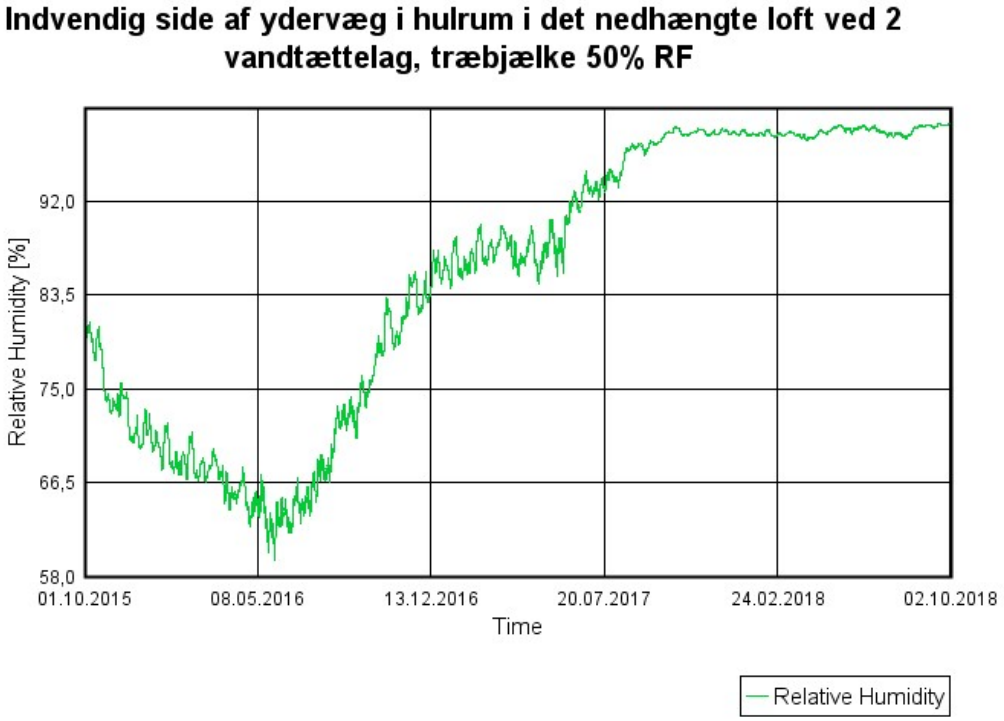


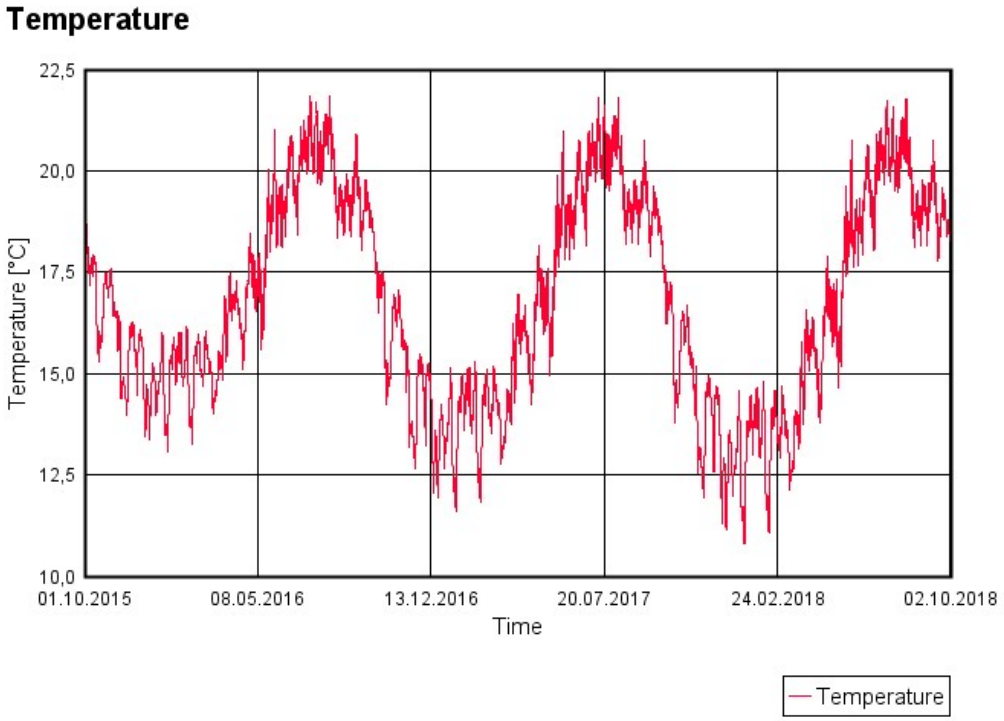
Simuleringsresultat 009 - Hele træbjælken ved 2 vandtættelag, træbjælke 80% RF.



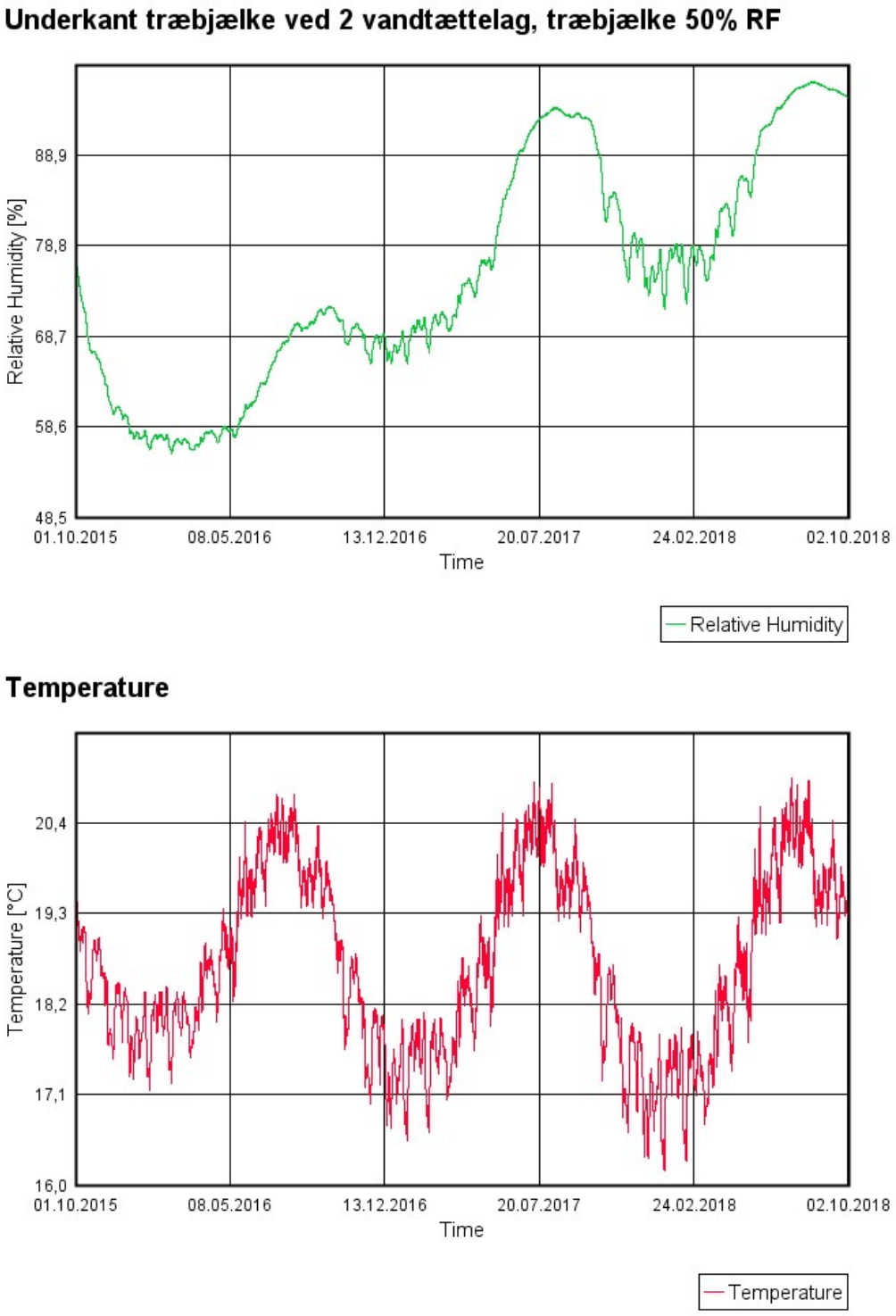
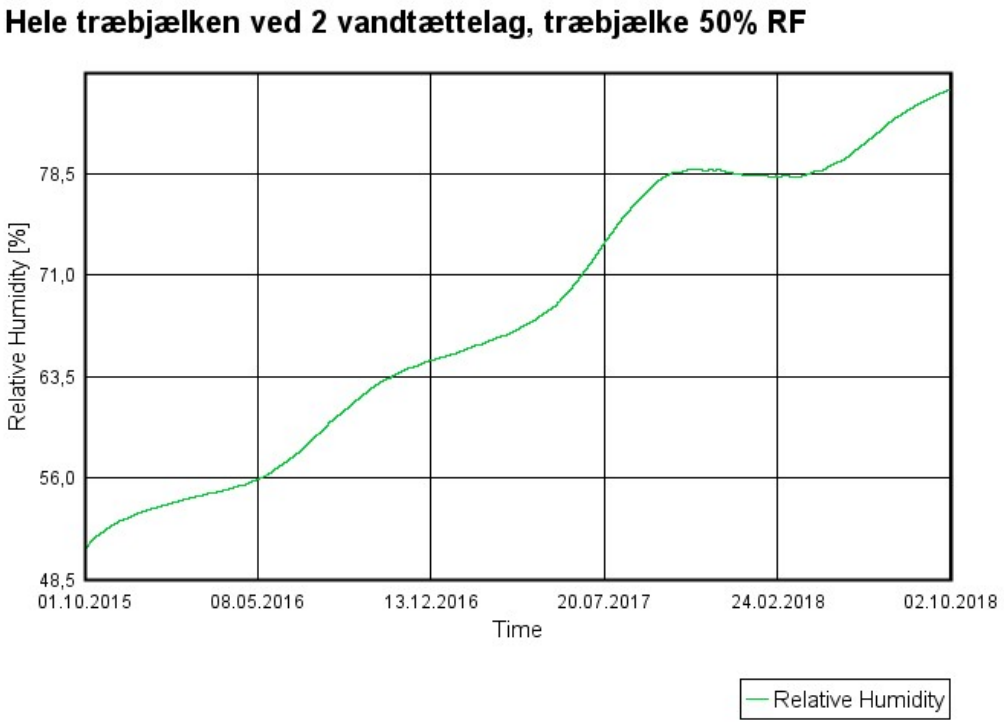
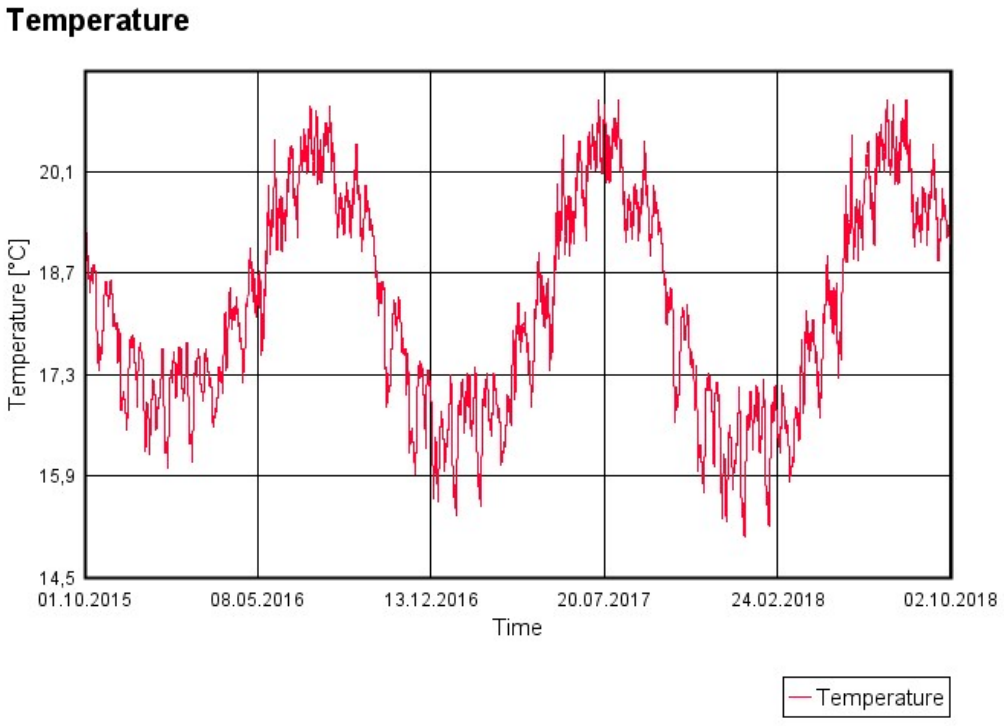


Simuleringsresultat 010 - Indvendig side af ydervæg i hulrum i det nedhængte loft ved 2 vandtættelag, træbjælke 50% RF.





Simuleringsresultat 011 - Underkant træbjælke ved 2 vandtættelag, træbjælke 50% RF.



Simuleringsresultat 012 - Hele træbjælken ved 2 vandtættelag, træbjælke 50% RF.