

Tilstandsvurdering af stuehus

Energioptimering



Titel Tilstandsvurdering af stuehus - Energioptimering

Forfattere Kim Lauer
Morten Simonsen

Udgivelsesdato 06-06-2024



AALBORG UNIVERSITET
KØBENHAVN

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

Studenterrapport

Sekretær: Lene Wenstrøm Jørgensen
Telefon: 99 40 97 34
Lene Wenstrøm Jørgensen

Uddannelse: Master i Bygningsfysik
Semester: 4. semester
Titel på projekt: Tilstandsvurdering af stuehus.

Projektperiode:
1. februar 2024 – 6. juni 2024

Vejleder:
Kim B. Wittchen
Ruut Peuhkuri

Øvrige bidrag
Birgitte Andersen (skimmelanalyse)
Nickolaj Feldt Jensen (WUFI-VTT)

Studerende:

Morten Simonsen
Morten Simonsen

Kim Lauer
Kim Lauer

Antal normalsider: 76

Afleveringsdato: 6. juni 2024

Resumé:

Rapporten tager sit udgangspunkt i et stuehus fra 1860, hvor bygherre står overfor at skulle renovere ejendommen med henblik på en energioptimering, som får stuehuset op i renoveringsklasse 1 eller 2. Bygherre har brug for et samlet overblik over ejendommens nuværende stand, samt konstruktioner, hvor der kan være udfordringer med henblik på efterisolering og fugt.

For at give bygherre det bedst mulige beslutningsgrundlag, udføres der en række visuelle registreringer, logninger, samt målinger. Som registreringen skrider frem, findes der flere konstruktioner, som giver anledning til nærmere undersøgelse. Ved de nærmere undersøgelser, udføres destruktive prøver, skimmelanalyse på udtaget materialer, samt simuleringer i HEAT2 og WUFI Pro, som viser de aktuelle fugtmæssige tilstande og de tilstande der kan forventes ved forskellige energiforbedrende tiltag.

Der laves samtidig en undersøgelse af bygningens geografiske placering i forhold til eksisterende og fremtidige vejrdato. Dette for at give bygherre vished om sikkerheden ved en eventuel investering i ejendommen og om der er tiltag, som bør udføres, for at sikre ejendommens værdi i fremtiden.

Sidst beregnes der på energirammen i BE18 og der udføres et variantstudie, som giver bygherre et bud på de forskellige optimeringspotentialer og gevinsten ved disse. Rapporten afsluttes med en anbefaling til bygherre, samt en konklusion på projektets arbejde og undersøgelser.

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	1
Læsevejledning	3
Indledning	4
1.1.0 Opgaveformulering	5
1.1.1 Afgrænsning	5
Teori	6
1.2 Varmetransmission.....	6
1.3 Fugtteori	13
1.4 Energiberegning BE18	22
1.5 HEAT2 Varmeberegninger	27
1.6 WUFI Pro	28
Del 1 - Planlægning af registrering	33
1.1 Metode.....	33
1.2 Bygningens forventede konstruktioner	34
1.3 Beregningsscenarier	38
1.4 Delkonklusion – udpegning af fokusområder	44
Del 2 - Registrering af bygningens konstruktioner og tilstand	46
2.1 Metode og materialer	46
2.2 Udførelse af tilstandsregistrering	51
2.2.1 Termografering.....	59
2.2.2 Måling af træfugt med stikbensmåler.....	64
2.2.3 Logning i konstruktioner	68
2.2.4 Gannmålinger	71
2.2.5 Udtagning af materialeprøver til skimmelanalyse	74
2.3 Delkonklusion – tilstandsregistrering.....	75
Del 3 – Analysering af data og simulering af konstruktioner	78
3.1 Metode.....	78
3.1.1 Scenarie 1	79
3.1.2 Scenarie 4	92
3.1.3 Scenarie 5	96
3.2 Delkonklusion scenarier.....	108
3.3 Klimamæssige fokusområder.....	111
3.4 Bygningens nuværende energiramme	117
3.5 Delkonklusion klima og energi	122
Del 4 – Optimeringspotentialer.....	123
4.1 Metode.....	123

4.2	Konstruktionsforbedringer	124
4.3	Optimeringsvarianter	135
	Diskussion	139
4.4	Anbefaling til bygherre	141
	Konklusion	146
	Kildehenvisninger	148
	Bilagsfortegnelse	150

Læsevejledning

Det er en forudsætning at læseren af rapporten, har indsigt i bygningsfysik og bygningskonstruktioner.

Rapportens har dels til formål at demonstrerer de færdigheder, som er opnået igennem masteruddannelsen i bygningsfysik og dels danne grundlag for bygherre til, at beslutte, hvordan den omhandlende ejendom kan energirenoveres.

I teoriafsnittet gennemgås teorier som bruges i forbindelse med udarbejdelse af rapporten. Samtidig vil programmerne BE18, HEAT2 og WUFI blive gennemgået, for at give et teoretisk syn på, hvilket resultater simuleringer i disse programmer kan bidrage med til rapporten. For hvert delafsnit vil der være en kort metodebeskrivelse, som forholder sig det enkelte afsnit. Rapporten er derfor inddelt i 4 dele, med fælles udgangspunkt i 3-5 fokusområder, som udpeges og løbende bearbejdes igennem rapporten.

I stedet for et overordnet metodeafsnit, som er gældende for rapporten som helhed, indledes hver del med et metodeafsnit. Hvert metodeafsnit beskriver metoden for arbejdet i den pågældende del.

Del 1 - Planlægning af registrering

Omhandler forberedelse til registrering af ejendommen, hvor det undersøges, hvornår ejendommen er opført og hvilken byggestil der er anvendt. På baggrund af denne viden, ses der nærmere på hvilke konstruktioner, som er tidstypisk for byggestilen, herunder de konstruktionsforhold, som kan give anledning til bygningsfysiske udfordringer.

Del 2 - Registrering af bygningens konstruktioner og tilstand

Omhandler udførsel af bygningsregistrering, herunder de undersøgelser som udføres, for at få et tilstrækkeligt kendskab til bygningens konstruktioner og standen på disse. Der udføres flere forskellige målinger, som danner datagrundlag til analysering og simulering af bygningens konstruktioner.

Del 3 – Analysering af data

Omhandler analysering af den indsamlede data, herunder tolkning på måledata, simulering på konstruktioner og svar på skimmelpøver. Der bearbejdes data, som omsættes til diagrammer og tendenser, hvilket danner grundlag for dokumentation til anbefalinger. Der ses desuden på fremtidige vejrdato og bygningens energiramme.

Del 4 – Optimeringspotentialer

Omsætter analysedelen til optimeringspotentialer, som kan sikre ejendommens konstruktioner og samtidig optimere bygningens energiramme. Der udføres en række variantstudier, som giver bygherre mulighed for at se, hvor meget de enkelte tiltag vil bidrage til at bringe ejendommen op i renoveringsklasse 1 eller 2. Til slut gives der en række anbefalinger til bygherre, med afsat i de potentialer rapporten finder frem til.

Indledning

Denne rapport er udarbejdet som 4. semester speciale på uddannelsen Master i Bygningsfysik ved Aalborg Universitet, København. Rapporten er udført med tilegnet viden, forudgående erhvervserfaring og færdigheder inden for bygningsfysik, opnået i uddannelsesforløbet.

I rapporten undersøges et stuehus fra 1860 beliggende på Møllebækvej 85, 9800 Hjørring. Bygherre ønsker at få klarlagt den nuværende tilstand på bygningen, samt udarbejdet et løsningsforslag til energiforbedringer, som kan bringe bygningens energimærke op i renoveringsklasse 1 eller 2.

Bygherre er samtidig bekymret for stigende nedbørsmængder, hvorfor rapporten også ser nærmere på den udefrakommende fugtpåvirkning af bygningen.

Som arbejdet med rapporten og undersøgelserne skrider frem, fremkommer væsentlige fugttekniske udfordringer, der sender rapporten i en retning, hvor der arbejdes med at finde løsninger til, at sikre de fugtramte bygningsdele. Dermed udarbejdes et renoveringsforslag som inkluderer de fundne kritiske konstruktioner i synergi med energirenovierung af bygningen. Samlet set, modtager bygherre et bud på, hvilke tiltag der kan stoppe yderligere skade, samt give den ønskede energioptimering.

Som en del af vurderingen, foretages der målinger, samt visuelle og destruktive undersøgelser. Der vil således i rapporten være fokus på bygningsfysiske aspekter, så som kuldebroer, fugt, skimmel og varmetekniske egenskaber. Ud fra undersøgelser og måledata kvalificeres der problemområder, som efterprøves teoretisk i beregningsprogrammerne HEAT2 og WUFI. Resultaterne opsummeres og samles i et forslag til renovering og energioptimering.

1.1.0 Opgaveformulering

Rapporten har til formål at rådgive en bygherre omkring energioptimeringsmuligheder på et stuehus fra 1860. I forbindelse med energioptimeringen skal der gøres rede for ejendommens nuværende stand i form af en tilstandsregistrering. Der er fokus på datidens byggeskik og de oprindelige konstruktioners egenskaber og stand. Der er desuden opmærksomhed på uregelmæssigheder i konstruktioner på ejendommen, særligt indvendige forsatsvægge, som kræver nærmere undersøgelser.

Til at undersøge eksisterende forhold, udføres destruktive prøver af udvalgte bygningsdele, samt simuleringer af bygningsdele ved beregningsprogrammerne WUFI og HEAT2. Yderligere indsamles datagrundlag med termografi, temperaturmåler, fugtmåler, samt logning af temperatur og fugtforhold med USB-loggere.

På baggrund af undersøgelserne, skal der udarbejdes en aktuel BE18 beregning for bygningens nuværende energibehov, samt en anbefaling på en samlet renovering af stuehuset, og om de eksisterende efterisoleringer kan bibeholdes eller bør udskiftes. Anbefalingen skal samtidig omfatte forbedringsforslag der bringer bygningen op i renoveringsklasse 1 eller 2. Herunder omkostninger forbundet med renoveringen, samt tilbagebetalingstid og rentabilitet.

Yderligere gøres der rede for en fremadrettet håndtering af fugt, når bygningen er udsat for vand fra oven, i form af tre gange skybrud, vand fra siden, i tilfælde af vandmættede jordlag og vand fra neden ved forhøjet grundvandsspejl. Dette belyses, for at besvare bygherres bekymring for klimaforandringer og dermed, om en investering i ejendommen er sikret fremtidens nedbør.

1.1.1 Afgrænsning

Da stuehuset på ejendommen i projektforsløbet er under renovering på tagetage samt badeværelse i stueetagen, vil disse to områder kun indgå i et begrænset omfang. Dog er der bærende konstruktioner i tagetagen, som vil indgå i projektet. Rapporten er ikke udarbejdet som en tilstandsrapport, ej heller med henblik på salg af boligen. Rapporten begrænser sig til en bygningsregistrering og standsmæssig vurdering, samt en række undersøgelser, som leder til anbefalinger om energirenovering, som bringer stuehuset op i renoveringsklasse 1 eller 2.

Grundet tidsaspektet for masterprojektet, er USB logninger udført over en begrænset tidsperiode på to måneder (december og januar). Dermed er disse målinger et udtryk for et forholdsvist kort indblik i bygningens faktiske fugtforhold. Ideelt set, ville logninger over en periode på et år, give et mere fyldestgørende billede som grundlag. Derfor anvendes der simuleringssværktøjer, som giver et teoretisk billede over en længere periode ud fra kendte inddata.

Teori

1.2 Varmetransmission

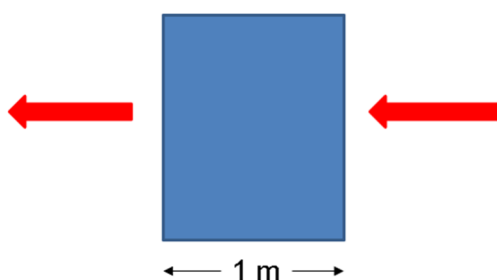
Transmission af varme kan defineres som en ensrettet udveksling af energi imellem to legemer af forskellig temperatur. Temperaturforskellen vil drive transmissionen som vil forsøge at udligne forskellen. Varmetransmission kan opdeles i tre typer; ledning, konvektion og stråling.

Varmeledning

Varmeledning opstår ved partikulær bevægelse, hvorved overførsel af energi sker fra molekyle til molekyle. I praksis kendes det fra varmeledning i faste materialer, som f.eks. en ydervægskonstruktion med kuldebroer.

Varmeledningsevne også kaldet et materiales lampeværdi, er et materiales evne til at lede eller udligne en temperaturforskel. Den udregnes ved at tage et materiale på en meter i tykkelsen og måle, hvor lang tid det tager overføre,

$1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} = 0,860 \text{ kcal} / \text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$. Nedenfor i figur 1 illustreres varmestrømmen



Figur 1 Illustration af varmestrøm gennem en meter materiale.

Materialets varmeledningsevne $[\lambda]$ kan derefter anvendes til at finde isolansen af et givent materiale. En værdi pr. m^2 , som angiver materialets evne til at isolere varmestrømmen.

Isolationsevne

Isolanserne for alle materialerne som indgår i en bygningsdel opsummeres og i de fleste tilfælde, tillægges der en overgangsisolans udvendigt og indvendigt. Overgangsisolansen er et udtryk for modstand mod varmens overgang mellem luft og en fritliggende overflade. U-værdien er udtryk for hvor meget varme der trænger ud igennem 1m^2 af konstruktionen ved en temperaturforskel på 1 grad af den udvendige og den indvendige side af konstruktionen. U-værdien kaldes også for transmissionskoefficienten. U-værdien beregnes som reciprok værdien af bygningsdelens samlede isolans.

Enhedsversigt:

Tykkelse, d [m]

Varmeledningsevne, λ [W/m·K]

Isolans, R [m²·K/W]

Varmeledning i kuldebroer

I bygningsfysikken er kuldebroer et velkendt område, som har været nævnt i litteraturen helt tilbage til 1966, hvor der i “Bygningsreglement for KOBSTÆDERNEOGLANDET” er nævnt at bygningsdele kun må indeholde kuldebroer i uvæsentligt omfang. I datidens byggerier, var konstruktionerne isoleret i mindre grad og havde derfor høje U-værdier, hvilket betød, at en kuldebro ikke havde den store betydning i den samlede konstruktion, da U-værdi forskellen var lille imellem normalkonstruktionen og kuldebroen. Som konstruktionerne og byggerierne har udviklet sig, er der kommet mere fokus på byggerier med lave U-værdier. Dette opnås ved at tilføre mere isolering i konstruktionerne, som resulterer i, at kuldebroerne får større procentmæssig betydning for den samlede konstruktion. Kuldebroer er samtidig medvirkende til, at en indvendig overflade er kold. Kolde overflader kan give gener som kuldenedfald og træk, når overtemperaturen er lavere i et område og køler den omgivende luft. Samtidig kan den lave temperatur på overfladen give anledning til høj luftfugtighed, som kan resultere i kondens, hvor betingelser for skimmelvækst kan opstå. (Møller, E. 2016). (Jensen, C. P. 1966).

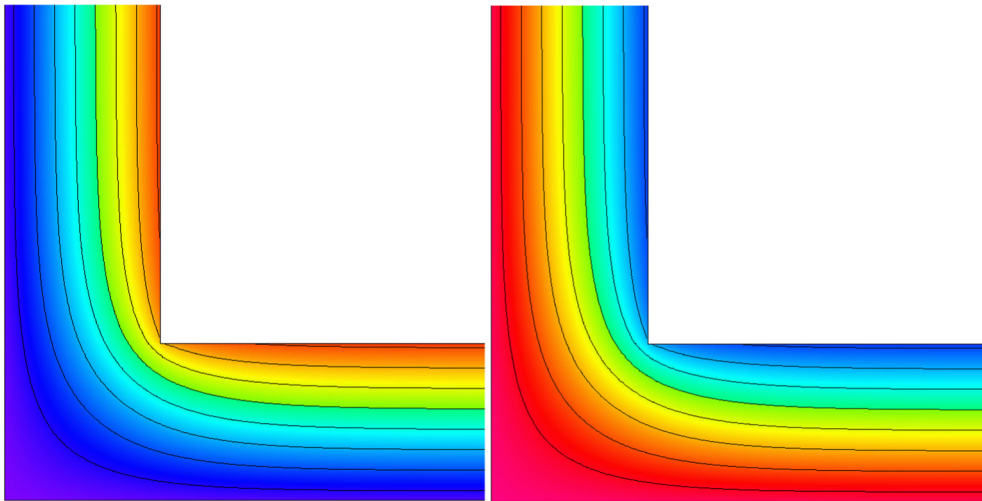
Der findes 4 kendte kuldebrostyper:

- Geometriske
- Konstruktive
- Systematiske
- Konvektive

Samlet set kan kuldebroer beskrives som områder i konstruktionen, hvor der opstår 2 eller 3 dimensionelle varmestrømme, som påvirker varmetabet i konstruktionen.

Geometrisk

En geometrisk kuldebro kendetegnes ved alle konstruktioner, hvor der er forskel på det indvendige og udvendige areal. Typiske konstruktioner, hvor der opstår geometriske kuldebroer, er f.eks. hjørnesamlinger og samlinger imellem døre/vinduer i ydervægge. Ses der nærmere på et eksempel med hjørnesamlinger på bygninger, giver indvendige hjørner en positiv kuldebro, hvor udvendige hjørner giver en negativ kuldebro. Forskellen grunder i, at det samlede overfladeareal er størst indvendigt eller udvendigt. Reglerne for opmåling af disse følger DS418. På figur 2 og figur 3 fremgår en illustration af et udvendigt og indvendigt hjørne. Her ses det, hvordan isotermerne på det udvendige hjørne trækkes rundt om hjørnet og giver et større udvendigt overfladeareal til af lede varmen ud. Modsat vil overfladen i et indvendigt hjørne, give et mindre udvendigt overfladeareal.

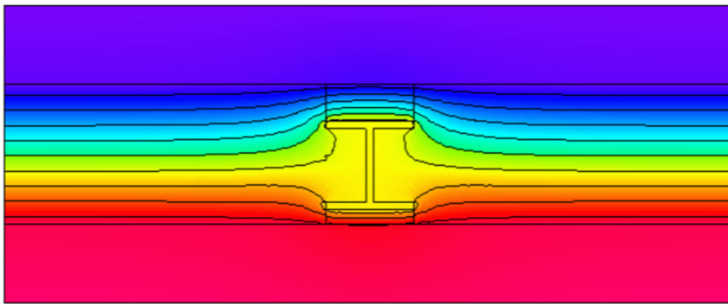


Figur 2 Illustration udvendigt hjørne

Figur 3 Illustration indvendigt hjørne

Konstruktiv

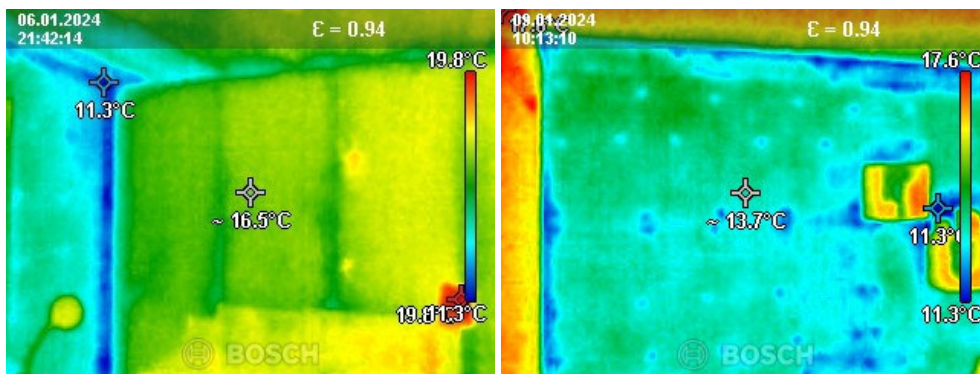
En konstruktiv kuldebro findes i konstruktioner, hvor isoleringslaget afbrydes gennemgående eller delvist. Konstruktive kuldebroer kendes derfor fra linjetab eller punkttab i samlinger ved fundamenter, murfalsse og døre/vinduer. Det er udbredt i ældre byggerier, hvor murede skillevæg ofte ses udmuret i facadevægge. Det resulterer i en brudt facadeopbygning, og der opstår køligere indvendige hjørner mellem facade og skillevæg. Et andet eksempel, som ses fra mere moderne byggerier, er vindtrykssøjler i en facadekonstruktion, som helt eller delvist afbryder isoleringen. Figur 4 nedenfor illustrere en konstruktiv kuldebro, her ses det, at isotermerne trækkes rundt om søjlen og varmen ledes ud i facaden via stålsøjlen, dermed vil der opstå lavere temperatur på den indvendige overflade mod stålsøjlen.



Figur 4 Illustration af konstruktiv kuldebro vindtrykssøjle i facadekonstruktion

Systematisk

Systematiske kuldebroer med meget lig de konstruktive. Dog defineres denne type, ved at fremstå systematisk i konstruktioner. Denne type af kuldebro er som regel mindre betydningsfuld, end den konstruktive kuldebro, men ved større antal, kan den have stor indflydelse på varmetabet. Systematiske kuldebroer kendes typisk fra murbindere i stål, forsatsskelletter og lette konstruktioner. Et eksempel kan være en forsatsvæg, hvor der systematisk står stålreglar med samme afstand over hele konstruktionen. Nedenfor i figur 5 ses et termografi af en forsatsvæg med stålskelet. En anden form for systematisk kuldebro, fremgår af termografien til højre, figur 6 hvor troldektplader er sømmet fast på en massiv facadevæg, her fremgår sømmene tydeligt som køligere punkter på den indvendige overflade.

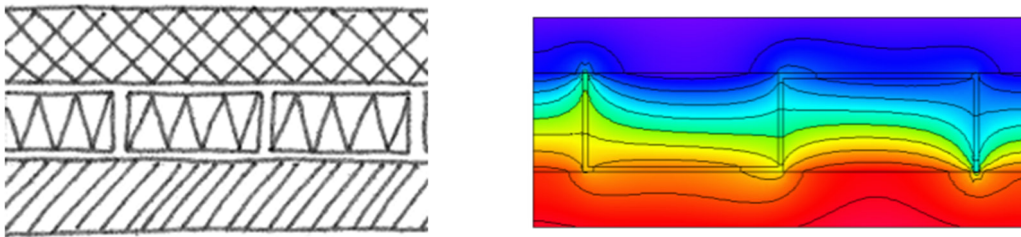


Figur 5 Illustration forsatsvæg stålskelet

Figur 6 Plader sømmet på facadevæg

Konvektive

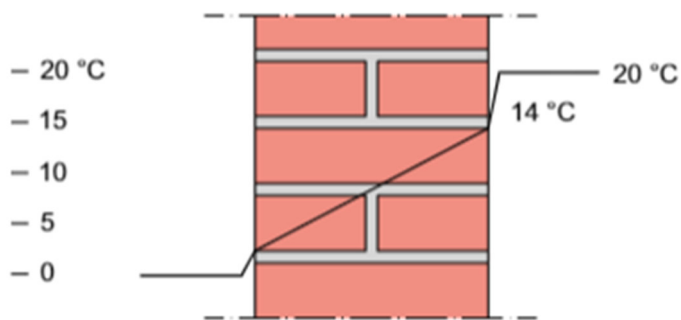
Konvektive kuldebroer opstår ved luftstrømninger, der defineres som utilsigtet konvektion. En konvektiv kuldebro kan opstå i konstruktioner, hvor isolering møder isolering, f.eks. tagkonstruktioner eller tunge facadevægge med et isoleringslag i midten. Konvektionen opstår, hvor isoleringslaget ikke bliver trykket omhyggeligt sammen, hvorved der kan opstå sprækker eller luftspalter mellem isoleringen. Her kan der opstå naturlig cirkulation, hvor luften vil cirkulere rundt fra den varme del, til den kolde del af konstruktionen. Dermed optager den kolde luft energi fra den varme side, hvor den bliver lettere og cirkulere op til den kolde del, hvor varmen igen afgives. Dermed vil den indvendige overflade ud for luftspalten nedkøles. På figur 7 illustreres luftspalter imellem isoleringen, her kan det ses, hvordan isotermerne trækkes ind i konstruktionen ud for hver luftspalte. Et andet eksempel, som kendes fra byggeriet, kan være forkert udført eller manglende vindspærreplade i tagfod. Her kan vindpåvirkningen være medvirkende til at skubbe på isoleringen, hvorved der på sigt kan opstå utilsigtede luftspalter og dermed konvektive kuldebroer.



Figur 7 Illustration af konvektiv kuldebro med luftspalte mellem isolering som skitse og termografi.

Overfladekondens på kuldebroer

I vinterhalvåret har kuldebroer typisk en lavere indvendig overfladetemperatur end den omgivende indeluft, grundet varmeledningen til udeklimaet. Som regel har velisolerede konstruktioner en temperaturforskel på 1-2°C, hvorfor der ikke er fare for kondensdannelse. Ses der modsat på dårligt isolerede konstruktioner, er der markant større forskel på overfladetemperaturer, hvor forskellen kan være 5-6°C, og i nogle tilfælde endda større. Den forskel i temperaturen kan medføre kondensdannelse på kuldebroer. Temperaturforløbet igennem konstruktionen, er illustreret på figur 8, hvor temperaturen ses falde markant ved den indvendige overflade og falder stødt hen over konstruktionen.



Figur 8 Temperaturforløb over konstruktion.

1.3 Fugtteori

Fugt er en stor del af bygningsfysikkens verden og påfører hver år mange bygninger omkostningsfulde skader. I løbet af en bygnings levetid, påvirkes konstruktioner og bygningsdele af fugt, både udvendig og indvendigt i varierende grad. Belastningerne optræder grundlæggende på tre former, fugt på damp-, væske- og fast form. Ses der nærmere på fugt i damp form, er der tale om luftens fugtindhold, herunder to begreber, den relative fugtighed og den absolutte fugtighed.

Relativ fugtighed angiver forholdet mellem luftens faktiske koncentration af vand og den maksimale koncentration af vand. Den relative fugtighed angives i procent og benævnes med forkortelsen RF eller RH.

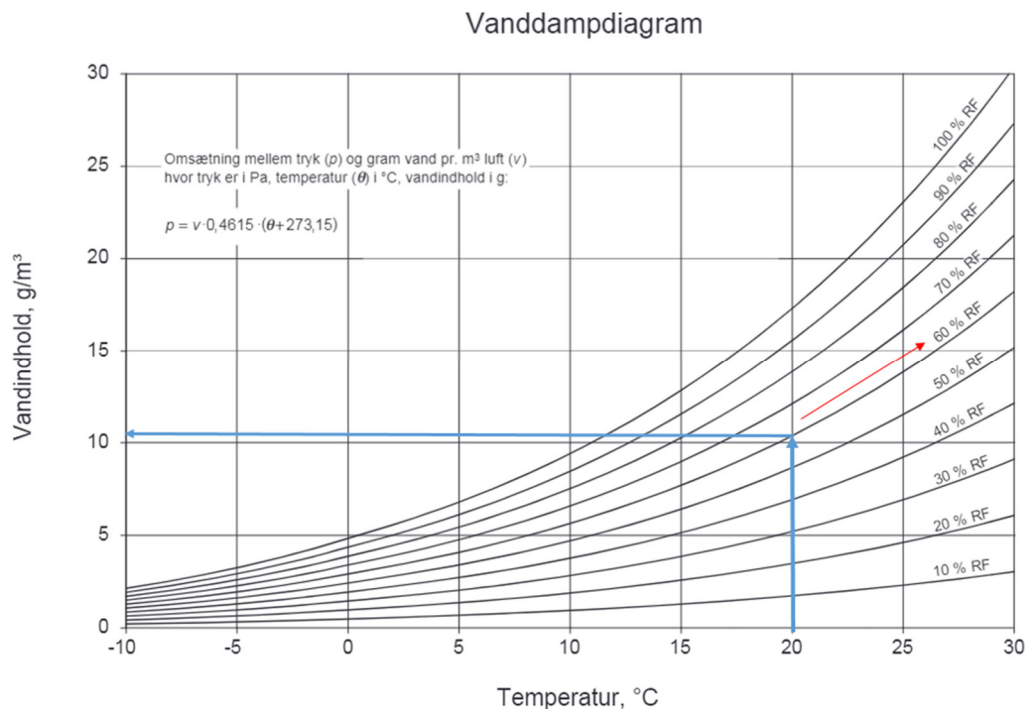
Den absolutte fugtighed er et udtryk for, hvor meget fugt luften totalt indeholder. Absolut fugtighed angives RA og angives i gram pr. kubikmeter (g/m^3). Luftens kapacitet til, at indeholde fugt, er afhængig af temperaturen og trykket. Hvis trykket forudsættes at være atmosfærisk tryk eller normaltryk, er det luftens temperatur der er afgørende for, hvor meget fugt luften kan indeholde og dermed, hvordan luften kan optage og afgive fugten. (Brandt 2013)

Matematisk kan damp i luften betragtes efter idealgasligningen:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

- p = gstryk [Pa]
- V = volumen [m^3]
- n = gasmængde [mol]
- R = gaskonstant 8,314 [(J/mol K)]
- T = temperatur [K]

For nemt at kunne bestemme luftens indhold af fugt, kan der i stedet for beregninger, anvendes et vanddampdiagram figur 9. På diagrammet er der indtegnet et eksempel på luft ved 20°C med 60% RF, her har luften et vandindhold på ca. $10,5 \text{ g}/\text{m}^3$.



Figur 9 Vanddampdiagram.

Diagrammet kan ud over at vise det totale vandindhold i luften også vise, hvilke ændringer, der sker i den relative fugtighed, når temperaturen ændrer sig. Hvis RF% kommer på 100% er luften mættet og har nået sit dugpunkt. Dermed kan luften ikke indeholde mere vanddamp og ved yderligere sænkning af temperaturen, vil der ske en udfældning af kondens, hvor vanddampen i luften går på væskeform. Forhold som disse kan findes flere steder i byggeriet og er særligt udbredt i ældre byggerier. I de ældre byggerier, giver en lav grad af isolering kolde indvendige overflader, hvor der især ved kuldebroer, er der risiko for kondensdannelse. Når varm fugtig luft rammer den kolde overflade, nedkøles luften og den relative fugtighed stiger, er overfladen kold nok kan luften komme under sin dugpunktstemperatur og kondensering vil ske på overfladen. Det er der et faseskifte sker fra damp til væskeform.

Når kondensationen er sket på overfladen af en væg eller inde i konstruktionen, vil der være stor risiko for at materialer i konstruktionen vil optage fugten. Materialerne vil forsøge at komme i ligevægt, derfor vil fugten trække imod lavere fugtindhold og med hjælp fra damptrykket indvendigt kan fugt og fugtig luft trække ud i konstruktionen. Opfugtning af konstruktionsdele kan give anledning til råd, skimmelsvamp og hvis temperaturen på f.eks. opfugtet murværk kommer under frysepunktet, kan der ske frostskafer på tegl og fuger.

Udvendig fugtbelastning

Bygninger bliver udsat for fugt på flere forskellige måder, derfor er det vigtigt at materialerne som klimaskærmen er lavet af, kan modstå og afvise de fugtmæssige forhold de bliver udsat for. Det er altid vigtigt at vise vand væk fra bygninger, da vand volder vanskeligheder.

Vand fra oven i form af nedbør udsætter tag, facade og sokkel for direkte vandpåvirkning. Taget skal derfor have en overflade, som leder vandet korrekt imod afløb. Det betyder at det regnvand der rammer taget, bliver ledt ned mod tagrenden, hvor vandet ledes videre til nedløb. Alle afløbsforhold skal dimensioneres, så vandet fra tagfladen kan bortledes, uden der sker overløb ned i tagfod eller facadekonstruktion. Vandet fra tagflades ledes via nedløbet til sandfang og videre til f.eks. regnvandskloak, faskine eller regnvandsbassin.

Vand fra neden kan betegnes som grundfugt og kan være opstigende fugt fra oversvømmelse i kloaknet eller stigende grundvandsspejl. Dette kan have store konsekvenser for lavtliggende byggerier og konstruktioner, som kældre og skakter, hvor vandet kan stå op af afløbssystemer.

Vand fra siden kan komme fra nedbør, der forårsager oversvømmelse i terræn. Det er derfor vigtigt at nedbør ikke opstuvet og samles omkring bygninger, men i stedet ledes bort. Det kan ske med korrekt fald terræn væk fra bygninger samt afløbsmuligheder, som grøfter og overfladedræn.

Indvendig fugtbelastning

Under almindelig brug af beboelsesbygninger, bliver der dannet fugt, som påvirker bygningens indeklima og konstruktioner. Et typisk kendetegn på høj luftfugtighed i f.eks. soveværelset, er kondens som kan findes i kanten af vinduer. Et menneske afgiver omkring 2 liter væske i døgnet, dvs. en familie på 5 personer, afgiver i nærheden af 10 liter fugt til indeluften hen over et døgn. Samtidig tilføres der fugt til indeluften, fra madlavning, opvask, tørring af tøj samt rengøring. Potteplanter, akvarier og andre husdyr er også med til at øge fugtbelastningen. Med alt den fugtproduktion i boligen, er det vigtigt af få luftet ud, da fugten bedst kan ventileres bort. I ældre byggerier anvendes der oprindeligt naturlig ventilation, som foregår via udluftning igennem vinduesåbninger, udluftningsspalter eller skakter med aftræk, her skal der henledes særlig opmærksomhed på regelmæssig udluftning af brugeren.

Boligens indretning

Når der er tale om ældre byggerier, er det vigtigt, at møbler så vidt muligt ikke placeres op af kolde ydervægge og kuldebroer. Hvis møbler placeres mod kolde indvendige overflader, er der risiko for nedsat luftcirkulation bag møblet, med ophobning af fugt til følge. Det giver gode forudsætninger for skimmelvækst og kan sætte sig på både væg og møbel. Kan placeringen ikke ændres, bør møbler trækkes min 10 cm væk fra væggen, så stillestående luft bag møblet undgås. Især i soveværelset, hvor mennesker sover og dermed opholder sig i ca. 8 timer om dagen, kan der være forhøjet luftfugtighed. Samtidig ønskes der oftest en lavere temperatur, som samlet giver anledning til fugtproblemer. (Trane, U. 2020) (Brandt, E. 2023)

Fugtrisikoklasser

Ved renovering, er der sandsynlighed for, at bygningen udsættes for byggefugt. Derfor er fugtrisikoklasser aktuelle at kende for bygherre. Ved renovering af f.eks. gulvkonstruktioner, som indebærer støbning af nye betongulve, er det vurderingen, at bygningen vil ligge i en fugtrisikoklasse 3, som det fremgår af figur 10 nedenfor.

Byggeværkets sårbarhed over for fugt	Fugtpåvirkninger under udførelse		
	Lav	Middel	Høj
Lav	Fugtrisikoklasse 1	Fugtrisikoklasse 1	Fugtrisikoklasse 2
Middel	Fugtrisikoklasse 1	Fugtrisikoklasse 2	Fugtrisikoklasse 3
Høj	Fugtrisikoklasse 2	Fugtrisikoklasse 3	Fugtrisikoklasse 3

Figur 10 Fugtrisikoklasser fra SBI 278

Begrundelsen for placeringen i fugtrisikoklasse 3 er, at fugtpåvirkningen ved støbning af beton, ligger i høj risiko. Udtørningsprocessen afgiver en stor del fugt til indeluften og da omkring halvdelen af bygningen kan være i brug under renoveringen, kan der være møbleret mv. i tilstødende rum. I sådanne tilfælde, er der vigtigt at bygherre laver sig en fugtstrategi eller tilvælger en fugtsagkyndig inden renovering påbegyndes (Brandt, E. 2023).

Materialers fugtegenskaber

Byggematerialer har forskellige fugtegenskaber, hvilket betyder at de også opføre sig forskelligt når de udsættes for fugt. De fleste byggematerialer, vil normalt optage fugt, herunder træ, mineraluld og beton, mens andre materialer, som glas og metal er fugttætte og dermed ikke optager fugt.

Ses der nærmere på de enkelte materialer, kan der laves en opdeling i fire kategorier.

- Materialer uden porer
- Materialer med isolerede poresystemer (kontinuert)
- Materialer som ikke hænger sammen (diskontinuert)
- Materialer med sammenhængende poresystemer (kontinuert)

Materialer uden porer findes i byggeriet som glasmaterialer, stål og nogle plastmaterialer. Eksempler på glasmaterialer er f.eks. Vinduer og glaspartier, som gør det muligt at få lys ind i bygningen og som giver udsyn. Eksempler på stål kan ses i konstruktionen som f.eks. armering i beton, skellet i lette konstruktioner eller forsatsvægge og varmeafgiver som radiatorer. Fælles for alle disse materialer er, at de ikke har et poresystem og dermed ikke optager fugt.

Materialer med isolerede poresystemer er materialer der har en meget begrænset evne til at optage fugt. Porerne isoleres fra hinanden, forhindrer fugttransport fra pore til pore. Det udnyttes f.eks. i kapillarbrydende lag i gulvkonstruktioner, hvor materialer som polystyren anvendes som isolering. Dermed forhindres fugt i at trænge op i konstruktionen.

Materialer med diskontinuer struktur, ses ved materialer som ikke hænger sammen eller som er stærkt porøse. Disse egenskaber findes f.eks. i mineraluld, som anvendes til isolering i byggerier. Fælles for disse materialer er, at de er gennemtrængelige for luft og i tør tilstand er porerne luftfyldte. Omvendt er materialerne modtagelige for fugt, og i våd tilstand, hvor porerne er fyldt med vand, forringes isolationsevnen.

Materialer med kontinuer struktur, ses på de mest kendte bygningsmaterialer såsom, mursten, beton, letbeton og træ. Porerne i disse materialer består af et sammenhængende kanalsystem med åbne porer. Et åbent poresystem er modtageligt for fugt, i både den omgivende luft, hvor fugten er på dampform, men er også modtagelig for fugt på væskeform fra f.eks. nedbør og lækager (Godtfredsen og Nielsen, 2015).

Ses der nærmere på træ som byggemateriale, er der nogle særlige egenskaber som gør sig gældende. Ved opfugtning, vil træets dimensioner ændre sig. Det betyder i praksis, at der ved opfugtning kan ske udvidelser i tangentiell retning, som imellem sommer og vinter, kan give forskelle på op til 1% i bredde og tykkelse. I konstruktioner med bjælkelag, kan bjælker i vintermånederne begynde at krumme, som følge af forskel i fugtindhold på overside og underside. En bjælke på 4 meter i længden og 200mm i højden, vil kunne få en krumning på op til 15mm i opadgående retning. Disse egenskaber kan forvolde store skader på bygningen, hvor der i tilfælde af vandskade, er set ydervægge presset ud, som følge af trægulves udvidelse.

Lufttæthed

Klimaskærmens tæthed har betydning for bygningens energiforbrug, da utætheder medfører øgede omkostninger til opvarmning. Vinden påvirker bygninger ved at skabe overtryk på luvsiden og undertryk på læsiden. Når der opstår overtryk på den udvendige side, presses luft ind i konstruktionen gennem utætheder, og der kan ske en afkøling af overflader og konstruktionsdele. Ved undertryk suges fugtig varm luft i bygningen ud i konstruktioner og kan medføre opfugtning af bygningsdele og materialer. Fugt i materialer kan medføre risiko for nedbrydning af samt skimmelvækst, dertil nedsætter fugten isoleringsevnen, så der skal mere energi til at holde bygningen opvarmet.

Bygningens tæthed, kan opdeles i en udvendig og en indvendig tæthed. Den udvendige tætning skal beskytte mod påvirkninger, fra vind og vejr. Den indvendige tætning skal sikre at varm fugtig luft ikke kommer ud i konstruktionen og kaldet dampdiffusionstæt. (Møller, M. 2016).

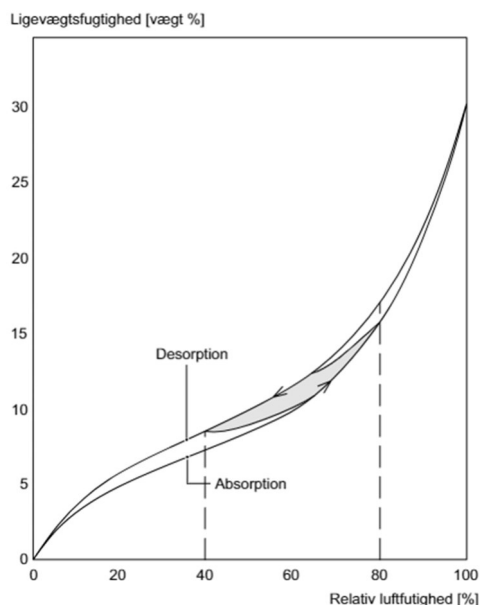
Det er svært at opnå 100% lufttæthed i bygninger, derfor arbejdes der ud fra fastsatte grænser for, hvor utætte nye bygninger må være. Utætheden benævnes infiltration og især i ældre bygninger, opleves der ofte udfordringer med utætheder, hvor infiltration fra udeluften indgår som en del af den naturlige ventilation. Disse forhold kan både skyldes manglende vedligehold af facader, men også, at der i ældre byggerier ikke er etableret tæthedsplan med membraner, som kendes fra nutidens byggeri. Det er derfor vigtigt, at der ved renovering af ældre byggerier henledes fokus på tætheden. Lovgivningsmæssigt er der krav til tætheden- i nye byggerier og ved renovering til renoveringsklasse 1, stilles der ligeledes krav i Bygningsreglementet 2018 (BR18) på 1 l/s m² som kan eftervises med blowerdoor test.

Nedbrydning og råd

Når træ gentagende gange udsættes for fugt som overstiger visse mængder, kan konstruktionerne angribes af råd og trænedbrydende svampe. I trækonstruktioner sættes det kritiske fugtforhold til:

- 20% fugtindhold, kan starte et nyt angreb (Svarer til ligevægt med 87% relativ fugtighed i luften.
- 15% fugtindhold, i træ, der tidligere har været angrebet, svarende til ligevægt med 73% relativ fugtighed i luften, kan starte angreb igen.

Dermed har det betydning for træet, hvad det tidligere har været udsat for. Hvis træ skiftevis udsættes for opfugtning og udtørring vil fugtindholdet kunne illustreres på en hysteresese. se figur 11 nedenfor, som viser fugtforløbet ved absorption og desorption, svarende til ligevægt med omgivelsernes relative luftfugtighed.

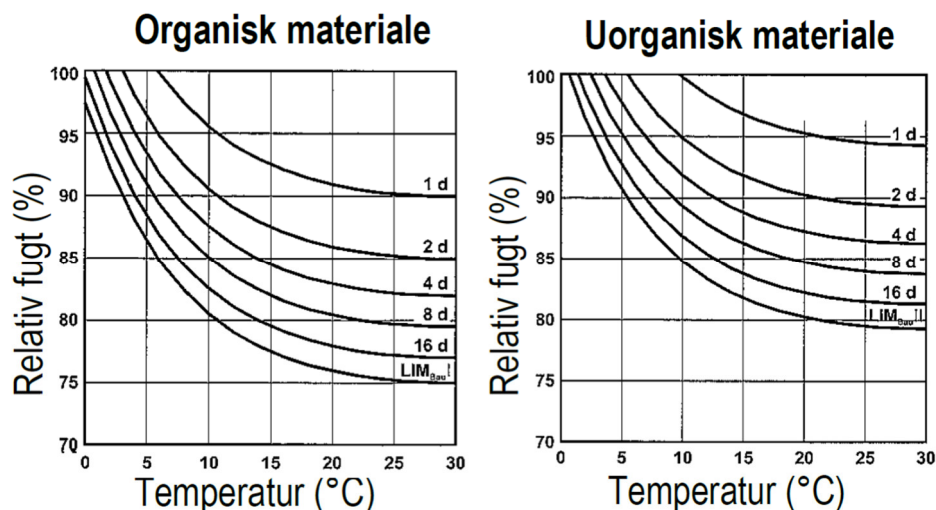


Figur 11 hysteresese for træ

Pilene på sløjfen viser, at der ved absorption sker en stigning i fugtindholdet, hvor kurven følges op og modsat ved desorption, ses et fald i fugtindholdet, hvor kurven følges ned. I konstruktioner med træ, vil der normalt ikke være så store variationer i fugtindholdet, som typisk vil ligge imellem 7-15% og derfor vil bevæge sig inden for det grå område, men kan potentielt komme op omkring 28% fugtindhold, alt efter træsort.

Skimmelsvamp og analyse

Skimmel dannes over tid under de rigtige temperaturer og fugtforhold. På figur 12 fremgår skimmeldiagram, som viser sammenhængen på temperatur og relativ fugtighed i forhold til den tid, der skal gå før skimmelsvamp, etablerer sig. Diagrammet til venstre viser tiden for organiske materialer og diagrammet til højre viser for uorganiske materialer (Sedlbauer, 2001).



Figur 12 Diagram for skimmelvækst i organiske og uorganiske materialer.

Som det fremgår af diagrammerne i figur 12 ovenfor, stopper skimmelvækst ved 30°C og under 75% relativ fugtighed. Dette skyldes, at de fleste skimmelsvampe ikke kan vokse, ved fugtforhold under 75% RF eller hvis der er over 40°C på de overflader eller materialer, som er udsat for skimmelvækst. Disse forhold udnyttes under skimmelsanering, hvor konstruktionen opvarmes og udtørres inden ”død skimmel” afrenses og fjernes.

Er der mistanke om skimmelvækst, findes der som udgangspunkt 5 metoder til at analysere, om der er skimmelsvamp, og i nogle undersøgelser også hvilken skimmelsvamp der er repræsenteret i et givent tilfælde

1. Tapeaftryk er et specielt stykke tape, som er lavet til at modtage og opsamle skimmelsporer og afvise støv og alt andet der ikke giver anledning til skimmel. Tapen hedder geltape og metoden er, at trykke tapen mod de områder der mistænkes at være udsat for skimmel. Derefter placeres tapen under lysfeltmikroskop, hvor det er muligt at identificere skimmelspore.
2. Aftryksplade også kaldet en agarplade, er udviklet til at opsamle skimmelspore. Pladen fungerer på den måde, at den trykkes imod det mistænkte område, hvor plade afspejler de eventuelle skimmelvækster. Efter aftrykket er taget, går der 5-7 dage før pladen har udviklet sig.
3. Dyrkningsplader er i samme kategori som ovenstående, men her opsamles skimmelspore via et luftopsamlingsudstyr, så man kan opsamle de spiringsdygtige sporer der er i luften. Der kan også overføres prøver, som er taget med enten vatpind eller svabermetoden.
4. NAHA-enzymtest er en hurtig metode, hvor arten af skimmelsvampen ikke identificeres, men kun om der er skimmel til stede og i hvilken mængde. Testen kan udføres på to måder, den ene er opsamling af en afstemt luftmængde som filtreres. Det filtrerede materiale blandes med en væske, som kan afsløre, hvor stor en del af det opsamlede, der er skimmelspore. Andelen kan via en tabel, give svar på omfanget. Den anden er svabermetoden, hvor der svabes et bestemt areal, som så også blandes i den omtalte væske, og holdes op mod en tabel der indplacerer skimmelomfanget.
5. DNA-test er den mest sårbare og følsomme metode, men også den metode der er mest udvikling i. Her opsamles prøver via svaber eller vatpind og der analyseres via DNA, om det er en skimmelspore og hvilken art der er tale om. Dette kan udnyttes til at fastlægge den præcise type af skimmel, og giver dermed et retvisende billede af dennes udviklingsmetode og egenskaber. Når man har et DNA af skimmelspore, har man i nogle af disse testregistre op imod 100 forskellige skimmeltyper som sammenligningsgrundlag. Et register der stiger støt i takt med udviklingen af metoden. (Thrane, U. 2019).

1.4 Energiberegning BE18

BE18 beregningsprogram, anvendes til at beregning og dokumentation af bygningers energiramme. Programmet kan eftervise, at BR18 krav til bygningers energibehov overholdes, samt give data til dokumentation af BR18 § 264 transmissionsrammen og BR18 §385-386 simulering af termisk indeklima ved boliger. Programmet bliver i denne rapport, brugt til at beregne den aktuelle bygnings energibehov, samt eftervise, at de ændringer som foreslås bygherre, kan bringe stuehuset op i renoveringsklasse 1 eller 2. På forsiden af programmet, figur 13 findes alle hovedoplysningerne om bygningen og her fremgår det f.eks., hvilken adresse bygningen ligger på, opvarmningsform, bygningens transmissionstab mv.

Under det samlede opvarmet etageareal og det bebygget areal, indskrives de respektive arealer og hvis der er en forskel i disse to arealer, fortæller det programmet, hvor mange etager bygningen har.

Varmekapacitet giver programmet grundlag for at beregne, hvor hurtigt eller langsomt bygningen kan optage varme og afgive varme. Dette udregnes efter en tabel fra SBI 213.

Brugstiden i en bolig er alle døgnets 24 timer, hvor en skole eller kontor eller anden form for arbejdsplads kan brugstiden tilpasses de aktive timer bygningen bliver brugt.

Rotation bruger programmet til at udregne skyggepåvirkningen af sollys ind gennem vinduer, som giver et gratis energitilskud til bygningen, men også giver en ide til, om der er et rum eller flere rum hvor bygherre risikere overtemperaturer. Under varmforsyning vælges den forsyningsform bygningen opvarmes med, herunder kan der vælges bidrag fra sekundære varmekilder, som f.eks. en brændeovn.

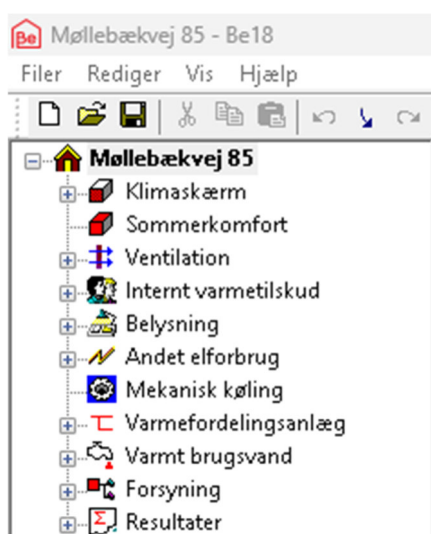
Under det samlede varmetab vil bygningens transmissionstab komme med et resultat, efterhånden som klimaskærm samt ventilationsdelen i programmet bliver udfyldt. Herudover kan der også ses ventilationstab både med naturlig ventilering og mekanisk ventilation med og uden varmegenvinding.

Transmissionstabsrammen fastsættes af bygningsreglementet med en udregning se §264 $12,0+6,0/E+300/A$ hvor E er antal etager og A er det opvarmede etageareal.

Bygning				Beregningsbetingelser	
Navn Møllebækvej 85				BR: Aktuelle i Se beregningsvejledningen	
Fritliggende Fritliggende Fritliggende bolig (fritliggende enfamiliehus) Sammenbyggede boliger (fx dobbel-, række- og kædehuse) Etagebolig, Lager mv eller Andet (ikke bolig)				Tillæg til energirammen for særlige betingelser, kWh/m ² år 0	
1	Antal boligenheder	355	Rotation, °		
266	Opvarmet etageareal, m ²	266	Bruttoareal, m ²		
0	Opvarmet kælder, m ²	0	Andet, m ²		
161	Bebygget areal, m ²				
84	Varmekapacitet, Wh/K m ²	Start, kl.	Slut, kl.	Kun mulig for andre bygninger end boliger og beregningsbetingelser: BR: Aktuelle forhold. OBS: Ny reference for belysning i BR15: 300 lux.	
168	Normal brugstid, timer/uge	0	24		
Varmeforsyning Kedel Kedel Basis: Kedel, Fjernvarme, Blokvarme eller El ☐ Varmefordelingsanlæg (hvis elvarme) Bidrag fra (i prioritets-orden) ☐ 1. Elradiatorer ☐ 2. Brændeovne, gasstrålevarmere og lign. ☐ 3. Solvarme ☐ 4. Varmepumpe ☐ 5. Solceller ☐ 6. Vindmøller					
Mekanisk køling 0 Andel af etageareal, -					
Samlet varmetab Transmissionstab 8,5 kW 32,0 W/m ² Ventilationstab uden vgv 3,8 kW 14,3 W/m ² (om vinteren) I alt 12,3 kW 46,4 W/m ² Ventilationstab med vgv 3,8 kW 14,3 W/m ² (om vinteren) I alt 12,3 kW 46,4 W/m ²					
Transmissionskoefficient Almindelig 16,8 W/m ² Lavenergi 15,8 W/m ²					
Beskrivelse Kommentarer					

Figur 13 Forside illustration af BE18 beregningsprogram.

Programmet er opbygget af forskellige kategorier, som fremgår i programmet med en træstruktur, se figur 14. Hver kategori repræsenterer en installation eller bygningsdel, hvor i bygningens data og forhold indtastes. Jf. beregningsvejledningen, SBI 213.



Figur 14 Træstruktur i BE18.

Et eksempel på udfyldning under en af fanerne i træstrukturen ses i figur 15 nedenfor.

Klimaskærm: Ydervægge, tage og gulve

I fanen ydervæg, tage og gulve indtastes der information på bygningsdelene som areal, arealerne indtastes iht. Beregningsreglerne i DS418 (Dansk Standard, 2020)

Der indtastes U-værdier og temperaturfaktor b. En temperaturfaktor på 1 bruges på det fleste bygningsdele, mens 0,7 bruges på f.eks. terrændæk uden gulvvarme. Det er derfor vigtigt at man inddeler terrændækket i opvarmet og ikke opvarmet, som ses nede i figur 15. Herefter sørger programmet for at beregne det specifikke transmissionstab.

Møllebækvej 85 - Be18

Filer Rediger Vis Hjælp

SBi anvisning 213: Bygningers energibehov, Be18

	Ydervægge, tage og gulve	Areal (m ²)	U (W/m ² K)	b	Ht (W/K)	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)	Tab (W)
		515		CtrlClick	296,312			5557,52
1	Gulv type 1	56	0,52	0,70	20,384	20	10	291,2
2	Gulv type 2	31	0,24	0,70	5,208	20	10	74,4
3	Gulv type 3	74	0,18	1,00	13,32	30	10	266,4
4	Facadevæg type 1	30	1,45	1,00	43,5	20	-12	1392
5	Facadevæg type 2	67	0,84	1,00	56,28	20	-12	1800,96
6	Facadevæg type 3	13	0,43	1,00	5,59	20	-12	178,88
7	Facadevæg type 4	11	0,29	1,00	3,19	20	-12	102,08
8	Facade mod ikke opvarmet bygning	18	0,84	7,00	105,84	20	15	75,6
9	Tagkonstruktion	215	0,2	1,00	43	20	-12	1376

Figur 15 Eksempel af BE18 klimaskærm: Ydervæg, tage og gulve

Renoveringsklasser BR18

Iht. § 280 - § 282 i Bygningsreglementet findes der to renoveringsklasser figur 16, renoveringsklasse 1 og 2 som gælder for eksisterende bygninger.

§ 280

Der gælder følgende for anvendelse af renoveringsklasser for eksisterende bygninger:

- 1) Behovet for tilført energi skal mindst reduceres med 30,0 kWh/m² pr. år.
- 2) Eftervisningen skal ske i henhold til SBi-anvisning 213 Bygningers energibehov.
- 3) Der skal være en andel af vedvarende energi i den samlede energiforsyning til bygninger.
- 4) Ved anvendelse af renoveringsklasse 1 skal kravene til indeklimaet i § 382-384, § 386 og § 443-449 overholdes.

§ 281

Boliger, kollegier, hoteller og lignende kan klassificeres som:

- 1) Renoveringsklasse 2, når det samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand pr. m² opvarmet etageareal ikke overstiger 70,0 kWh/m² pr. år tillagt 2.200 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal.
- 2) Renoveringsklasse 1, når det samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand pr. m² opvarmet etageareal ikke overstiger 52,5 kWh/m² pr. år tillagt 1.650 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal.

Ovenstående citat fra bygningsreglementet kan eftervises i BE18 beregningsprogram under nøgletallet, enten som rapportudskrift eller nederst i træstrukturen.

Hvis bygherre ønsker at opnå renoveringsklasse 1, er det væsentligt at lægge mærke til at § 382-384, § 386 og § 443-449 skal overholdes. Kravet til § 382-384 og § 386 gælder kun, hvis der er arbejdspladser i bygningen, men dette betyder at kravet til ventilation af boligen træder i kraft og bygherre skal derfor ventilere boligen med min 0,3 l/s per m² samt resterende gældende krav i § 443.

Energimærknings-skala	Eksisterende energibehov	Udtryk
A2020		≤ 20
A2015		$\leq 30,0 + 1000 / A$
A2010	Renoveringsklasse 1	$\leq 52,5 + 1650 / A$
B	Renoveringsklasse 2	$\leq 70,0 + 2200 / A$
C		$\leq 110 + 3200 / A$
D		$\leq 150 + 4200 / A$
E		$\leq 190 + 5200 / A$
F		$\leq 240 + 6500 / A$
G	355,2 kWh/m²	$> 240 + 6500 / A$

Figur 16 Energimærkning med indplacering af renoveringsklasser

Energifaktorer

Når der ses nærmere på opvarmning i forbindelse med energimærkning, er der nogle teoretiske faktorer i BE18, som er koblet på de enkelte opvarmningsformer. Det betyder, at der ved valget af opvarmningsform udregnes, hvor meget tilført energi en bestemt varmekilde forbruger for at opvarme bygningen. Dermed udtrykker energifaktorerne primærenergiforbruget for de forskellige forsyningsformer. På figur 17, fremgår oversigt fra BR18 over faktorer. Oversigten bygger på energistyrelsens energistatistik og basisfremskrivninger.

	BR18		BR18
	Gældende til 30. juni 2018		Gældende fra 1. juli 2018
	Standard- byggeri	Bygnings- klasse 2020	Standardbyggeri og lavenergiklasse ¹⁾
Fjernvarme	0,8	0,6	0,85
EI	2,5	1,8	1,9
Andre former for varme	1,0	1,0	1,0

Figur 17 Energifaktorer BR18

Når der udføres beregninger af det samlede energibehov, medtages vægtningen af de enkelte forsyningsformer. Under andre former for varme, fremgår faktor 1, det er f.eks. træpillekedler. Det skal her bemærkes at der i BE18 i forbindelse med andre former, skal indtastes en virkningsgrad. Det betyder at effektiviteten på den aktuelle kedel, tages med i energiberegningen som følger:

$$\text{Træpillekedel} = \frac{\text{Energifaktor}}{\text{Nyttevirkning}} = \frac{1}{0,82} = 1,22$$

$$\text{Jordvarmepumpe} = \frac{\text{El-faktor}}{\text{Middel COP}} = \frac{1,9}{3,9} = 0,48$$

Ses der på den teoretiske beregning imellem en træpillefyret kedel og en varmepumpe, vil primærfaktoren være væsentlig højere for træpillekedlen, da en stor del af energien i træpillerne vil forsvinde op af skorstenen med røggassen. I modsætning til kedlen, vil varmepumpen på trods af den høje elfaktor, give en primærfaktor under 1, som får stor indflydelse på den samlede beregning for den tilførte energi til bygningen. Derfor er der meget energioptimering at hente, ved at skifte varmforsyning til en grøn løsning, med varmepumpe.

1.5 HEAT2 Varmeberegninger

HEAT2 er et internationalt kendt beregningsværktøj til beregning af varmestrømme i konstruktioner. Programmet kan beregne på dynamiske og stationære forhold af 2-dimensionelle varmestrømninger i konstruktioner med forskellig materialesammensætning.

Programmet kan også beregne U- og PSI værdier, samt give grundlag for analyse af kuldebroer. Dette giver mulighed for videre vurdering af temperaturspecifikke isotermer i konstruktioner og på overflader. Programmets rekorder funktion, giver mulighed for simulering af konstruktioner hen over året. Data herfra viderebehandles i Excel, hvor temperaturkurver kan optegnes for simulerede konstruktioner.

Konstruktionsudsnit vil i denne opgave tegnes direkte i HEAT2 preprocessoren. Det er dog muligt at importere forskellige filformater, hvis konstruktionerne optegnes i andre programmer. Programmet indeholder en standard materialeliste, hvor materialer med forskellige egenskaber, kan

tildeles de enkelte konstruktionsdele. Materialelisten kan tilpasses og udvides efter behov og gemmes til senere anvendelse.

Der kan med fordel simplificeres på konstruktionsdele, hvis egenskaber har ringe eller ingen effekt på varmetabet. Det kan f.eks. være fodlister, gulvbelægninger mv, hvorfor disse ikke er medtaget i opgaveløsningen for denne rapport. Programmet inddeler konstruktionen i celler og hver enkelt celle udgør en beregning, som er en del af det samlede resultat. For at få en nøjagtig beregning er det vigtigt at øge celleopløsningen i de områder, som har stor effekt på varmetransmissionen. Dog skal dette gøres med hensyntagen til beregningstiden, jo flere celler der sættes ind i konstruktionen, jo længere tid er programmet om at udføre beregningen. Programmet findes i flere udgaver. Denne rapport anvender HEAT2 med studenter licens fra AAU.

1.6 WUFI Pro

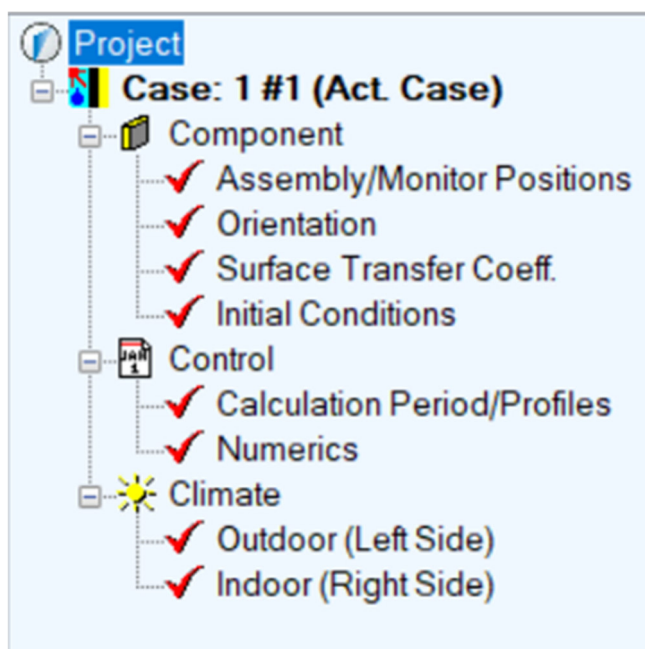
For at kontrollere konstruktioner for fugt og kondensdannelse, kan der anvendes flere metoder. I løbet af uddannelsen Master i bygningsfysik, har undervisningen introduceret to metoder, Glaser og WUFI. Til fugtberegninger i denne rapport, anvendes WUFI Pro, idet programmet giver mulighed for visualisering af forløb, samt mere avancerede simuleringer ud fra vejrdata og geografisk orientering.

WUFI (Wärme- Und Feuchtetransport Instationär) er et softwareprogram, som er udviklet af Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) i Tyskland, til at beregne varme- og fugttransport for flerlags bygningskonstruktioner. Programmet arbejder med dynamiske randbetingelser, og benytter forskellige materialeparametre i forhold til materialers egenskaber og fugtindhold, herunder fugttransport ved diffusion og kapillarsugning. Programmet kan desuden lave beregning ud fra vejrdata med sol og slagregn, hvilket gør resultaterne mere realistiske. Programmet findes i både 1- og 2 dimensional version og er velegnet til at beregne og vurdere følgende:

- Risiko for kondensation
- Udtørretid for konstruktioner
- Indflydelse ved konstruktionsændringer
- Vandabsorption som følge af slagregn
- Fugtforholds indflydelse på isoleringsevnen
- Fugtforhold ved kuldebroer

Fugtforhold i konstruktionen analyseres ved at foretage simuleringer over en længere periode, typisk 3-5 år. Det er afgørende for periodens længde at fugtniveauet i konstruktionen er stabiliseret. Bliver konstruktionen ikke stabil, kan perioden forlænges, indtil der opnås stabilitet. Simuleringerne i WUFI giver samtidigt et samlet billede af fugtindholdet i konstruktionen og i hvert konstruktionslag.

WUFI er bygget op med en træstruktur Figur 18, hvor der for hver konstruktion, oprettes en case. Der kan oprettes flere cases, hvor resultaterne kan sammenlignes.



Figur 18 WUFI-træstruktur

I hver case indtastes den nødvendige data til beregning af fugtforhold i den aktuelle konstruktion. Casen er inddelt i 3 kategorier; component, control og climate, som hver især kan foldes ud med underkategorier. Alle kategorier skal udfyldes før fugtsimuleringen kan udføres. Underkategorierne har et rødt flueben når de ikke er udfyldt og grønt flueben når de er udfyldt.

Component Under fanen “**Assembly/Monitor Positions**” kan der tildeles materialer til de enkelte lag i konstruktionen. Ved at markere det lag der skal defineres og derefter trykke på “Material Data” åbnes et nyt vindue, hvori de forskellige databaser for materialedata fremgår. Materialerne kommer fra forskellige forskningsinstitutter som f.eks. Lund universitet. Findes de aktuelle materialer ikke, kan der indtastes egne materialer, eller materialer kan tilpasses. Når konstruktionen har fået tildelt materialer og

lagtykkelser, er det muligt at tilføje kamera forskellige steder i konstruktionen. Et kamera på et givent sted i konstruktionen, gør det muligt at få indsigt i temperatur og relativ fugtighed lige netop i det punkt, hvor kameraet placeres.

Orientation og indstillinger herunder er især vigtige i forhold til belastninger fra solstråling, slagregn og vind på konstruktionens udvendige overflade. Orienteringen er et udtryk for konstruktionens geografiske retning, og på kompasset "Orientation" kan der vælges imellem 8 forskellige orienteringer N - NE - E - SE - S - SW - W - NW, som vælges med henblik på beregning af regn og strålingsbelastning på overfladen. Inclination er konstruktionens vinkel set i forhold til horisonten. Vinklen kan indstilles fra 90° (lodret vægkonstruktion) til 0° (flad tagkonstruktion), igen med henblik på at kunne beregne regn og strålingsbelastning på overfladen. På denne fane er det muligt at indstille slagregnsbelastning og der kan her vælges imellem to metoder; Den 1. metode: "Rain load calculation according to ASHRAE standard 160" som bygger på faktorer for regneksposering og konstruktionens evne til at beskytte facaden (f.eks. tagudhæng).

Den anden metode, beregner regnmængden ud fra $R1 + R2 * \text{vindhastighed}$. Ved denne metode er der ved vertikale overflader tre pre-definerede multiple choice muligheder, som er afhængig af konstruktionens højde. Sidst på denne fane er det også muligt at angive bygningshøjden. Bygningshøjden er vigtig at angive, da den har betydning for mængden af slagregn der rammer bygningsdelen.

Surface Transfer Coefficient tager konstruktionens varmetransmission med i simuleringen og her i, skal der opsættes nogle overfladebetingelser. "Exterior Heat Resistance", er et udtryk for den udvendige sides overgangsisolans. Programmet har nogle pre-definerede værdier, som kan vælges, eller der kan indtastes en bruger-defineret værdi. I begge tilfælde er det stationære værdier. Ønskes overgangsisolansen at være afhængig af vindforhold, kan dette krydses af i "wind-dependent"

SD-Value er et udtryk for diffusionsmodstand. Er overfladen efterbehandlet, med f.eks. silikatmaling, er SD-værdien en måde at tage højde for overfladebelægningens diffusionshæmmende effekt. Anvendes SD-værdien er det vigtigt at slå "Rain Absorption" fra, da SD-værdier kun påvirker diffusion og ikke vandtransport. (Fraunhofer, Guideline for Using the Air Infiltration Source in WUFI, 2017)

Under fanen **Initial Conditions**, sættes startbetingelserne for materialerne i konstruktionen. “Initial Moisture in Component”, er et udtryk for startfugtindholdet i en bygningsdel. Fugtindholdet kan vælges at gælde igennem hele konstruktionen, eller der kan vælges at angive fugtindholdet i det enkelte lag. Hvis der vælges at angive fugt i de enkelte lag, kan fugtniveauerne tages ind i kg/m^3 , eller det kan vælges at lade programmet tildele typiske fugtindhold i de enkelte bygningsdele. Sidst kan der indlæses en fil med fugtdata for konstruktionens lag. Fugtigheden angives som relativ fugtighed, og mængden af fugt i de enkelte lag afhænger af materialernes hygroskopiske egenskaber.

Control

Inden simuleringen køres skal simuleringsperioden angives under **“Calculation Period”**. Perioden kan med fordel startes på det fugtmæssige mest kritiske tidspunkt, hvilket typisk vil være i efteråret, før de kolde vintermåneder, hvor konstruktionen optager fugt. Hvor lang en periode, der skal beregnes på, afhænger af hvornår der i konstruktionen opnås ligevægt, dvs. hvornår der er periodestabilitet. Normalt er en periode på 3 år tilstrækkeligt. Opnås der ikke ligevægt indenfor de 3 år skal perioden forlænges indtil der er periodestabilitet (Fraunhofer, Guideline for Using the Air Infiltration Source in WUFI, 2017).

Ud over simuleringsperioden angives de resultater som skal inkluderes i simuleringen. Dette gøres under fanen **“Numerics”**, hvor der kan vinges af i Heat transport calculation og Moisture transport calculation. Foruden disse kan der også tages mere avancerede hygrotermiske materialeegenskaber med.

Climate

Ud over fugt skal starttemperaturen for konstruktionen også vælges. Under climate defineres inde- og udeklimaet på hver side af konstruktionen; **“Outdoor”** på venstre side og **“indoor”** på højre side. Udeklima kan vælges ud fra vejrdatabaser, som er tilgængelige i programmets database. Til denne opgave er der valgt Lund, som klimaprofil. Indeklima sættes i forhold til udeklimaet. Udeklimaet skal derfor vælges først. Når udeklimaet er valgt, kan indeklimaet sættes. Typisk sættes indeklimaet ud fra en standard. Vælges ISO 13788 skal der ud over temperatur også angives fugtbelastningsklasse.

Simulering

Simuleringen kan startes på to måder, enten på timeglasset “run”, eller ved at vælge timeglasset med skærmen “Run calculation with film”. På førstnævnte “run” køres simuleringen uden løbende indsigt i resultaterne. På sidstnævnte “Run calculation with film” ses udviklingen i konstruktionen løbende igennem simuleringen, og det er muligt at følge med i, hvad der sker for hvert tidsstep i de enkelte lag, hvor der er placeret et kamera.

WUFI VTT

I tillæg til WUFI's grundlæggende simuleringssoftware, findes der flere tillægsprogrammer, som kan installeres i WUFI. Ses der på skimmelsvamp er der to muligheder og det er WUFI VTT og WUFI bio. VTT-modellen vil i forbindelse med skimmelvurdering blive anvendt i dette projekt. VTT-modellen bygger på en indeksering af risikoen for skimmelvækst, oversigten fremgår på figur 19.

Mould Index	Description of the growth rate
0	No growth
1	Small amounts of mould on surface (microscope), initial stages of local growth
2	Several local mould growth colonies on surface (microscope)
3	Visual findings of mould on surface, < 10 % coverage, or, < 50 % coverage of mould (microscope) ¹
4	Visual findings of mould on surface, 10 – 50 % coverage, or, > 50 % coverage of mould (microscope)
5	Plenty of growth on surface, > 50 % coverage (visual)
6	Heavy and tight growth, coverage about 100 %

Figur 19 Indekserings diagram over skimmelvækst fra WUFI VTT

Indekseringen går fra 0-6, hvor 0 er ingen vækst og 6 er høj vækst med 100% skimmel på en given overflade. VTT anvender simuleringsdata fra WUFI-simuleringen og ud fra yderligere inddata om konstruktions materialer, beregnes skimmel indekset.

Del 1 - Planlægning af registrering

1.1 Metode

Som forberedelse til bygningsregistrering af stuehuset, er der afsøgt en række kilder, som skal give indsigt i, hvilke konstruktioner og udfordringer der kan forventes at være i stuehuset fra 1860. De følgende konstruktionsmæssige forventninger er undersøgt på byggeskik.dk, som indeholder optegnelser af bygningsdele i byggerier tilbage til 1850, herunder landhuse. Udfordringer som kan forventes at være i byggeriet, er undersøgt via BYG-ERFA samt på Sikkerhedsstyrelsens hjemmeside og Byggeskadefonden (Byggeskadefonden 2019).

Den faglige metode i del 1, bygger på en teoretisk fremgang, hvor konstruktioner der forventes at være udfordrede i forhold til temperatur og risikoen for kondensdannelse, er undersøgt teoretisk ved hjælp af beregningsprogrammet HEAT2. De teoretiske beregninger skal indikere, om der er grundlag for at undersøge enkelte konstruktioner nærmere ved fysisk besigtigelse. De teoretiske beregninger skal samtidig give grundlag for evt. at udelukke forventede problemområder. Beregninger i HEAT2 bruger inddata fra hhv. Anvisning 277 samt DS418, herunder temperaturset og fugtbelastningsklasse. Den praktiske tilgang, har været at udføre beskrivelse af konstruktioner, hvorefter disse er undersøgt nærmere for kendte problemer. Konstruktioner som forventes at være interessante i forhold til temperatur og fugt, er efterfølgende simuleret. De udførte simuleringer er sammenholdt, hvorefter de mest kritiske konstruktioner i forhold til fugtbelastning, er udvalgt til nærmere fysisk undersøgelse i del 2.

Registrering af bygningen finder sted den 19-21. januar 2024

Oplysninger om bygningen:

Adresse:	Møllebækvej 85, 9800 Hjørring
BBR-nummer	BFE-nummer 1403001
Matrikelnummer	48a
Bygningsanvendelse	Beboelse
Opført	1860
Varmeforsyning	Træpillekedel
Supplerende varmforsyning	Brændeovn
Energimærke	Ikke muligt at fremskaffe
Boligareal iht. BBR	266 m2 hvoraf 108 m2 tagetage
Seneste om- eller tilbygnings år	2006 Udnyttelse af tagetage

1.2 Bygningens forventede konstruktioner

Arkitektur

Ejendommen fra 1860 og betegnes som et Landhus. Karakteristisk for et sådant hus er, at det er opført på fundament af kampesten med facade af hårdtbrændte teglsten og tag af enten tegl, naturskiffer eller stråtækt.

Vindueshuller er fra denne tid ofte udført som stik eller muret i buer, for at bære den overliggende konstruktion. På landhuse fra denne tid, ses der ofte muret gesims og murankre i gavlvægge. Landhuse er set opført i perioden fra 1850 frem til 1920 og er blevet bygget i stort set hele Danmark.

Fundament

Fundamentet forventes at være af kampesten. Kampestensfundamenter kan give udfordringer med revnedannelse, utætheder og sætningsskader i bygningen, da fundamentet ikke når ned i frostfri dybde (90cm under terræn). Dermed er der risiko for, at soklen arbejder i takt med sommer og vinterperioder, som forplanter sig i både i sokkel og overliggende konstruktion.

Terrændæk

Gulvkonstruktionen er tidstypisk udført som massive trægulve på strøer, opklodset direkte på jord. Denne konstruktion kan medføre fugt og kuldepåvirkning af gulvkonstruktionen. Dog forventes det, at der i de fleste bygninger fra denne tid, er ændret i gulvkonstruktion grundet renovering.

Ydervægge

Facade og gavlvægge forventes at være udført som fuldmurede dobbeltstensvægge af tegl, opmuret i lermørtel. Set med nutidens øjne, har konstruktionen en høj U-værdi og dermed risiko for en lave indvendige overfladetemperaturer. Det forventes derfor, at der vil være risiko for kondensdannelse på kuldebroer og risiko for skimmelvækst bag møblering mod ydervægge. Soklen forventes at være udført i teglsten, muret direkte på kampestensfundament, uden fugtstandsede lag. Dermed vil der være risiko for at fugt nede fra, trækker op i sokkel og murværk. Fugt i murværket forventes at kunne ses ved fugtudfældning, samt frostsprængninger på murværk og sokkel.

Lysninger

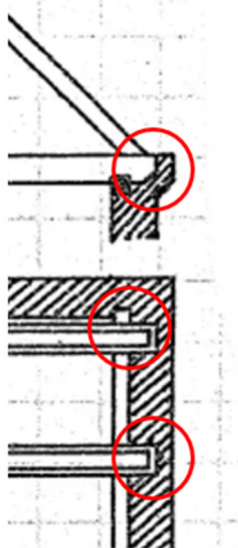
Grundet de massive ydervægge forventes det, at der i lysninger vil være risiko for lave indvendige overfladetemperaturer, som kan lede til kondensdannelse og skimmelvækst. Typisk ses lysninger efterisoleret indvendigt, og pakket ind i træpaneler eller gips.

Skillevægge

Indvendige skillevægge forventes at være udført som pudsede teglstensvægge, opmuret direkte på jord eller kampestensfundament. Denne opbygning medfører risiko for, at fugt trækker op i væggen og videre ud i andre konstruktionsdele. Hvis der er fugt i skillevægge, forventes det at kunne ses, i form af porøst pudslag, skjolder, løst tapet og mulighed for videre opfugtning af nærliggende gulvkonstruktioner. (Mathiasen, M. 2023) (Byggeskadefonden 2019)

Etageadskillelse / bjælkelag

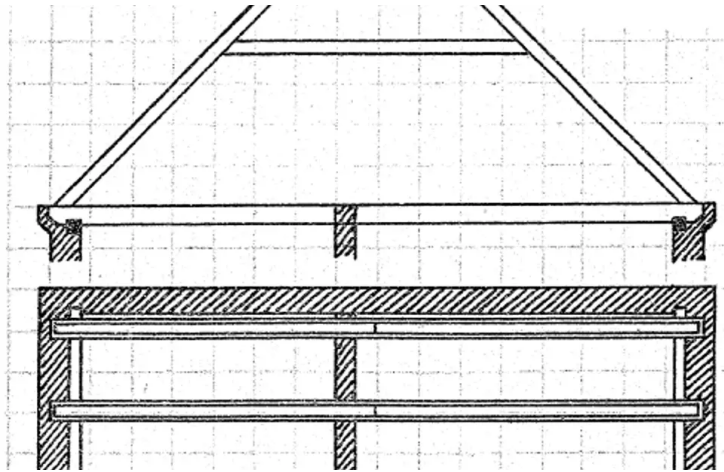
Frem til omkring 1950, er bjælkelag typisk understøttet af en langsgående skillevæg. Ved husdybder på 9-10 meter, forventes bjælker udført i dimensioner på 17,5x17,5 cm eller 20x20 cm, med en indbydes afstand på omkring 100 cm. Bjælkelag er aflagt på en gennemgående murlægte, placeret på den inderste sten i de bærende facadevægge, samt på den langsgående skillevæg. De indmurede bjælker ligger dermed ud mod facadevæggen, hvor det kan forventes, at der kan være risiko for opfugtning af bjælkeender med råd til følge. Illustration af dette kan ses i figur 20 nedenfor



Figur 20 Illustration af bjælkeender halvvejs inde i facadekonstruktionen billede er fra Danskbyggeskik.

Tagkonstruktion

Tagkonstruktionen fra denne tids landhuse, betegnes som vinkeltag. Karakteristisk for vinkeltage er, at spær er sat direkte i bjælkeender, enten tappet i eller med opklodsning. Hvert spærfag er stabiliseret med hanebånd og danner en trekantsform. Fælles for alle bygningsdele samt kompletterende bygningsdele er høje u-værdier kuldebroer og høje linjetab. Tagkonstruktionen forventes ikke at have kritiske punkter. Illustration af dette kan ses i figur 21 nedenfor. (Sikkerhedsstyrelsen u.å.).



Figur 21 Illustration af tagkonstruktion billede er fra Danskbyggeskik.

HEAT2 beregninger

Følgende beregningerne tager udgangspunkt i 2 temperatursæt:

- DS 418, udetemperatur $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, indetemperatur $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- SBI 277, udetemperatur $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, indetemperatur $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Iht. DS418 anvendes $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ i udetemperatur, som dimensionerende temperatur til varmeinstallationer. Ved at anvende $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ i denne sammenhæng, findes de kortvarige temperatursving, som er det værst tænkelige scenarie i forhold til laveste temperaturer i konstruktionen. Dette for at undersøge, om der er mulighed for kondensdannelse i konstruktionsdele.

Iht. SBI 277, regnes der på scenarier, som kan give temperaturer, der over længere tid, giver anledning til skimmelvækst. Der fokuseres på de kuldebroer og problemområder, som forventes at være i konstruktionen. Til disse indledende simuleringer, er der ikke målt på den aktuelle relative fugtighed, derfor findes bygningens fugtbelastningsklasse i Figur 22. Bygningen betragtes som et enfamiliehus, bestående af 2 voksne og 3 børn. Familien har ingen husdyr og huset er naturligt ventileret.

Ud fra tabellen forventes det at huset ligger i fugtbelastningsklasse 2 - boliger med normal beboelsestæthed. Ses der i Figur 23 under fugtbelastningsklasse 2, findes den relative fugtighed til 44% ved -0,7°C i marts måned. Der tages udgangspunkt i 44% relativ fugtighed for begge temperatursæt i beregningsscenariene.

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 Boliger uden mekanisk ventilation og mere end 2 personer pr. beboelsesrum.

3 I Danmark henregnes idrætshaller med mange tilskuere til fugtbelastningsklasse 3.

Figur 22 Skema over fugtbelastningsklasser.

Måned	Luft-temperatur	RFude	Inde-temperatur	Øvre fugtbelastningsklassegrænser			
				% RF			
	DRY	DRY		1	2	3	4
	°C	%	°C				
Januar	0,7	89	20	36	47	58	69
Februar	0,4	91	20	36	47	59	70
Marts	-0,7	87	20	33	44	56	68
April	7,1	76	20	42	49	57	64
Maj	11,5	76	20	51	56	61	66
Juni	14,2	80	22	55	58	61	63
Juli	17,8	77	23	60	61	62	63
August	17,9	74	23	58	59	60	61
September	14,5	78	22	55	57	60	63
Oktober	9,8	88	20	53	59	65	71
November	3,4	91	20	41	50	60	69
December	0,7	93	20	37	48	59	70

Figur 23 Diagram over fugtbelastningsgrænser

1.3 Beregningsscenarier

Scenarie 1 - Facadehjørne (geometrisk kuldebro)

Scenarie 2 - Facade-skillevæg (konstruktiv kuldebro)

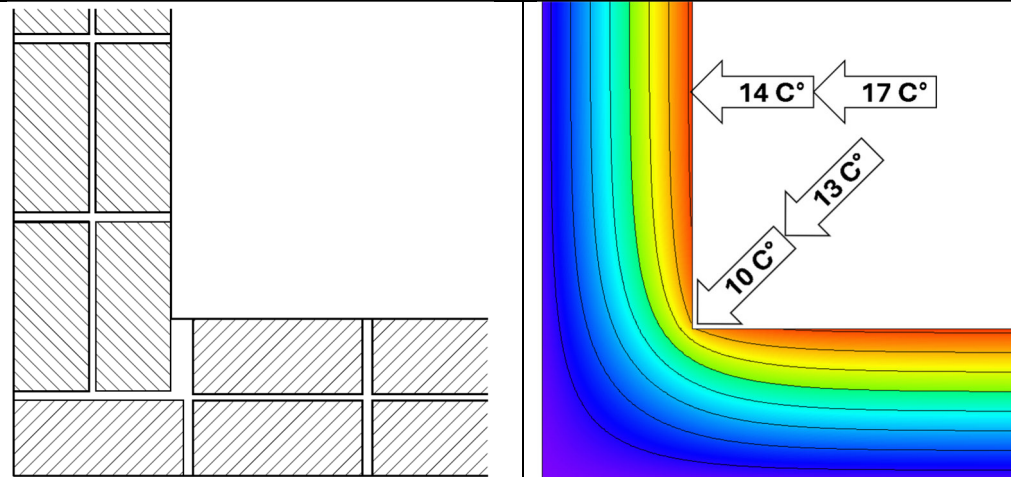
Scenarie 3 - bjælkeender (konstruktiv kuldebro)

Scenarie 4 - Bjælkerem i hjørnesamling (geometrisk kuldebro)

Scenarie 5 – Vindue- og dørfalser (geometrisk kuldebro)

Som det fremgår af følgende simuleringer, er væglængder på simuleringsmodeller i HEAT2, valgt i 1 meters længde. Dette for at sikre isotermerne flader ud imod lodret og vandret, alle HEAT2 beregninger ligger som bilag A HEAT2 beregninger

Scenarie 1 – Facadehjørne (geometrisk kuldebro)



-12 °C ude og 20 °C inde

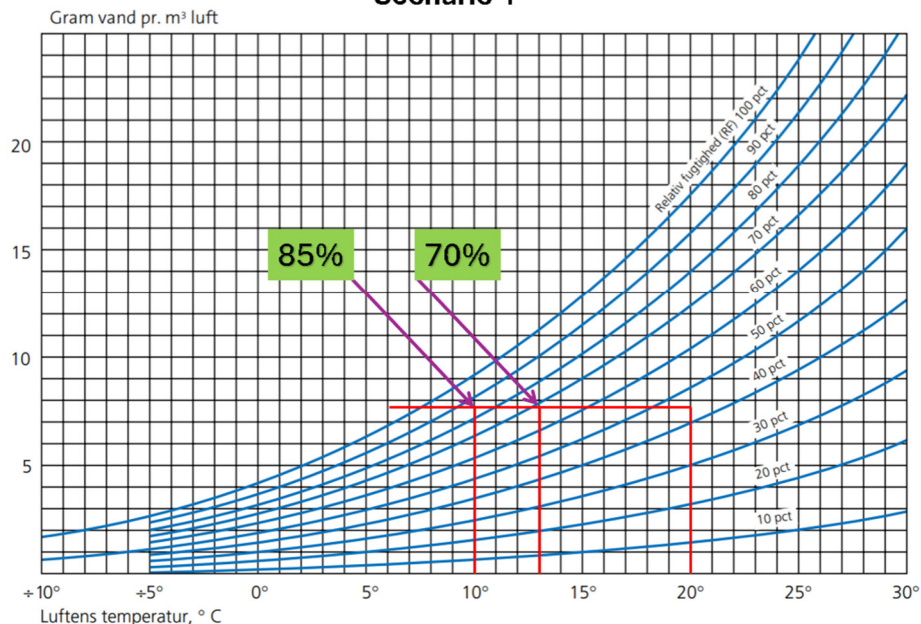
Karakteristisk ved den geometriske kuldebro er, at den udvendige overflade er større end den indvendige og derfor har større areal til at lede varmen bort. Det medfører en indvendig overfladetemperatur, som går fra 14 °C grader på væg, til 10°C grader i hjørnesamling. I vanddampsdiagram nedenfor, giver det en relativ luftfugtighed RF på 85% i hjørnet. RF ligger over 75%, hvorfor det kan være kritisk i forhold til skimmel over længere tid.

-0,7 °C ude og 20 °C inde

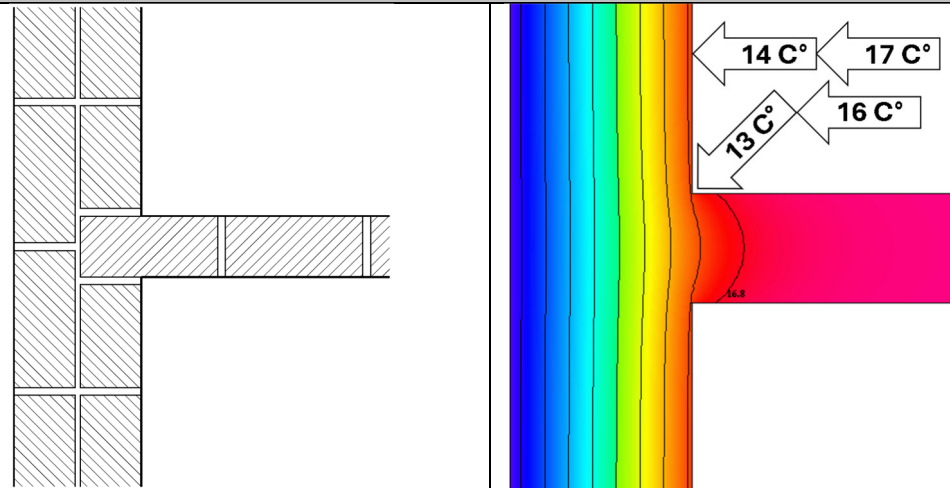
Ud fra marts måned temperaturmiddel, opnås en overfladetemperatur fra 17 °C på væg til 13°C i hjørnesamling. I vanddampsdiagrammet nedenfor, giver det en relativ fugtighed på 70%, hvilket ligger i den lave ende for skimmelvækst. Samlet set skal der være opmærksomhed på de geometriske kuldebroer under besigtigelse.

Vanddampsdiagram

Scenarie 1



Scenarie 2 – Facade-skillevæg (konstruktiv kuldebro)



-12 °C ude og 20 °C inde

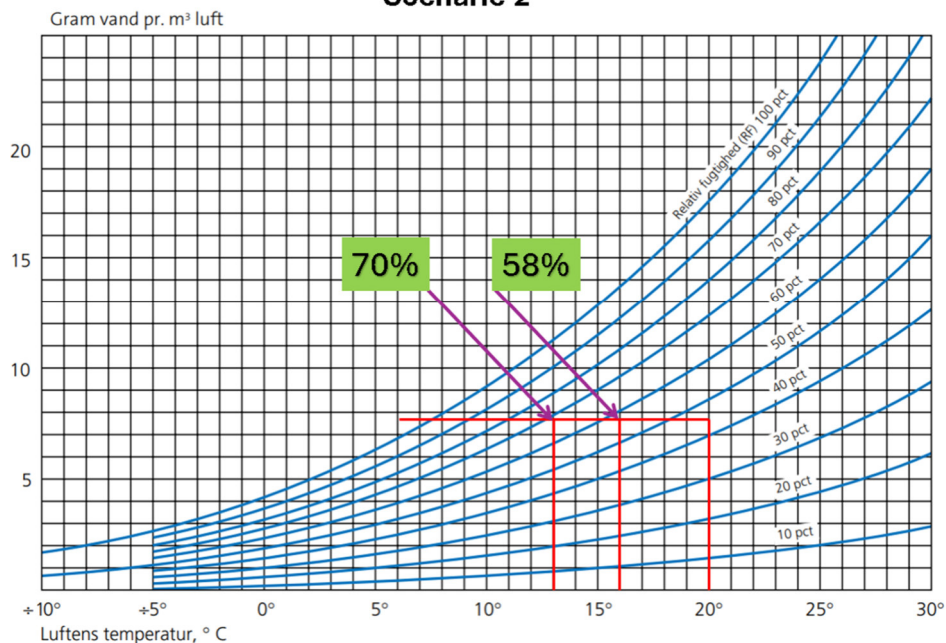
Stuehuset har 8 skillevægssamlinger udmuret i facadevæggen. Karakteristisk for disse samlinger med den massive ydervæg er, at de udgør konstruktive kuldebroer. Simuleringen giver en indvendig overfladetemperatur, som går fra 14°C grader midt på væg, til 13°C grader i samling mellem skillevæg og facade. I vanddampsdiagram nedenfor, giver det en relativ luftfugtighed på 70% i hjørnet mellem skillevæg og facade. Disse forhold nærmer sig problematiske forhold, men ligger dog stadig et stykke fra det kritisk fugtniveau 75%

-0,7 °C ude og 20 °C inde

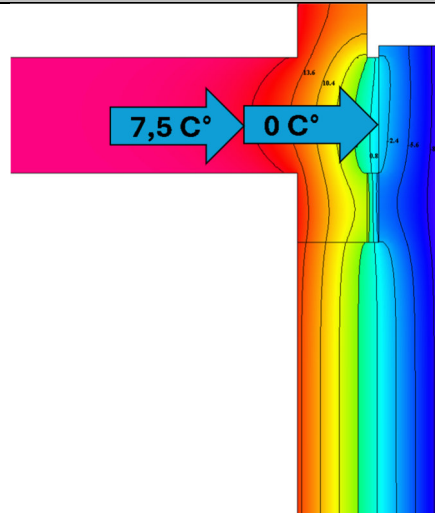
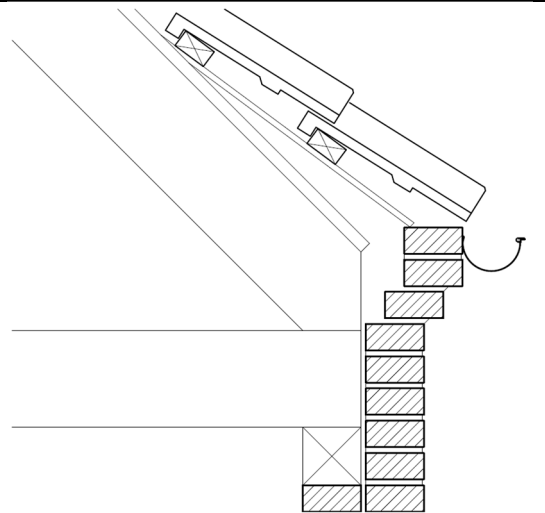
Ud fra marts måned temperaturmiddel, opnås en indvendig overfladetemperatur, som går fra 17 °C på væg, til 16°C i hjørnet. I vanddampsdiagrammet nedenfor, giver det en relativ luftfugtighed på 58%. Dette forhold vurderes ikke at være problematisk i forhold til fugt og skimmelvækst.

Vanddampsdiagram

Scenarie 2



Scenarie 3 - Bjælkeender (konstruktiv kuldebro)



-12 °C ude og 20 °C inde

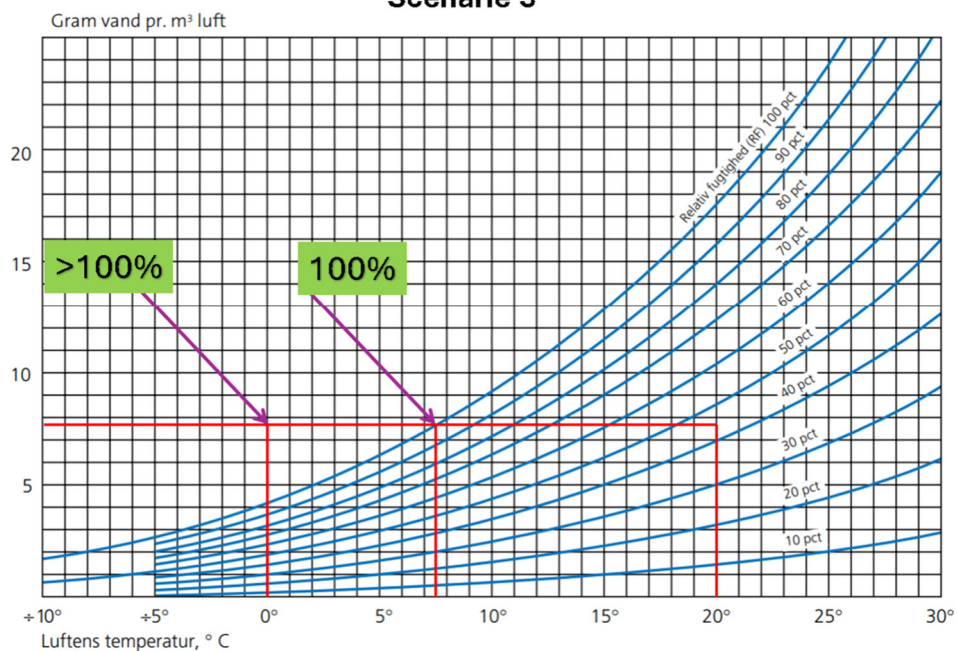
Ved tagfod ud mod facade, ligger bjælkeende og rem imod facadens gesims, der er opmuret som enkeltstensvæg. Beregningen i HEAT2 giver en temperatur på 0°C imellem bjælkeende og facadesten. I vanddampsdiagram nedenfor, giver det en relativ luftfugtighed på >100%. Dermed kan det forventes, at der opstår kondensering på bjælkeenden, hvormed der er risiko for opfugtning af den bærende trækonstruktion. Fugtigheden er problematisk både i forhold til råd og skimmel.

-0,7 °C ude og 20 °C inde

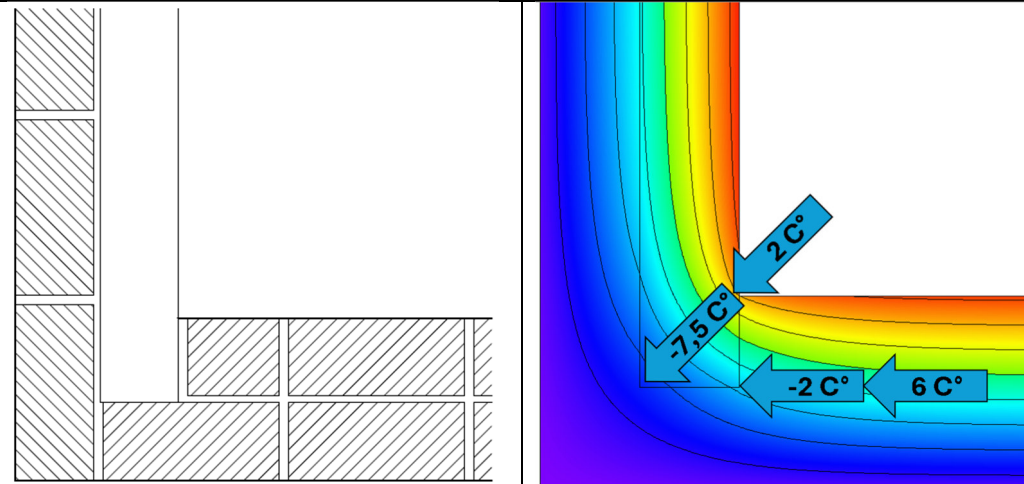
Ud fra marts måned temperaturmiddel, beregnes en temperatur på 7,5 °C imellem bjælkeende og facadesten. I vanddampsdiagram nedenfor, giver det en relativ luftfugtighed på 100%. Dermed vil der over en længere periode dennes kondens, hvorfor denne konstruktion skal undersøges nærmere. Også her giver forholdene anledning til råd og skimmel.

Vanddampsdiagram

Scenarie 3



Scenarie 4 - Bjælkerem i hjørnesamling (geometrisk kuldebro)



-12 °C ude og 20 °C inde

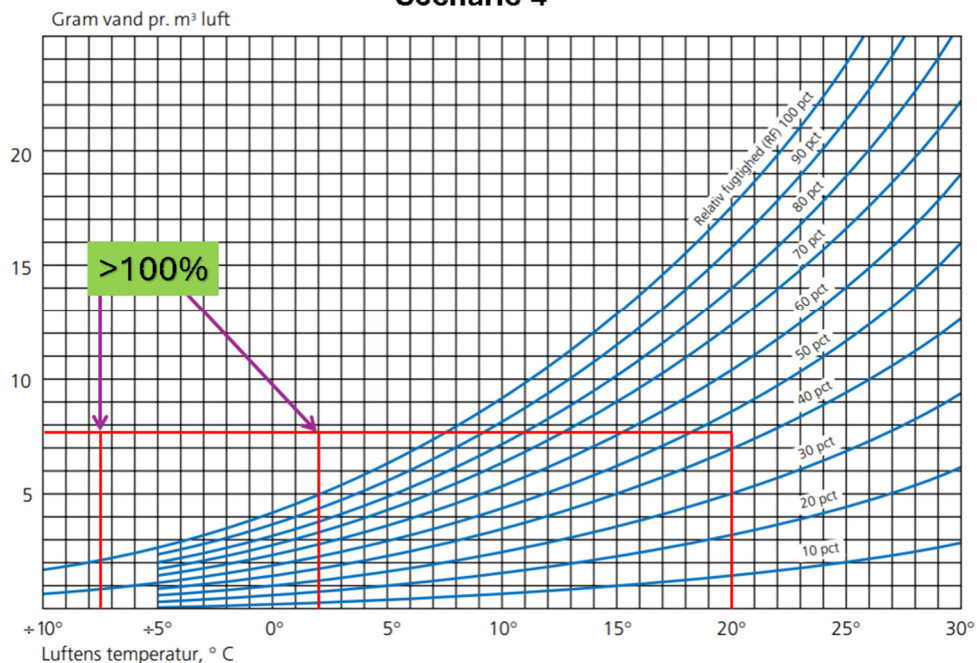
Remmen ligger ud imod en geometrisk kuldebro opmuret i helstensvæg. Beregningen i HEAT2 giver en overfladetemperatur på rem, som går fra -2°C grader, til -7,5°C grader. I vanddampsdiagram nedenfor, giver det en relativ luftfugtighed på >100%. Dermed er der igen risiko for kondensdannelse

-0,7 °C ude og 20 °C inde

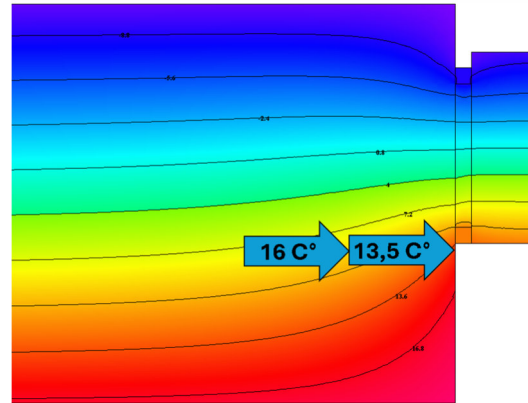
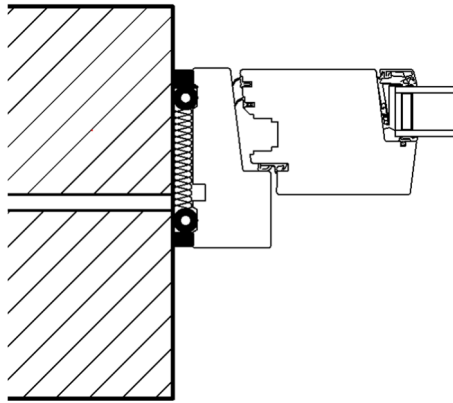
Ud fra marts måned temperaturmiddel viser beregningen for rem, temperaturer fra 6°C grader, til 2°C grader. I vanddampsdiagram nedenfor, giver det en relativ luftfugtighed på >100%. I dette scenarie forventes der ligeledes opfugtning af den bærende trækonstruktion.

Vanddampdiagram

Scenarie 4



Scenarie 5 – Vindue- og dørfalse



-12 °C ude og 20 °C inde

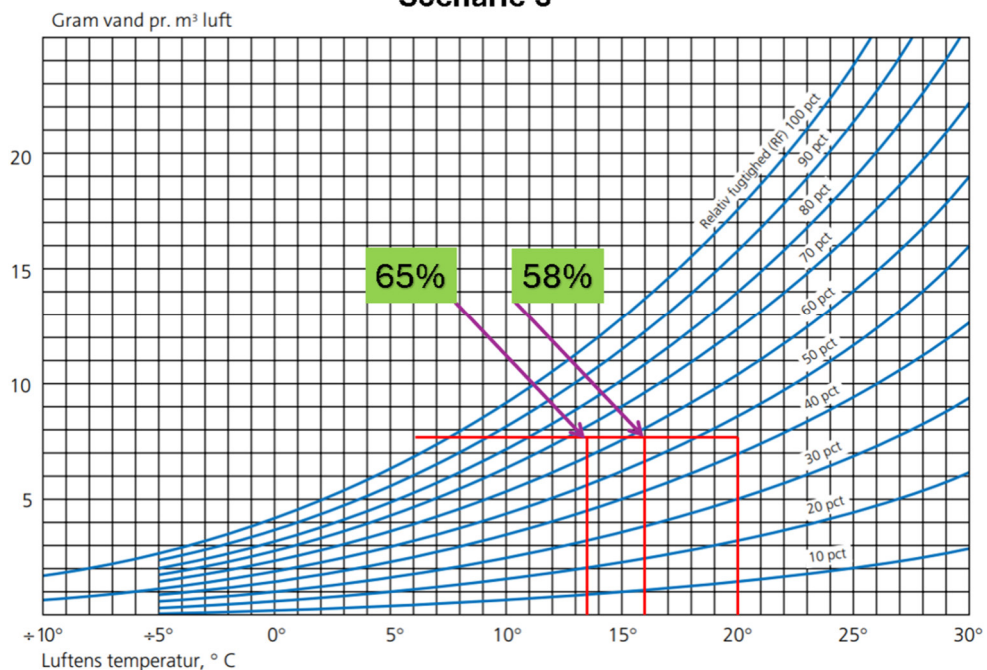
Ved vinduesfuge i den massive yderkonstruktion, viser HEAT2 overfladetemperatur ved indvendig fuge på 13,5°C. Det antages her at lysningen i værste fald er uisoleret. I vanddampsdiagram nedenfor, giver det en relativ luftfugtighed på 65% på overfladen i lysningen, hvilket ikke er problematisk i forhold til fugt og skimmelvækst.

-0,7 °C ude og 20 °C inde

Ud fra marts måned temperaturmiddel giver beregningen i HEAT2 en overfladetemperatur ved indvendig fuge på 16°C grader. I vanddampsdiagram nedenfor, giver det en relativ luftfugtighed på 58%. Dette forhold vurderer heller ikke at være problematisk i forhold til fugt og skimmelvækst.

Vanddampdiagram

Scenarie 5



1.4 Delkonklusion – udpegning af fokusområder

Ud fra datidens byggeskik er der fundet flere konstruktioner i stuehuset fra 1860, som kan forventes at have udfordringer med fugt. Der er undersøgt flere kilder, som beskriver konstruktionsdelene og deres opbygning. Overordnet kan det konkluderes, at det er den massive opbygning af ydervægskonstruktionen og kuldebroer heri, som er årsagen til stort varmetab og lave indvendige overfladetemperaturer. Der er desuden flere steder i den bærende konstruktion af træ, hvor HEAT2 beregningerne antyder temperaturer, som giver kondensdannelse. Det kan desuden konkluderes at datidens byggeskik, ikke har haft øje for de fugtmæssige udfordringer, som opstår på baggrund af konstruktionernes udførsel.

I nedenstående tabel 1, fremgår de forskellige scenarier. Scenarierne er inddelt i farver, efter hvor kritiske de forventes at være. Rød forventes at være mest kritisk og grøn forventes at være problemfri. Uanset farve gennemgås scenarierne ved besigtigelse, for at sikre, at konstruktionerne er som forudsat i de indledende undersøgelser.

Scenarie	HEAT2 - Teoretisk Indvendig overflade ved udv. temp -12°C/20°C	HEAT2 - Teoretisk Indvendig overflade ved udv. temp -0,7°C/20°C
Scenarie 1 – Facadehjørne (geometrisk kuldebro)	Hjørne = 10°C Væg = 14 °C Max RH = 85%	Hjørne = 13 °C Væg = 16,2 °C Max RH = 70%
Scenarie 2 – Facade- skillevæg (konstruktiv kuldebro)	Hjørne = 13°C Væg = 16 °C Max RH = 70%	Hjørne = 16°C Væg = 18 °C Max RH = 58%
Scenarie 3 - Bjælkeender (konstruktiv kuldebro)	Mod mur = 0 °C RH = >100%	Mod mur = 7,5°C RH = 100%
Scenarie 4 - Bjælkerem i hjørnesamling (geometrisk kuldebro)	Hjørne ud = -7,5°C Hjørne ind = -2°C Max RH = >100%	Hjørne ud = 2°C Hjørne ind = 6°C Max RH = >100%
Scenarie 5 – Vindue- og dørfalse (geometrisk kuldebro)	Lysning = 13,5°C RH = 65%	Lysning = 16°C RH = 58%

Tabel 1 Oversigt med status på scenarier.

Udpegning af fokusområder

De teoretiske beregninger viser, at der især skal rettes fokus på konstruktioner i tagfod (markeret med rødt). Beregningerne for både bjælkeender og bjælkerem viser, at der er sandsynlighed for kondensering af fugt ved disse konstruktioner. Da konstruktionerne er af træ, er de særligt sårbare overfor fugt, som kan føre råd og trænedbrydende svampe med sig. (Koch, A. 2003)

Samtidig er denne del af konstruktionen bærende for tag og etagedæk, hvorfor nedbrydning vil være kritisk for de statiske egenskaber i bygningskonstruktionen, derfor rettes fokus på scenarie 3 og scenarie 4. Et andet fokusområde i del 2, vil være scenarie 1 da geometriske kuldebroer, kan give anledning til kondens og skimmelvækst i hjørner. De øvrige undersøgte scenarier 2 og 5, forventes ikke at give problemer med fugt eller skimmelsvamp, men undersøges fortsat ved besigtigelse.

Del 2 - Registrering af bygningens konstruktioner og tilstand

2.1 Metode og materialer

Bygningens konstruktioner og tilstand registreres ved fysisk besigtigelse af ejendommen. Som forberedelse til registreringen er der fundet inspiration til vurdering af den fugtmæssige tilstand i (Mathiasen, M. 2023). Bygningen gennemgås dermed visuelt for standsmæssig vurdering, der fotodokumenteres samt noteres til bygherre.

Registreringen skal give bygherre vished om den generelle stand, kritiske tilstande, med henledt opmærksomhed på de udvalgte bygningsdele og fokusområder, som kræver nærmere undersøgelse.

Den faglige metode i del 2, har dermed en praktisk tilgang i form af fysisk besigtigelse, med afsæt i de udpegede teoretiske fokusområder fra del 1. Til den fysiske gennemgang af bygningsdele, har bygherre givet accept til, at der kan udføres adskillelse af konstruktioner samt udtagning af destruktive undersøgelser om nødvendigt.

Til besigtigelse og registrering afsættes to perioder (5/1-9/1 2024) samt (17/1-19/1-2024). Perioderne skal sikre tid til eventuel adskillelse af konstruktionsdele samt målinger. Der begyndes med visuel gennemgang, hvor ejendommen samtidig opmåles, for inddata til Revit og BE18, samt klimavurdering. Under den visuelle gennemgang fotodokumenteres og noteres fund, som afviger det forventede. Efter den visuelle registrering, udføres termografering udvendigt og indvendigt. Indstiksmålinger samt gannmålinger udføres på konstruktioner, hvor der er mistanke om fugt. Alle billeder registreres med nummer og placering, for senere dokumentation. Der er medtaget USB-loggere, til særlige forhold, hvor logning kan være fordelagtigt. Samtidig opsættes USB-loggere for generel analysering af indendørs fugtbelastningsklasse, indeklima og udeklima.

Udstyr:

Følgende udstyr anvendes i registrering:

- Termografi kamera
- USB dataloggere
- Indstiksmåler
- Gannmåler
- Diamant hulborssæt
- Diverse håndværktøj

Termografi

Der udføres termografering med et Bosch Professionel GTC400C. Der forelægges kalibreringscertifikat fra juni 2023, hvorfor der kan forventes en målenøjagtighed på +/- 3 °C.

For at sikre brugbare og korrekte resultater, er det nødvendigt på ældre ejendomme at udføre målinger, med en temperaturforskel imellem inde og ude på minimum 12 °C. Det bemærkes samtidig, at solen kan påvirke resultaterne, så måledage med skydække foretrækkes. (Due, L. 2011)

USB dataloggere

Der er medbragt 9 stk. dataloggere af typen Easy Log USB2, udlånt af AAU. Samt 3 stk. ELMA USB-loggere indkøbt af bygherre til formålet. For at sikre målingerne loggerne imellem er ens, testes alle loggere på samme placering og kontrolleres inden eventuel placering i bygningen. Dataloggere er programmeret i tilhørende software og indstillet til at logge en gang pr. time. Der opsættes en udvendig USB-logger som reference til indvendige målinger og til senere anvendelse i forbindelse med evt. simulering. Indvendige logninger, skal give datagrundlag for udvalgte rum eller konstruktioner og eventuelle kritiske fund, som gøres under besigtigelsen.

Indstiksmåler

Den anvendte indstiksmåler til måling af træfugt, er af mærket Laserliner Damp Finder Compact. Måletolerance + / - 1%. Måleren er med uisolerede stikben og begrænser sig til at måle fugten i overfladen på træ. Målinger udføres på de trækonstruktioner, hvor der i tidligere afsnit er fundet teoretiske forhold (scenarie 3 og scenarie 4) som skal undersøges nærmere. Der udføres målinger i både facaden imod syd og nord. Målingerne henholdes til følgende Figur 24 for vurdering af de målte fugtniveauer.

Anbefalet fugtindhold i træ

0-08 %	Meget tørt	f.eks. opvarmede rum	Ingen risiko for skimmel.
08-11 %	Tørt	f.eks. delvis opvarmede rum	Ingen risiko for skimmel.
12-15 %	Bygningstørt	f.eks. træfacader	Ingen risiko for skimmel.
16-17 %	Fugtigt	f.eks. fri luft under tag	Risiko for vækst af skimmel.
18-28 %	Vådt	f.eks. ubeskyttet for vejrliget	Stor risiko for vækst af skimmel
>28 %	Vandindholdet ved fibermætningspunktet regnes normalt som 28 %. (er træartsspecifikt)		
>20 %	Vil der være risiko for trænedbrydende svampe.		
Værdier kan variere afhængigt af temperatur og træsort			

Ovenfor nævnte værdier anvendes som vejledende. Kilde: Byg-erfa

Figur 24 Tabel over værdier til vejledning af fugtindhold i træ

Gannmåler

Den medbragte Gannmåler er af typen Elma DT-128M. Måleren er velegnet til undersøgelse af fugt i konstruktioner på f.eks. cementbaserede materialer som beton og puds, men også materialer som mursten, gips og træ.

Gannmålingen giver ikke et procentmæssigt resultat af fugtindholdet i materialet, men en indikation på, om niveauet er højt, mellem eller lavt ud fra skalaen 0-100. Producenten angiver at materialetykkelsen skal være på minimum 20mm, da selve målingen sker i 20-40mm dybde. Nedenfor på Figur 25 ses visninger for henholdsvis gips, cement og træ, hvornår niveauet af fugt er "DRY", "RISK" eller "WET".

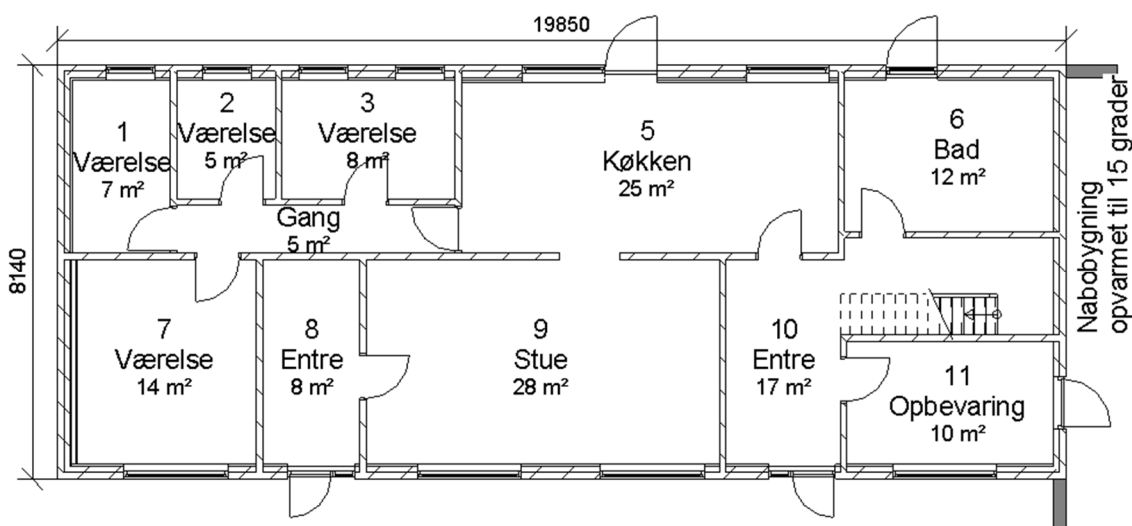
Fugtsammenligningstabel (CM)

Byggemateriale	Visning (Enhed)	Fugtstatus
Gips	<30	DRY (Tør)
	30-60	RISK (Risiko)
	>60	WET (Våd)
Cement	<25	DRY (Tør)
	25-50	RISK (Risiko)
	>50	WET (Våd)
Træ	<50	DRY (Tør)
	50-80	RISK (Risiko)
	>80	WET (Våd)

Figur 25 Elma.dk/DT128 tabel over fugtniveau i byggematerialer

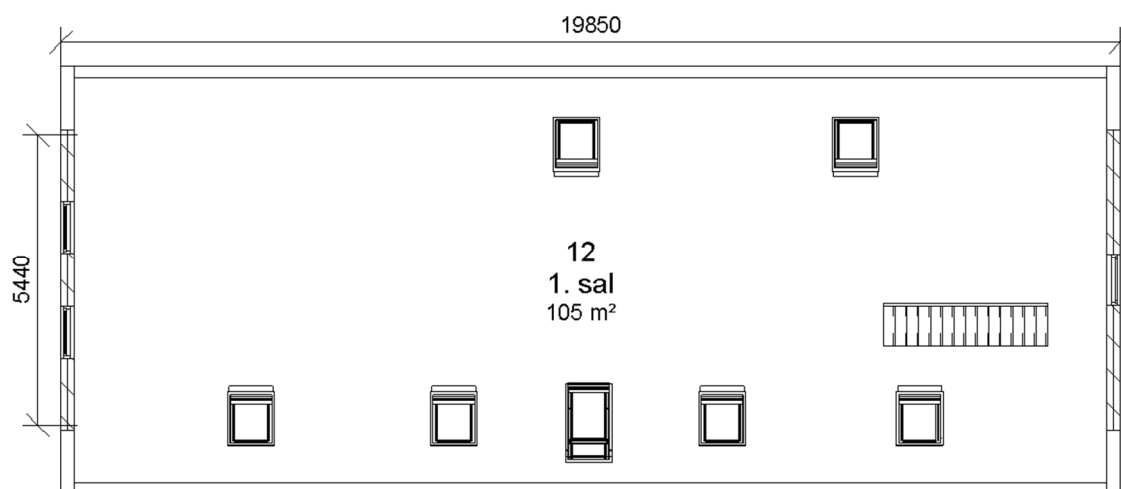
Optegning af omtalte bygning er udført i Revit.

Nedenfor på figur 26 ses stueplan. Opmåling og registrering samt længde og bredde er brugt til udregning af transmissionstabet på denne bygning.



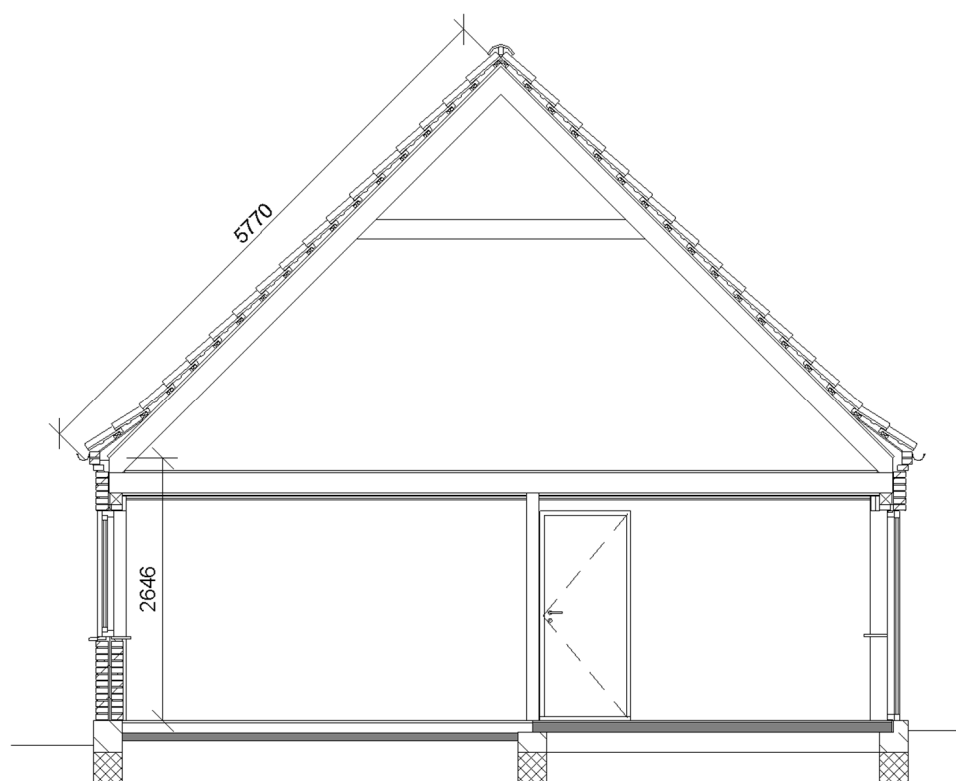
Figur 26 Plantegning efter opmålingen og registrering af bygning.

Nedenfor på figur 27 ses udnyttet 1. sal uden indretning da 1. salen er under ombygning.



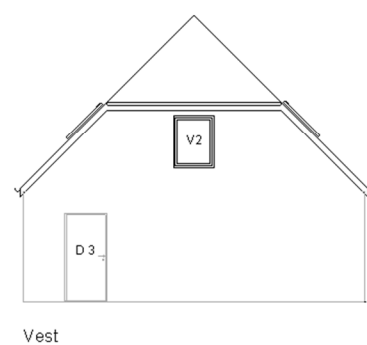
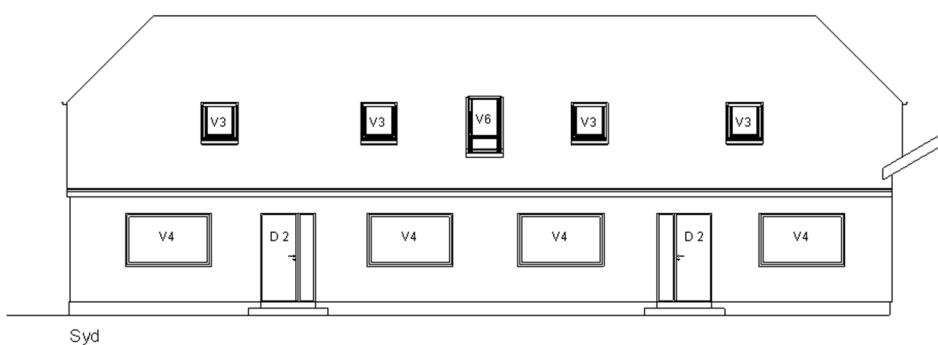
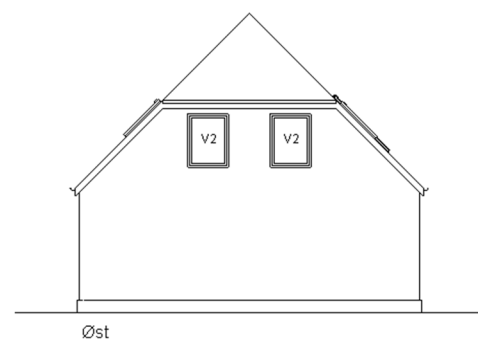
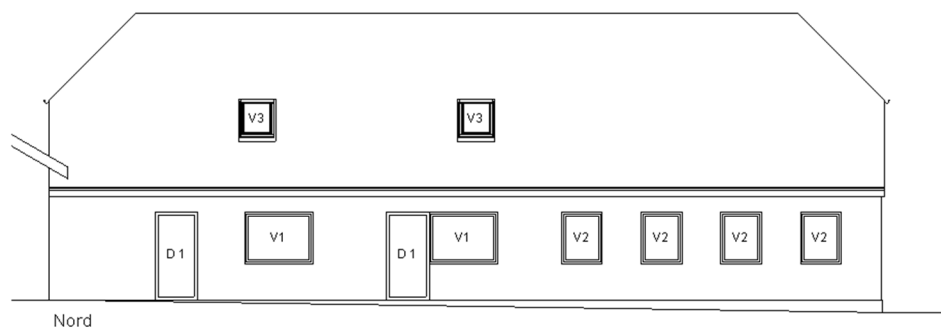
Figur 27 1. sal efter opmålingen og registrering af bygning.

Nedenfor på figur 28 ses snit af bygningen med højder som er brugt til udregninger af transmissionstabet på denne bygning.



Figur 28 Snit lavet efter opmålingen og registrering af bygning.

Nedenfor på figur 29 ses opstalter med højde og bredder på døre og vinduer til brug til udregninger af transmissionstab på denne bygning.



Figur 29 Opstalter lavet efter opmålingen og registrering af bygning.

2.2 Udførelse af tilstandsregistrering

I følgende er bygningen gennemgået udvendigt og indvendigt. Der er udført visuel gennemgang af bygningsdele og konstruktioner, hvor disse har været tilgængelige. Hvor bygningsdele ikke har været tilgængelige, er der udført adskillelse af konstruktioner, for at få kendskab til opbygning samt tilstand. I tabellen er der hovedsageligt fokuseret på fund af kritiske tilstande og skader på bygningen, samt uoverensstemmelser mellem det forventede og det faktiske. Den visuelle gennemgang fremgår af nedenstående tabel 2.

Tabel 2 Registrering af stuehus med beskrivelser.

Arkitektur	
	Stuehuset fremstår i klassisk landhus stil med valmede gavle og bondehusvinduer. Facaderne fremstår med muret gesims og fremspring på sokkel. På facadegavlen er spær og bjælkelag fastgjort med murankre igennem facaden. Taget er af sort glaseret vingetegl i ler, med vindskedetegl aflagt på gesims i gavlende.
Fundament	
	Bygningen er funderet på kampesten. Ud fra størrelsen af kampesten, forventes det ikke, at funderingen er i frostfri dybde. Umiddelbart er der ikke påført tjærelag eller andet, der kan tætné konstruktionen og forhindre fugt i at trække ind og op i murværket.

Sokkel	
	Soklen er udført i teglsten med fremspring på 3-4cm ud fra facaden. Soklen er pudset med net og overfladebehandlet med en vandafvisende maling. Der er 2-3 steder med afskalning, overordnet fremstår soklen i god stand.
Facader	
	Facader fremstår som vandskuret i hvid vandskuringsmørtel med 1mm kornstørrelse og malet overflade. Flere steder er der frostsprængninger og misfarvninger på murværket. Umiddelbart er der afskalning af vandskuringsmørtlen uden tegn på frostsprængninger af tegl. Murværket fremstår i god stand.
Vindueshuller / Overligger	
	Ved samtlige overliggere på bygningens sydside ses revner i facaden, som går fra vindue hullets øverste hjørner og op mod gesims. På nordsiden er et enkelt vindueshul med revner. Umiddelbart syner det til, at overliggere på sydsiden, er aflagt med sparsomt overlæg, ca. 5-6 cm inde på bærende murværk
Tag og afløbsforhold	
	Tagbelægningen er sortglaserede vandskedetegl i ler fra Monier. Tegl er lagt af på ventilerede fuglegitter i tagfod og udført i 2006. Tagrender er 120mm brede og udført i zink, der er etableret nedløb i alle 4 hjørner af stuehuset i 75mm. Der er to sandfangs brønde, en på hver side af stuehuset, som begge har 110mm afløb til større drænbrønd, med 200mm videre afløb til markdræn syd for ejendommen. Regnvandsanlægget er etableret indenfor de sidste 5år.

Terrændæk

Der er fundet forskellige opbygninger af terrændæk i stuehuset. En del af gulvene er renoveret, med støbte betongulve og gulvvarme. Gulvkonstruktion i stue, er af massivt trægulv sømmet på strøer, hvor strøer ligger på klaplag af beton. I den vestlige ende af huset er der klaplag af beton på jord, hvor der ligger linoleumsgulve og gulvtæpper eller dampspærre med klikgulve. I den vestlige del formodes der ikke at være isolering i gulvkonstruktionen. Mod forventningen eksisterer der stadig gulve, uden kapillarbrydende lag mod jord. Der er ingen umiddelbare tegn på opstigende fugt i gulvkonstruktionen, dog skal der udføres en gannmåling efterfølgende, for at få vished om fugtniveaue.

- Grøn - støbte betongulve på isolering
- Orange - trægulv på strøer, isolering mellem strøer
- Rød - gulve på klaplag af beton, uden isolering



Bærende skillevæg



Skillevægge er muret op som pudsede én-stens vægge i forbandt med facadevægge. Der er én gennemgående bærende skillevæg på langs i bygningen, muret ud i gavlvægge. Der er tegn på opstigende fugt for enden af værelsesgangen, hvor tapet er løst og udbulet. Området kontrolleres senere med gannmåling. Enkelte skillevægge er i lette konstruktioner med gips. Der er ingen tegn på opstigende fugt i disse.

Skillevæg ved hoveddør	
	I dørfalsen og ved den nærliggende skillevæg, er der tegn på indtrængning af vand, med opfugtning af skillevæg til følge. Tapetet er løst og puds under tapetet er smuldret og porøst. Ved nærmere undersøgelse, ses det, at der ikke er fuget under døren. Skillevæggen måles senere med gannmåler, for at se hvilke værdier en tydelig opfugtet væg kan give på fugtmåleren.
Forsatsvæg SV værelse	
	På det sydvestvendte værelse er der fundet en forsatsvæg. Forsatsvæggen er opført på den vestvendte ydervæg. For at bestemme detaljerne i konstruktionen er der udboret prøver i væggen. Væggen består umiddelbart af 13mm gips på stålskellet med 95mm rockwool isolering. Der er ikke anvendt fugtspærre i konstruktionen. Det er en konstruktion som ikke var forventet og samtidig giver anledning til nærmere undersøgelse.
Forsatsvæg køkken	
	I det nordvendte køkken findes endnu en forsatsvæg. Ved adskillelse af bundstykke i vindue, ses det, at forsatsvæggen består af 13mm gips på skellet af træ og stål, med 45mm isolering. Ved denne adskillelse ses desuden et lag med 40mm træfiberbeton. Der er ikke anvendt fugtspærre i konstruktionen. Ligeledes er der her tale om en uventet konstruktion, som giver anledning til nærmere undersøgelse.

Lysning køkken	
	Lysninger i køkkenet er pakket ind i gips i forlængelse af forsatsvæggen. Lysningen ved hoveddøren fremstår med aftegninger og plamager, som tyder på opfugtning. Lysningerne i køkkenet giver anledning til nærmere undersøgelse. I resten af ejendommen, fremstår lysninger som vandskuret, der er enkelte mindre støvaftegninger i hjørner, som ikke giver anledning til nærmere undersøgelse.
Lofter	
	Lofterne i bygningen er i ludet rustikbrædder. Der er foretaget en adskillelse, som viser, at der er et eksisterende loft i 10mm gips over rustikloftet. Hvorefter der er forskalling samt endnu et loft, som består af puds på rørvæv. Der er ca. 200mm isolering i bjælkelaget over lofterne. Der er generelt ingen tegn på problemer, bortset fra loftet i det nordvest vendte værelse, hvor der i det nordlige hjørne er tegn på tidligere fugtskade. Det kan tyde på utæthed eller kondens fra manglende isolering i skunken.

Etageadskillelse / bjælkelag	
	Skunken mod syd er adskilt, for at nå ind til samlingsdetaljen imellem tagfod og taghoved. Der er mørke aftegninger fra ca. 40cm inde på bjælken og ud mod murværket. Det synlige på bjælkeenden fremstår ligeledes med aftegninger af fugt. Bjælkeremmen er synliggjort. Umiddelbart virker træet opfugtet, det lugter jordslået og der er synlige tegn på råd. Bjælken er ca.20x20cm. Detaljen undersøges nærmere med indstiksmåler.
Bjælkerem sydvendt facade	
	Ved en åbning i skunken midt på den sydvendte facade er bjælkeremmen rådden og delvist væk. Træet føles fugtigt og der er skjolder som tyder på opfugtning. Remmen i begge facader skal undersøges nærmere for fugt med indstiksmåler. Det var forventeligt at dele af denne konstruktion, kunne være problematiske i forhold til opfugtning. Når det endelige omfang kendes, skal der udarbejdes en anbefaling til bygherre om udbedring af konstruktionen.

Tagkonstruktion	
	Tagkonstruktionen står med de oprindelige spær, hvor hanebånd er hævet op og nyt spær er lasket på siden til opretning. Der er tilført støttespær imellem de oprindelige tagspær, formentlig i forbindelse med tagrenoveringen i 2006. Tagkonstruktionen står for nuværende uopvarmet og delvis adskilt grundet ombygning. Undertaget er synligt og fremstår som banevare. Umiddelbart ses der ingen tegn på skader, bortset fra ældre borebilleangreb i de oprindelige spær. Oprindelige spær er ca. 16x14cm.
Vinduer og døre	
	Vinduer og døre er i træ-alu, af mærket Rationel og produceret i hhv. 2013 og 2016. Vinduerne er udført i bondehusstil med energiruder og sprosser, samt ventilationsspalte 2x30cm. Det bemærkes ved besigtigelsen, at alle ventilationsspalter er lukket. Ruder er i klart glas 4mm glas – 24mm hulrum – 4mm glas, med argon fyldning og en Ug-værdi på 1,17. Elementers Uw-værdier ligger fra 1,36 till 1,69. Alle U-værdier fremgår af Bilag B Vinduer og dør bestilling
Varmeinstallation	
	Varmekilden er et 20kW træpillekedel fra BlackStar. Fremløbstemperaturen er på 60°C og forsyner 300L varmtvandsbeholder, gulvvarmeshunt samt et ældre 1-strengssystem. På 1-strengssystemet, sidder der ældre Thor støbejernsradiatorer med termostater. Forbrug aflæst på fyret, gennemsnitligt 7,1 tons pr. År. Anlægget har 2 Grundfoss alpha cirkulationspumper som forbruger hhv. 25w og 8w

Tabel 2 Registrering af stuehus med beskrivelser.

Opsummering af registrering

Ejendommen fremstår overordnet i god vedligeholdsmæssig stand. Vinduer og døre er 2013/2016 med energiruder. Taget er udskiftet i 2006, hvor er der indlagt hjælpespær og lavet opretning af eksisterende tagkonstruktion.

Stuehuset står med nyere tagrender og nedløb i zink, samt sandfangsbrønde i terræn. Facader og sokkel fremstår med enkelte afskalninger og revner ved overliggere, men overordnet i god stand.

De tekniske installationer fremgår ligeledes i god stand. Der er ny gruppetavle og komplet ny elinstallation fra 2006. Bygningen opvarmes med træpillefyr fra 2018, som forsyner gulvvarmekredse i stuehuset, samt et ældre 1-strengssystem.

Der er i gennemgangen flere kritiske fund, som har været skjulte for bygherre. De visuelt mest kritiske konstruktioner, er bjælkelagets ender mod syd, som er opfugtet. Besigtigelsen i skunken afslørede samtidig at bjælkeremmen i samme område er delvist rådnet væk. Standen vurderes at være kritisk og skal undersøges nærmere ved yderligere adskillelse af skunkkonstruktionen. Registreringen af bygningen afslørede samtidig flere uventede konstruktioner, herunder to forsatsvægge samt gulvkonstruktioner som formegentlig ligger direkte på jord. Der er tegn på opstigende fugt ved den langsgående bærende skillevæg, samt indtrængning af vand ved fordøren. En Enkelt lysning ved havedør fremstår med fugtskjolder og aftegninger. Der er grundlag for mistanke om fugt flere steder i bygningen, som kræver nærmere undersøgelse.

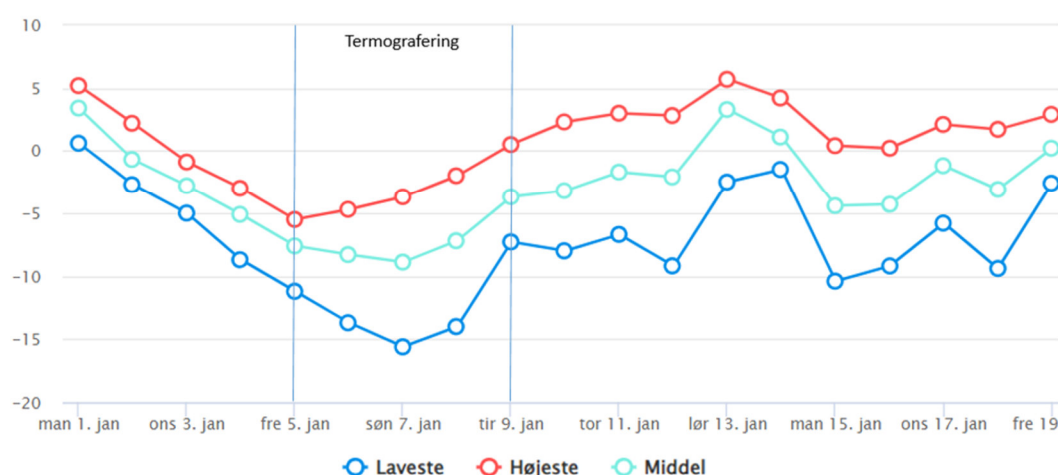
2.2.1 Termografering

Udførsel af termografering

Der er udført termografering i dagene d.5-9 januar 2024. På figur 30 fremgår den udvendige middeltemperaturer i hele måleperioden under 0°C, dermed er temperaturforskellen på minimum 12°C overholdt jf. (Due, L. 2011). I dagene for udførslen, var der vekslende skydække. På figur 31, fremgår grafisk oversigt, som viser hvor de anvendte billeder og termografi er taget.

Hjørring kommune januar 2024

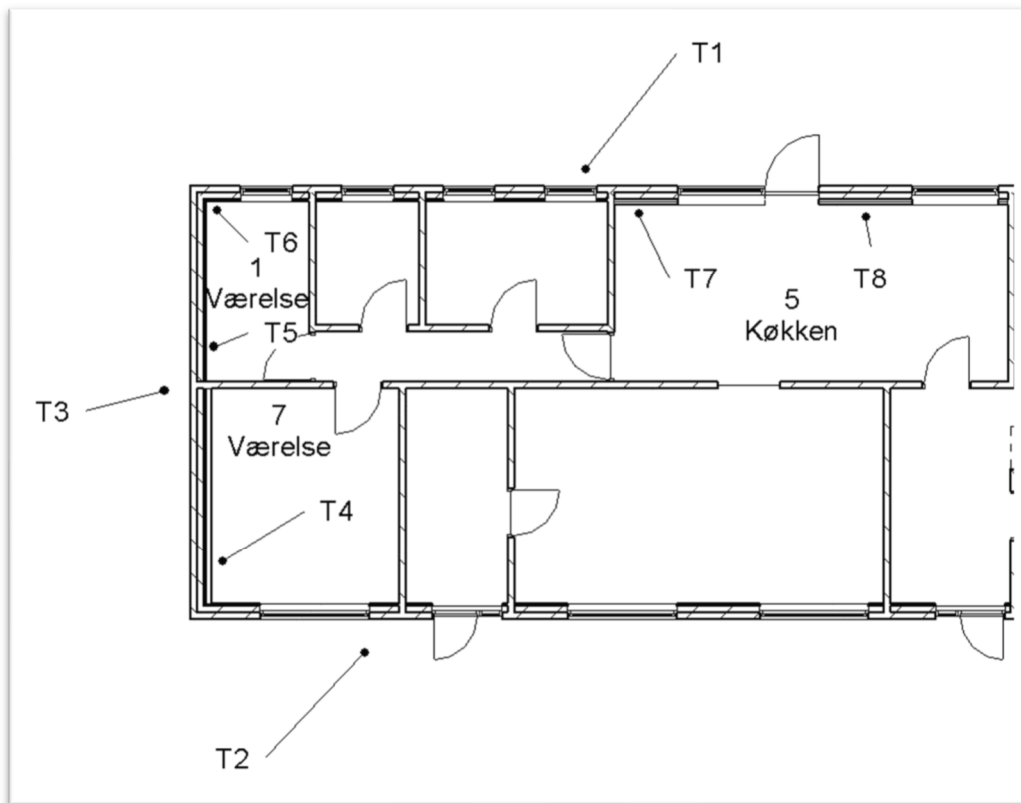
Temperatur (°C)



Figur 30 Graf over temperaturer på termograferingsdagene Kilde: Vejrarkiv (dmi.dk)

Termograferingsplacering

Nedenfor ses en plantegning med placeringer af termograferingen. Der er taget billeder både med og uden termografi, så bygherre visuelt kan følge med i, hvor billederne høre til. På plantegningen betyder T1 billede nr. 1 i tabel 3, som ses under plantegningen.

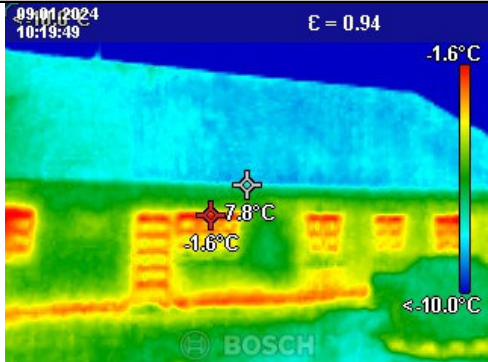


Figur 31 Tegning over termografering

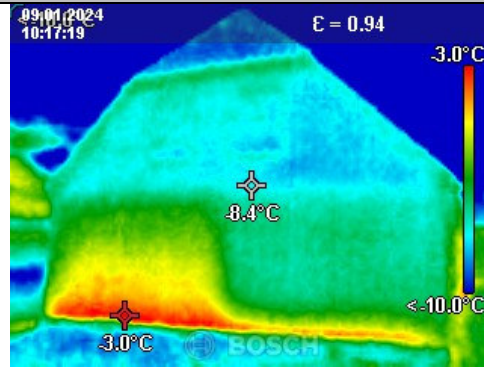
Termografering

Der er udført termografering af stuehuset indvendigt og udvendigt. Billederne som er medtaget i denne registrering, er billeder med uregelmæssigheder og billeder med markante varmetab. Der er samtidigt særligt fokus på de forsatsvægge, som blev fundet under den visuelle gennemgang af ejendommen.

Tabel 3 Termografering ved registrering

T1. Facade – nord	
	
Varmetab ses igennem vinduesrammer og der ses tydelige varmetab igennem sokkel samt den nederste af facadevæggen, både ud fra køkken og fra værelser. Fremføringen af et-strengs systemet går langs gulvet på den indvendige side, det er sandsynligvis den høje temperaturforskel, som er årsagen til det markante tab på termograferingen.	
T2 - Facade – syd	
	
Varmetab på vinduer og kraftige aftegninger af varmetab under vinduer. Under alle vinduerne på den sydvendte facade sidder der støbejerns radiatorer, som afgiver varme til facaden.	

T3. Facade – vest



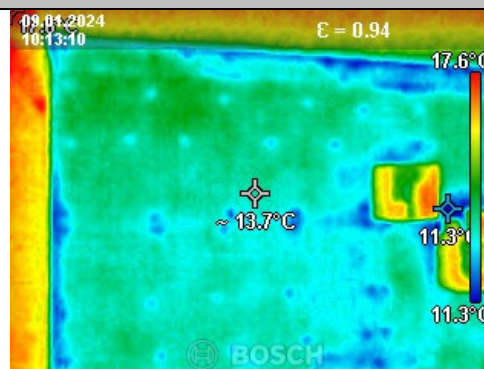
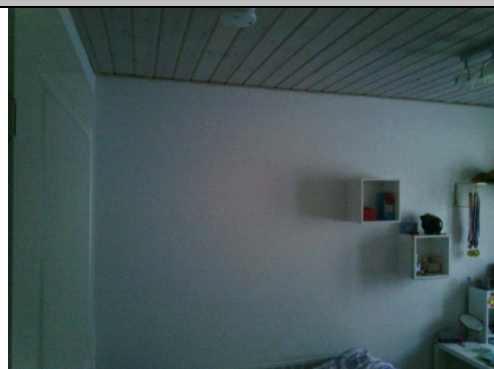
På facaden mod vest ses der markant forskel på varmetabet. Det er tydeligt, at værelset til højre er efterisoleret indefra. Til venstre på facaden ses der tydeligt varmetab i bunden af konstruktionen, hvor 1-strengssystemet er fremført. Temperaturen på murværket ligger imellem $-8,4^{\circ}\text{C}$ og $-3,3^{\circ}\text{C}$

T4. Sydvest vendt værelse nr. 7 med efterisolering i forsatsvæg

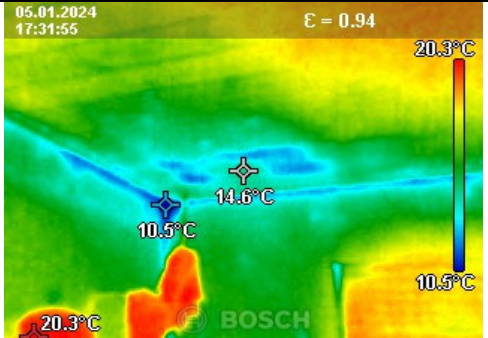
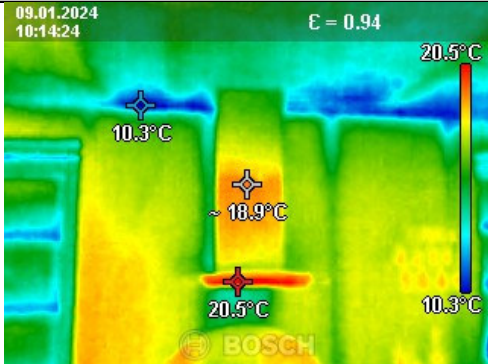


På termografien fremstår det opsatte skellet bag gipspladerne, den geometriske kuldebro er fremtrædende til venstre og temperaturen i øverste venstre hjørne ligger på $11,3^{\circ}\text{C}$. Overfladetemperaturen på forsatsvæggen ligger på $16,5^{\circ}\text{C}$. Ses der på facadevæggen imod syd, kan der fornemmes små enkeltstående kuldebroer.

T5. Nordvest vendt værelse nr. 1



På naboværelset, ses der kuldeaftegninger langs skillevæggen og samling mellem loft og væg. Der tegn på systematiske kuldebroer på indersiden af facadevæggen. Overfladetemperaturen ligger imellem på $11,3^{\circ}\text{C}$ og $13,7^{\circ}\text{C}$.

T6. Nordvest vendt værelse nr. 1 med skjolder på loft	
	
I modsatte side af værelset, ses der i øverste højre hjørne kuldeaftegninger mod den geometriske kuldebro. På loftet ses der aftegninger af kolde områder, et område der ligger under skunken på overetagen. Temperaturerne ligger imellem 10,5°C og 14,6°C. (Der er senere konstateret manglende isolering over loftet i skunken)	
T7 - Nordvendt køkken med indvendig efterisolering	
	
I køkkenet ses den indvendige efterisolering til venstre, hvor skellet træder frem på termograferingen, lysningen og bunden af vinduesfaget viser laveste temperaturer på 8°C.	
T8 - Nordvendt køkken emhætte	
	
På loftet over emhætten ses tydelige kuldeaftegningen, som strækker sig ind over loftet, hvilket kan tyde på en konvektiv kuldebro. Da områderne ligger i nærhed af emhætten, kan det tyde på utæt aftrækskanal. Temperaturen i kanten af loftet er på 10,3°C. (Der er senere konstateret manglende isolering over loftet i skunken)	

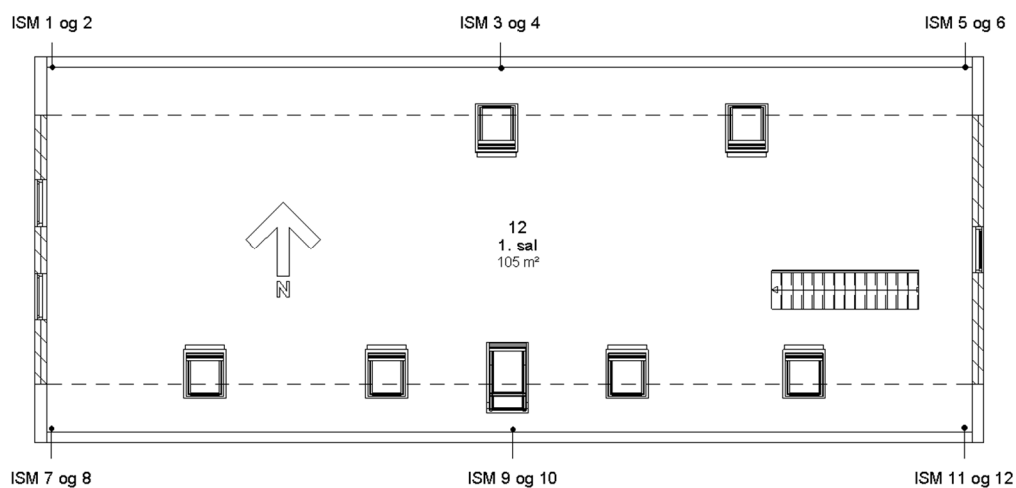
Tabel 3 Termografering ved registrering

Opsummering af termografi

Termograferingen har bekræftet fundet af forsatsvægge samt en gentagende overflade i stuehuset med mange små systematiske kuldebroer. Det tegner sig indvendigt på alle ydervægskonstruktioner og giver anledning til nærmere undersøgelse. Termografi T3 med forsatsvæggen mod vest, giver et meget bemærkelsesværdigt billede af en markant temperaturforskel sammenlignet med værelset uden isolering. De indvendige overfladetemperaturer ligger i et stort spænd, hvor enkelte målinger viser indvendige overfladetemperaturer ned omkring 8-11 °C. På termografi T1 fremgår varmetab ved sokkel, også i køkkenet, som ellers skulle have renoverede gulve med isolering og gulvvarme. Årsagen skal findes i at der ikke er anvendt kantisolering og betongulvet på den måde er støbt direkte ud i den massive sokkelkonstruktion. Flere steder er lofterne kolde, især på termografi T6 med værelset mod nordvest, samt omkring emhætten i køkkenet termografi T8. Det antyder, at der kan være utætheder og der er senere konstateret manglende isolering i skunken, som medfører konvektive kuldebroer.

2.2.2 Måling af træfugt med stikbensmåler

Der eksisterer ingen skunklemme på overetagen, hvorfor det har været nødvendigt at adskille skunkvæggen, for at få tilgang til bjælkerem og spærfod. Der er desuden fjernet isolering samt ét skifte mursten, som var muret ovenpå bjælkeremmen. For ikke at adskille hele skunken på overetagen, er der lavet åbninger og udført i alt 12 målinger. 6 målinger i hhv. nord- og sydvendt facade. Af nedenstående figur 32 fremgår målestederne, benævnt ISM. På hvert målested er der udført målinger på siden af spærhoved, hvor spærhoved møder spærfod, samt på bjælkeremmen ud mod gesims. Målingerne fremgår af tabel 4.



Figur 32 Målepunkter med indstiksmåler

Tabel 4 måleresultater med indstiksmåler

(ISM) nummer	Fugtindhold i træ i %	Kritisk 18-28%
Nordvendt facade		
		
Måleeksempel nordvendt facade		
1 Rem	16,8 %	Ok - Synlige skjolder
2 Spærhoved	15,3 %	Ok
3 Rem	13 %	Ok
4 Spærhoved	15,3 %	Ok – synlige skjolder
5 Rem	13,7 %	Ok
6 Spærhoved	13,9 %	Ok

Sydvendt facade



Måleeksempel sydvendt facade

7 Rem	22 %	Synlige rådskader
8 Spærhoved	23,2 %	Synlige rådskader
9 Rem	18,5%	Synlige rådskader
10 Spærhoved	19,2 %	Synlige rådskader
11 Rem	22 %	Delvist rådnet væk
12 Spærhoved	22,3 %	Synlige rådskader

Referencemålinger for øvrig konstruktion



Måleeksempel øvrig konstruktion

Hjælpepær	11,6%	OK
Oprindeligt spær	14,7%	OK

Tabel 4 måleresultater med indstiksmåler

Opsummering af indstiksmålinger

Der er fundet flere områder i den bærende trækonstruktion, med et fugtindhold over 18% og tydeligt angreb af råd. Indstiksmålingerne har vist fugtindhold på op til 23,2%. Ses der på nedenstående se figur 33 udklip fra tabel, er alle fugtmålinger i den sydvendte facade mellem grænserne på 18-28% som svarer til at trækonstruktionen er placeret ubeskyttet for vejrliget, med risiko for vækst af skimmel. Flere af målingerne er over 20% som jf. nedenstående tabeludklip, giver risiko for trænedbrydende svampe. Det kan have en sammenhæng med, at den sydvendte rem ved måling 11 i tabellen ovenfor, er delvist rådnet væk.

12-15 %	Bygningstørt	f.eks. træfacader	Ingen risiko for skimmel.
16-17 %	Fugtigt	f.eks. fri luft under tag	Risiko for vækst af skimmel.
18-28 %	Vådt	f.eks. ubeskyttet for vejrliget	Stor risiko for vækst af skimmel
>28 %	Vandindholdet ved fibermætningspunktet regnes normalt som 28 %. (er træartsspecifikt)		
>20 %	Vil der være risiko for trænedbrydende svampe.		

Figur 33 Tabel over fugtindhold i træ.

I konstruktionen på den nordvendte facade er der fundet aftegninger af fugt på trækonstruktionen. Konstruktionen på denne side er i overordnet god stand. Her ligger fugtmålinger imellem 13-16,8%, som i følge tabeludklippet svarer til fugtigt træ, der ligger i fri luft under tag. Den kritiske tilstand på sydsiden kan teoretisk skyldes, at den udvendige facadetemperatur i perioder kan overstige den indvendige. Dermed vil fugt diffundere ind i konstruktionen med risiko for kondensering på bjælkerem og bjælkeender. Disse konstruktionsforhold og formodninger medtages i WUFI og simuleres senere i rapporten. Afhjælpning af de kritiske fund medtages i konstruktionsforbedringer til bygherre.

2.2.3 Logning i konstruktioner

Under registrering d.5/1-7/1, hvor der blev registreret flere ukendte konstruktioner, er der placeret en række USB-loggere. Loggerne skal give datagrundlag for nærmere analysering af temperatur og fugtforhold inde i konstruktionerne. Der er samtidig placeret en udvendig logger, som reference til de indvendige målinger. På billederne Figur 34 og 35, ses et eksempel på, hvordan loggerne er placeret i forsatsvæggen ved at udbore en kerne fra konstruktionen, hvori loggerne lægges. Konstruktionen er derefter lukket igen. Den udborede kerne limes tilbage i med silikone.

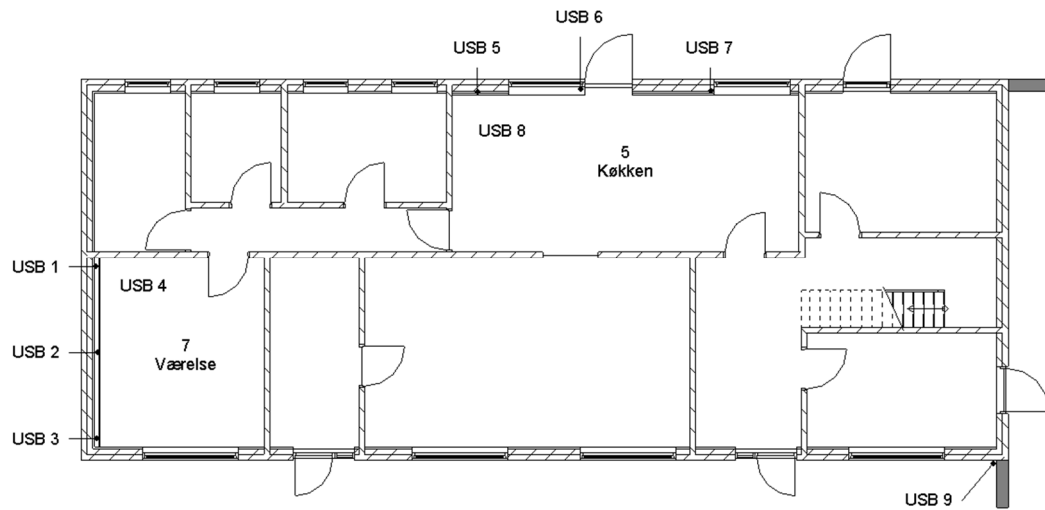


Figur 35 Udboring til logger

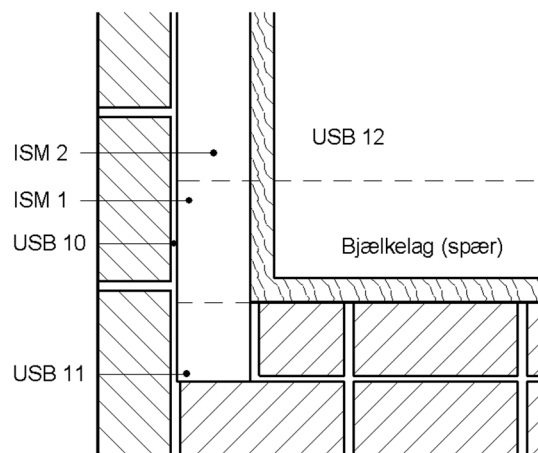


Figur 34 Lukning til logger

Placeringerne i forsatsvægge er gjort med hensyn til kuldebroer, da disse kan medføre de koldeste indvendige overfladetemperaturer. (Hansen og Peuhkuri 2023). Loggerne er lagt ind i isoleringen, foran den oprindelige indvendige overflade. Dette må antages at være et kritisk punkt i forhold til kondensering, da temperaturen vil falde drastisk hen over isoleringslaget. Dermed vil den oprindelige konstruktion og ydervæg være kold. Dette underbygges samtidig af termograferingen, som viser den uisolerede væg antager en udvendig overfladetemperatur på -3°C , hvor den isolerede del ligger omkring -8°C . Placering for USB-loggere fremgår af tabel 5, visuel oversigt fremgår af figur 36 og 37



Figur 36 Placering af USB-loggere 1-9



Figur 37 Placering af USB-loggere 10-12

USB nr.	Beskrivelse af placering	Logger nr.
USB 1	Værelse 7 - Forsatsvæg. Placeret i 95mm isoleringslag ud mod træbetonplade. 200 mm fra konstruktiv kuldebro, 1000 mm over gulv	SBI nr. 5075
USB 2	Værelse 7 - Forsatsvæg. Placeret i 95mm isoleringslag ud mod træbetonplade. Midt på væg, 1000 mm over gulv	SBI nr. 5340
USB 3	Værelse 7 - Forsatsvæg. Placeret i 95mm isoleringslag ud mod træbetonplade 200 mm fra geometrisk kuldebro, 1000 mm over gulv	SBI nr. 5219
USB 4	Værelse 7 – Logning af rum. Logger placeret på hylde, 1500 mm over gulv	SBI nr. 5521
USB 5	Køkken 5 - Forsatsvæg. Placeret i 45mm isoleringslag ud mod træbetonplade. Midt på væg, 1200 mm over gulv.	SBI nr. 5084
USB 6	Køkken 5 - Forsatsvæg. Placeret i 45mm isolering i lysning hvor dør møder vindue 900 mm over gulv	SBI nr. 5364
USB 7	Køkken 5 - Forsatsvæg. Placeret i 45mm isoleringslag i lysning af vinduet 1200 mm over gulv	SBI nr. 5280
USB 8	Køkken 5 – Logning af rum. Logger placeret på hylde, 1500 mm over gulv	SBI nr. 5128
USB 9	Placeret udvendigt under udhæng	SBI nr. 5180
USB 10	Placeret inde i skunk ved sydvendt spærende	ELMA 3
USB 11	Placeret inde i skunk ved vestvendt remende.	ELMA 2
USB 12	Placeret på gulv på 1. sal uden for skunk.	ELMA 1

Tabel 5 Placering af USB-loggere

2.2.4 Gannmålinger

Fra den visuelle gennemgang, blev der i den vestlige halvdel af stuehuset fundet flere gulvkonstruktioner i beton, som formodes at ligge direkte på jord, uden kapillarbrydende lag. Foruden gulvkonstruktioner, blev der fundet områder, hvor tapet har løsnet sig i bunden på den gennemgående skillevæg, i værelsesgang og ved husets hoveddør. Disse fund giver anledning til nærmere undersøgelser af konstruktionernes fugtforhold. For at få en indikation af fugtforhold måles konstruktionerne med Gannmåler. Der er i alt udført 16 målinger, som er medtaget i nedenstående tabel 6, og målestederne kan ses i figur 39 nedenfor. Der er udført målinger på cementbaserede konstruktioner, hvorfor nedenstående udklip af tabel er gældende for måleværdier se figur 38.

Cement	<25	DRY (Tør)
	25-50	RISK (Risiko)
	>50	WET (Våd)

Figur 38 Udklip af fugtsammenligningstabel som viser fugtniveau i cement



Figur 39 Målepunkters placering

Tabel 6 Oversigt over gannmålinger

Måleeksempler skilleveg og gulv



Måling Nr.G8 og Nr.G12

	Måleværdi	Tør / Risiko / Våd
G1 Gennemgående skilleveg	23,3	Tør
G2 Gennemgående skilleveg	24,6	Tør
G3 Gennemgående skilleveg	20,1	Tør
G4 Gennemgående skilleveg	49,3	Risiko
G5 Gennemgående skilleveg	46,4	Risiko
G6 Gennemgående skilleveg	58,4	Våd
G7 Gennemgående skilleveg	53,5	Våd
G8 Gennemgående skilleveg	98,8	Våd
G9 Gennemgående skilleveg	79,9	Våd
G10 Gennemgående skilleveg	52,4	Våd
G11 Fals ved hoveddør	100	Våd
G12 Skilleveg ved hoveddør	78,3	Våd
G13 Betongulv gang vest	100	Våd

G14 Betongulv gang øst	68,2	Våd
G15 referencemåling midt på skillevæg gang	34,0	Risiko
G16 referencemåling midt på betongulv rum5	47,1	Risiko
Måleeksempler reference		
		

Tabel 6 Oversigt over gannmålinger

Opsummering gannmålinger

Fugtmålingerne på den gennemgående skillevæg varierer. I den del af stuehuset, som har renoverede gulvkonstruktioner, måles lav til middel fugtindhold i skillevægskonstruktionen. På de steder, hvor skillevæggen står mod gulv, som ligger direkte på jord, måles højt fugtindhold. Målinger på gulvkonstruktion i gangen, som også formodes at ligge direkte på jord, viser ligeledes høje måleværdier.

Fugtmålingen på skillevæggen og falsen ved hoveddøren, viste også høje måleværdier. En nærmere undersøgelse af hoveddøren, afslører tidligere manglende fuge under dør, både på indvendig og udvendig side. Dermed kan fugt trække ind under døren og ind i skillevægskonstruktionen.

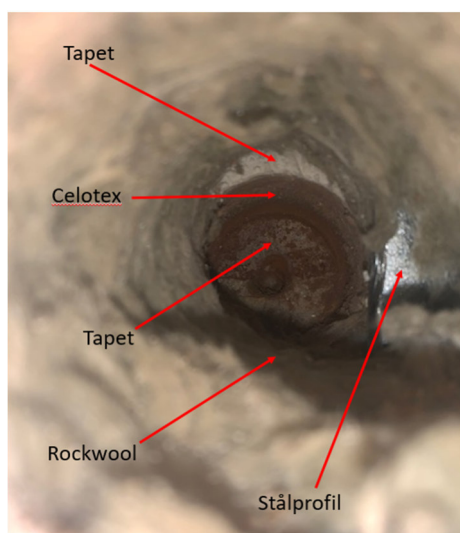
2.2.5 Udtagning af materialeprøver til skimmelanalyse

I forbindelse med udtagning af USB-loggere, er der anskaffet et boresæt se Figur 40, for at udbore kerner af de fundne konstruktioner med henblik på materiale til skimmelanalyse. Boresættet er med diamant hulbor, for at kunne bore igennem forsatskonstruktionen og ud i murstensfacaden.

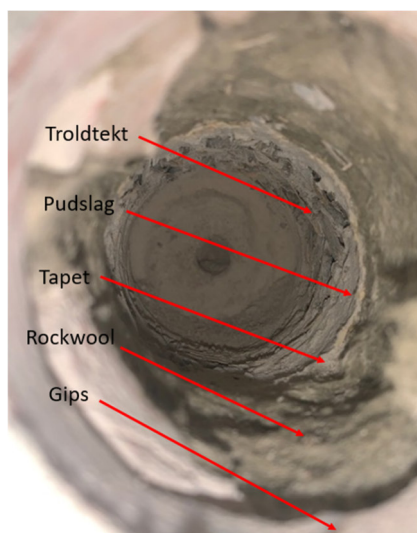


Figur 40 Boresæt med diamant hulbor

Ved udboringen viser det sig, at der på værelset med den vestvendte forsatsvæg, ikke er et lag af puds på troldekt, men et lag af celotexplade (træfiberisolering) på ca.30mm. Desuden findes der flere lag af tapet i materialeprøven, som strider imod SBI anvisning 240 (Møller, E. 2012) Anvisningen forskriver at alt organisk materiale som tapet og lim, skal fjernes før der opsættes indvendig efterisolering. Organisk materiale i konstruktionen øger risikoen for skimmelvækst, da tapetet kan virke som næring for skimmelsvampe. På nedenstående figur 41 – Celotex og figur 42 - Troldekt. Ses væggenes opbygning, hvor de forskellige lag fremgår, herunder fundet af tapet i begge forsatsvægge.



Figur 41 Udboring af forsatsvæg med celotex



Figur 42 Udboring af forsatsvæg med troldekt

Boreprøverne lægges i lufttætte poser og nummereres, så det er nemt at finde tilbage til, hvor i konstruktionen prøven er taget. Hver boreprøve opdelt i to, hvor den inderste del af prøven f.eks. Pos 1,1 vender ind mod isoleringslaget og den yderste del af prøven pos 1.2 vender ud mod facaden. Som det fremgår på figur 43, ses der tydelige rester af flere lag tapet i boreprøverne, der er ikke umiddelbare tegn på skimmel i tapetresterne, men det inderste puds fra murværket virker fugtigt.



Figur 43 Materialer sendes til skimmelanalyse

2.3 Delkonklusion – tilstandsregistrering

Ved besigtigelsen er der fundet flere konstruktioner, som ikke var ventet. Der er på et tidspunkt i bygningens levetid, tilført indvendig efterisolering af alle ydervægge. Efterisoleringen er grundlæggende udført med en 40mm træfiberbetonplade, på nær det sydvestvendte værelse, hvor der er anvendt celotexplade mod vest. Den indvendige efterisolering blev afsløret under termografering, hvor pladerne der er fastgjort med søm, fremstår på termografien som systematiske kuldebroer. To steder i ejendommen er der fundet forsatsvægge på skellet. Disse forsatsvægge er undersøgt nærmere, ved at udbore kerner af konstruktionen. De destruktive undersøgelser viser, at der ikke er anvendt dampspærre i forsatsvæggene. Desuden er forsatsvæggene placeret uden på efterisoleringen med hhv. Celotex og træfiberbetonplader og der er fundet tapet inde i begge forsatskonstruktioner. Denne type konstruktioner kan give anledning til fugtproblemer, grundet den lave temperatur inde i konstruktionen, hvorfor der arbejdes videre med undersøgelser af disse.

Gannmålingerne tyder på, at de gulvkonstruktioner som ligger direkte på jord, er medvirkende til at trække fugt med op i skillevægskonstruktionen,

eller at jordlaget ligger højre end skillevæggens fundering, og dermed trækker fugt ind i skillevæggen. Gulvkonstruktioner analyseres ikke yderligere, men tages med som et punkt i anbefalingen til bygherre, da disse under alle omstændigheder bør renoveres for at sikre bedre isolationsevne. Det kan konkluderes, at de fokusområder, som der blev fundet ud fra den tidstypiske byggestil, har været behæftet med problemer og medbragt flere uventede konstruktioner under besigtigelsen. Især spærkonstruktionen ved rem og bjælkeender har fugt og rådproblemer, som nu er bekræftet både ved visuel inspektion og ved målinger af træfugt med indstiksmåler. Især mod syd er remmen hårdt ramt og delvist rådnet væk. På baggrund af tilstandsregistreringen, rettes fokus nærmere en energioptimering, som samtidig afhjælper de udfordringer bygningen har med fugt. Der skal samtidig udarbejdes en anbefaling, som beskriver fugtproblemer og afhjælpning til bygherre. På den baggrund, arbejdes der videre med fokusområderne i del 3, som fremgår på tabel 7. Rød er de mest kritiske konstruktioner, gul er konstruktioner der undersøges nærmere og grøn er konstruktioner der forventes at være ok.

Scenarie 1 - Tillægges fund af forsatsvæg 95mm, måles med USB-loggere

Scenarie 2 - Tillægges fund af efterisolering med 40mm troldekt (Udgår fra nærmere undersøgelser, da de 40mm også indgår i konstruktionen med 45mm forsatsvæg.

Scenarie 3 - Tillægges fund af råd, målt med indstiksmåler

Scenarie 4 - Tillægges fund af råd, målt med indstiksmåler (Scenarie 3+4 lægges sammen til scenarie 4, da konstruktionerne er overvejende ens. Der fokuseres på bjælkeremmen, som er hårdest medtaget og eftervisning af hvorfor den er rådnet væk og hvorfor den nordvendte rem er bedre stand) Uanset resultater, skal den sydvendte rem udskiftes.

Scenarie 5 - Tillægges fund af forsatsvæg 45mm, samt mørke skjolder i lysninger, måles med USB-loggere.

	DEL 1	DEL 1	DEL 2
Scenarie	HEAT2 - Teoretisk Indvendig overflade ved udv. temp -12°C/20°C	HEAT2 - Teoretisk Indvendig overflade ved udv. temp -0,7°C/20°C	Besigtigelse og närmere undersøgelser
Scenarie 1 – Facadehjørne Tillægges forsatsvæg	Hjørne = 10°C Væg = 14 °C Max RH = 85%	Hjørne = 13 °C Væg = 16,2 °C Max RH = 70%	Forsatsvæg fundet på værelse 7. USB - loggere placeret i konstruktionen. Ingen tegn på skimmel
Scenarie 4 - Bjælkerem, sydvendt og nordvendt facade	Hjørne ud = - 7,5°C Hjørne ind = - 2°C Max RH = >100%	Hjørne ud = 2°C Hjørne ind = 6°C Max RH = >100%	Råd fundet, hvor remmen flere steder er delvist væk på den sydvendte facade
Scenarie 5 – Vindue- og dørfalse Tillægges forsatsvæg	Lysning = 13,5°C RH = 65%	Lysning = 16°C RH = 58%	Forsatsvæg i køkken. USB - loggere placeret i konstruktionen. Mørke skjolder på lysning

Tabel 7 Oversigt med status på scenarier

Del 3 – Analysering af data og simulering af konstruktioner

3.1 Metode

Den indsamlede loggerdata fra del 2, er trukket ud af USB loggerne via softwaren Easy Log. Herefter bearbejdes loggerdata i Excel, hvor målingerne renses ved start og slut, hvor loggeren er under klimatisering. Data fra hver logger inddeles på hvert sit faneblad i Excel og navngives, så placering og loggernummer fremgår til senere brug, se Bilag C Excel.

Den målte data og det kendskab til konstruktionerne, som er opnået i del 2, simuleres i HEAT2 og WUFI Pro, for at efterprøve de aktuelle konstruktioner i forhold til temperatur og fugt.

Materialeprøver til skimmelanalyse er videregivet til vejleder Ruut Hannele Peuhkuri, for analyse i AAU KBH's laboratorie.

For at besvare bygherres bekymringer omkring klimaforandringer, tages der udgangspunkt i DMI.dk, hvor historiske og aktuelle klimadata findes. Disse data undersøges for ejendommens geografiske placering og der anvendes GIS for at simulere ekstremregn på den faktiske adresse. De eksisterende vandaflørende konstruktioner, så som tagrende, nedløb og kloak, kontrolleres jf. SBI 255.

Til at fastlægge bygningens nuværende energiramme, anvendes BE18.

Inddata på arealer, bygningsdele og mængder, er taget fra Revit, hvor bygningen er tegnet op under bygningsregistreringen udført i del 2.

Mængder er udregnet jf. SBI 213. Ved mangel på data, er der estimeret iht.

Branchevejledning for indeklimaberegninger. Alle udtræk fra Revit er blevet behandlet i Excel se Bilag C Excel. Alle mellemregninger ligger med i det omtalte bilag og alle opmålinger er udført iht. DS 418 og SBI-anvisning 213. (Danske standart. 2011) (Aggerholm2011)

3.1.1 Scenarie 1

I udgangspunkt omhandlede Scenarie 1 de geometriske kuldebroer i stuehuset og risikoen for kondensdannelse i indvendige hjørner. Imidlertid blev der under besigtigelse konstateret en forsatsvæg mod vest, på det sydvestvendte værelse 7. På den baggrund er der udført en række undersøgelser på forsatsvæggen, herunder destruktive undersøgelser, termografering, logning af temperatur og fugt inde i konstruktionen, samt udtagning af materialeprøver til skimmelmanalyse. Ved udtagning af materialeprøver til skimmelmanalyse, blev der yderligere fundet et lag i konstruktionen af Celotex, som tidligere beskrevet. Samlet set, er der behov for at bearbejde og analysere de målinger og konstruktionsopbygninger som er indhentet. Analysen skal afgøre om konstruktionen giver anledning til problemer med fugt og skimmel. Scenarie 1 gennemgår følgende:

- Vurdering af skimmelrisiko inde i konstruktion ud fra USB loggerdata
- HEAT2 beregning på faktisk konstruktion og målte temperaturer, samt vurdering af skimmelrisiko på indvendige overflader
- WUFI Pro simulering af konstruktionen over en periode på 3 år
- WUFI VTT Model for vurdering af skimmelrisiko
- Svar på skimmelmanalyse

USB logger data – Vurdering af skimmelrisiko

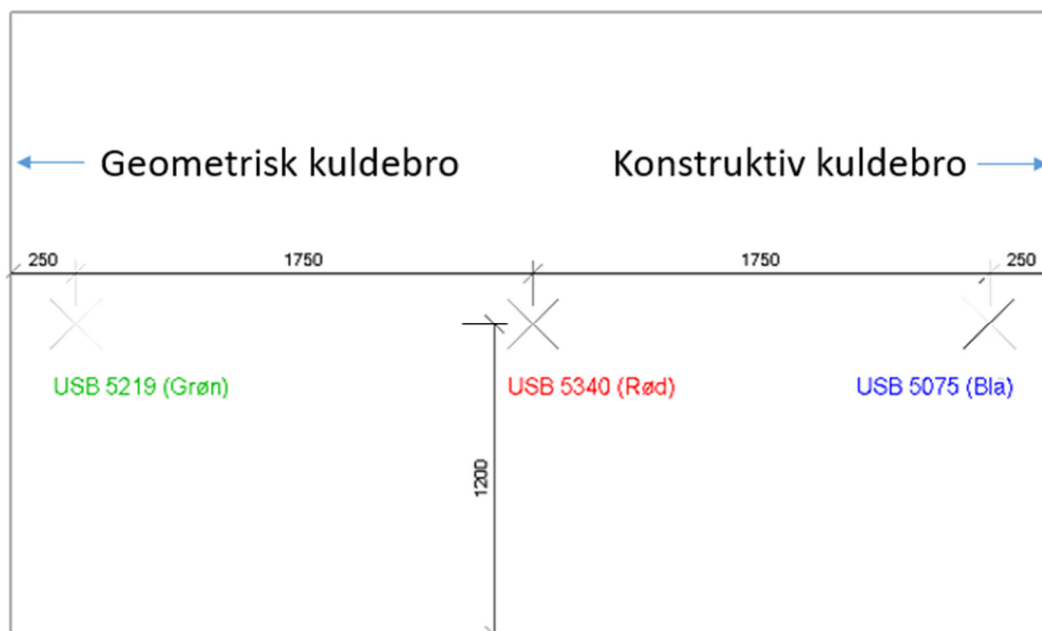
For at vurdere om målingerne i konstruktionen er kritiske i forhold til skimmelsvamp, følges SBI 224 tabel 9, se figur 44, hvor den kritiske RF for skimmelvækst i træ og træbaserede materialer er fastsat til 75% RF. Dette er gjort på baggrund af det savsmuldstapet og Celotex (træfibermateriale), som blev fundet ved udboring af konstruktionen. Som det fremgår af tabellen, dækker værdierne langtidspåvirkning ved 20°C. Derfor er måledata fra USB-loggerne i konstruktionen inddelt i temperatur og relativ fugtighed over perioder fastsat på 16 dage, som er den øvre fastsatte tidsgrænse, hvor der under givne forhold kan opstå skimmelvækst.

Tabel 9. Eksempler på eksperimentelt bestemt kritisk relativ fugtighed for skimmelsvampevækst på overfladen af byggematerialer (Johansson et al., 2005). Værdierne dækker lang tids påvirkning ved 20 °C.

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

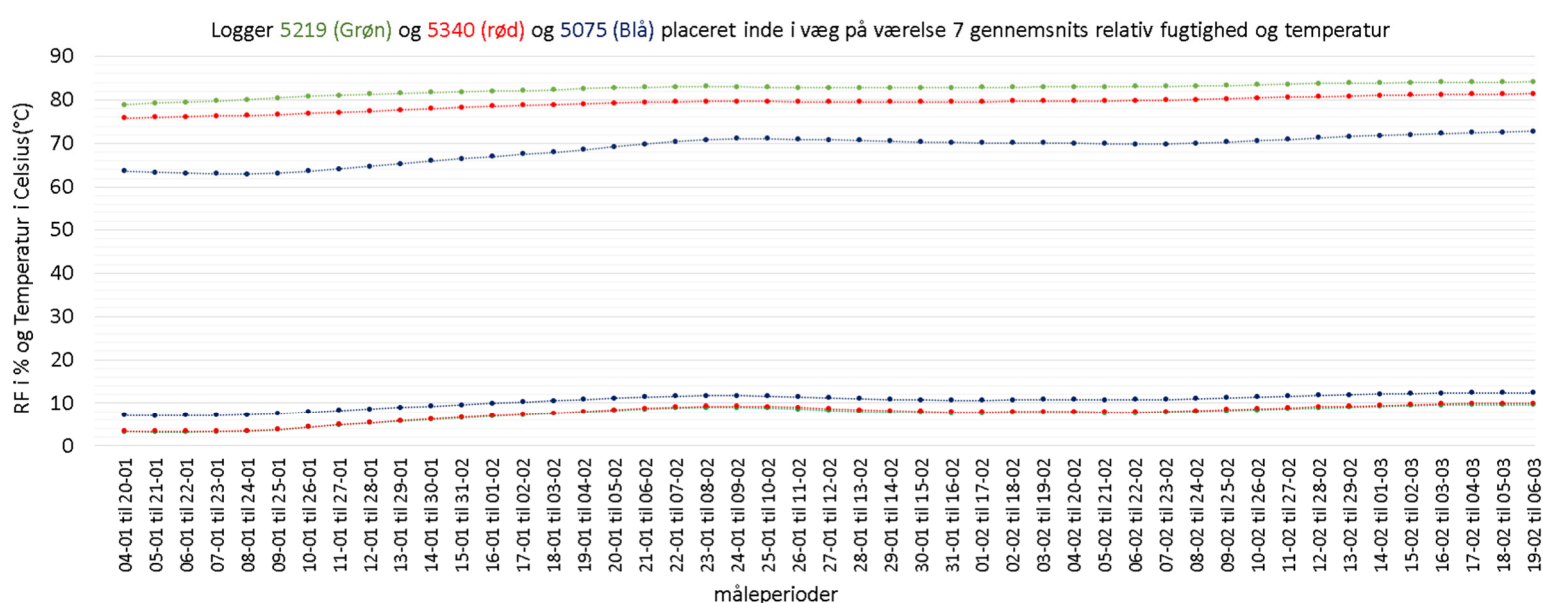
Figur 44 Tabel fra SBI 224

Placering af loggerne i forsatsvæggen på værelse 7 fremgår af figur 45



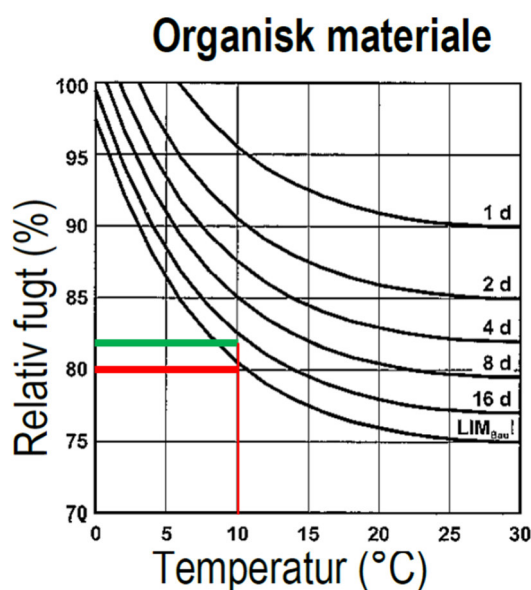
Figur 45 Placering af loggerne i forsatsvæg på værelse 7

Loggerdata for logger SBI nr. 5219, 5340 og 5075 fremgår i figur 46 nedenfor. Sammenlignes RF på de tre loggere, ses det at loggeren nærmest den geometriske kuldebro SBI nr. 5219 (Grøn) som ligger øverst på grafen med et gennemsnit på over 80% RF i størstedelen af måleperioden (3/1 til 9/3-2024). Den samme logger, har i måleperioden en gennemsnitlig temperatur omkring 10°C. Ser vi på loggeren i midten af væggen SBI nr. 5340 (Rød) ligger den og tangerer de 80% RF det meste af måleperioden med næsten den samme gennemsnitstemperatur, som den først omtalte logger, og den overskrider dermed den anden loggers punkter i diagrammet nedenfor. Den sidste logger placeret tæt på skillevæg logger SBI nr. 5075 (Blå) ligger hele måleperioden under 75% RF og med en gennemsnitstemperatur på mere end 10°C i måleperioden.



Figur 46 Diagram over loggere SBI nr. 5219 (Grøn) og 5340 (Rød) og 5075 (Blå) placeret i forsatsvæg på værelse 7 og deres gennemsnitlige relative luftfugtighed samt gennemsnitstemperatur inddelt i 16 dages perioder.

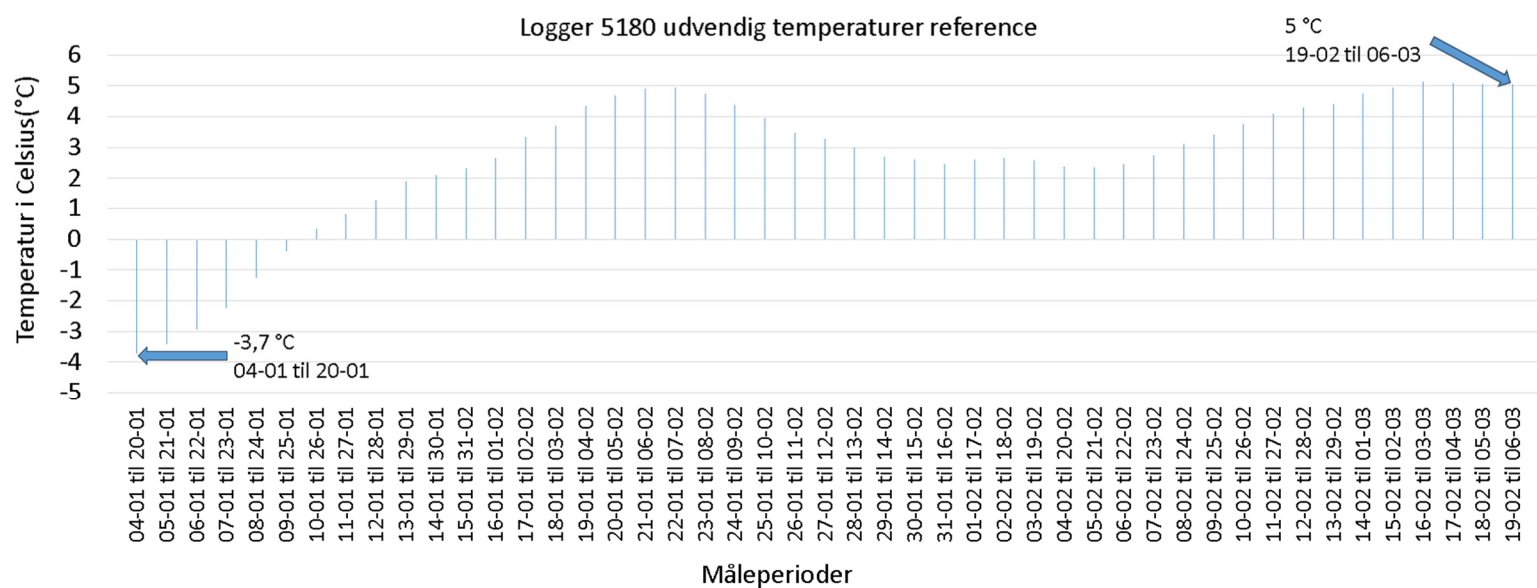
Ses der på loggeren tættest på den konstruktive kuldebro SBI nr. 5075, ligger denne i hele perioden under 75% RF, hvorfor denne ikke medtages nedenstående diagram. I stedet indtegnes SBI nr. 5219 som ligger omkring 80% RF og 10°C, samt 5340 som ligger omkring 82% RF og 10°C i skimmeldiagrammet. Begge ligger over den nedre grænse på 75% RF. Der indtegnes for de mest kritiske 16 dages perioder i nedenstående figur 47 for organiske materialer. Skæringspunktet for loggeren tættest på den geometriske kuldebro SBI nr. 5219 ligger imellem LIM kurven og 16 dages kurven, dermed viser skimmeldiagrammet at der kan være en lille risiko for skimmelvækst. Loggeren i midten af konstruktionen SBI nr. 5340, ligger lige under LIM grænsen, og det må antages at der ikke er risiko for skimmelvækst for denne.



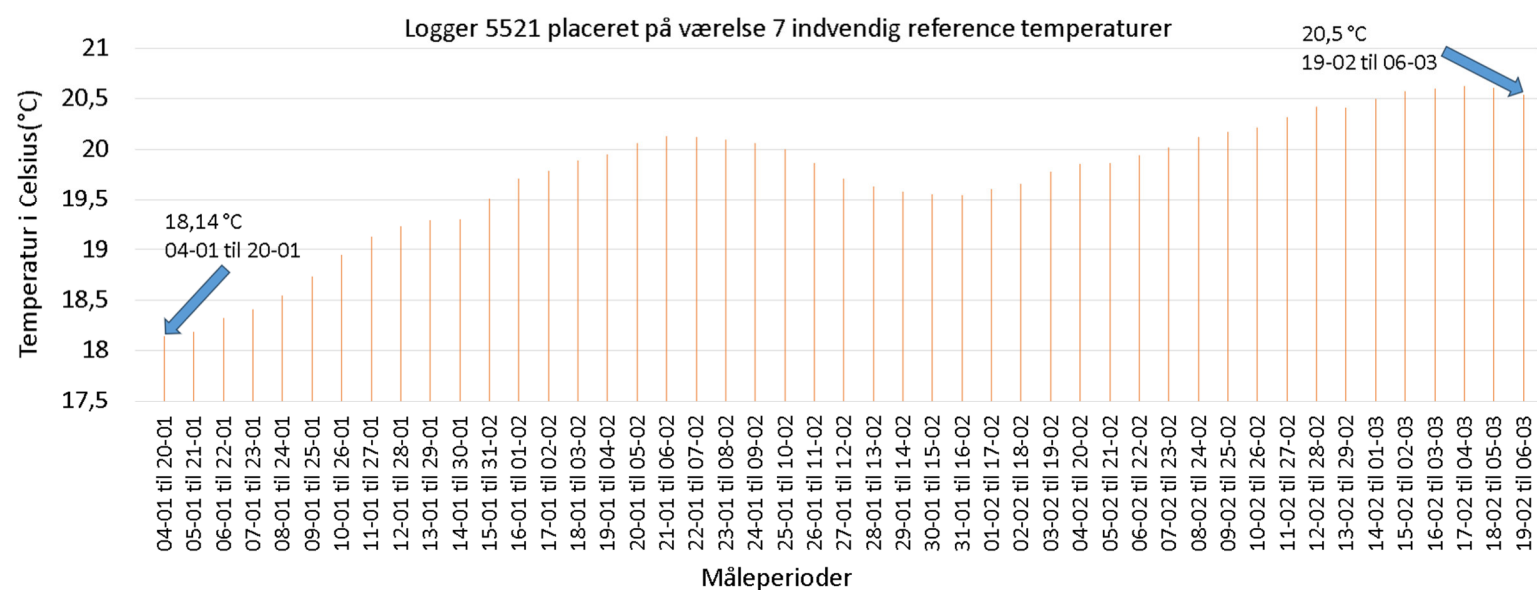
Figur 47 Diagram over skimmelvækstforhold fra logger SBI nr. 5219 (Grøn) og 5340 (Rød)

HEAT2 Simulering

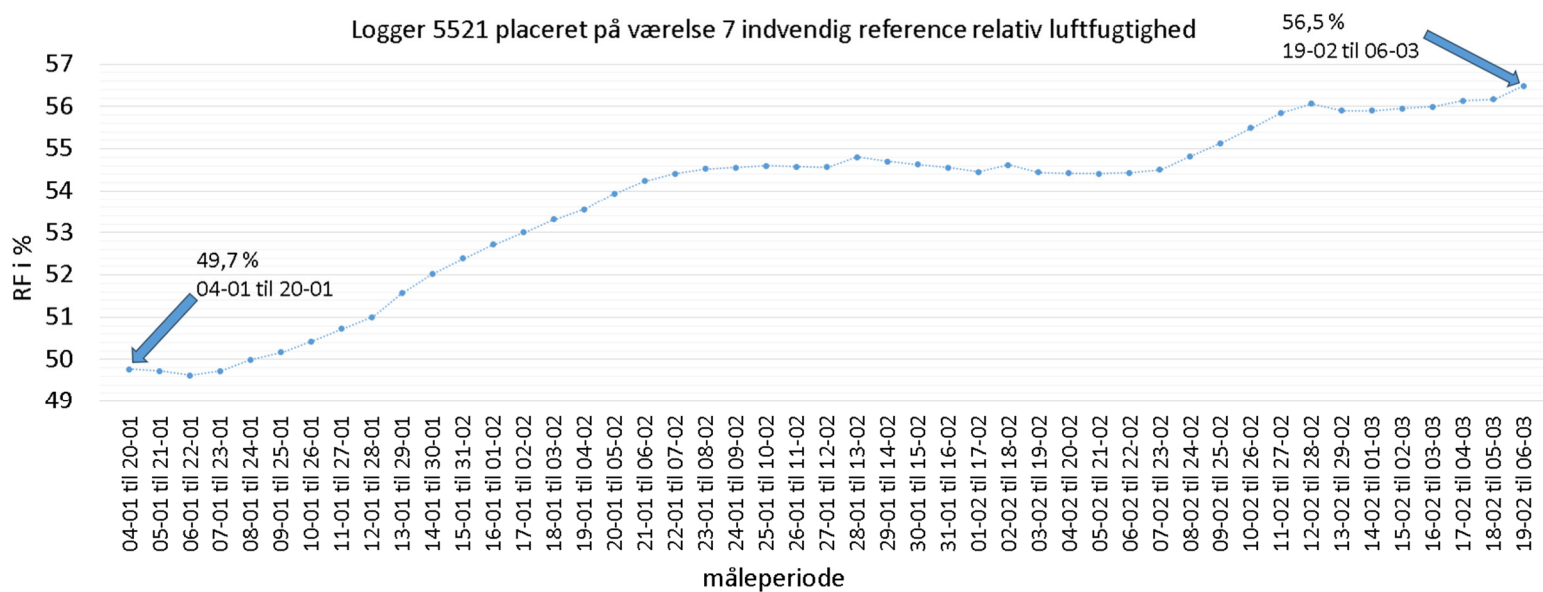
Efter den aktuelle konstruktion er kendt, optegnes konstruktionen på ny i HEAT2, hvorefter der simuleres med temperaturer og relativ fugtighed fra de aktuelle USB-logninger. Dette for at kontrollere, om der opstår fugtforhold og temperaturer på overflader, som giver anledning til skimmelvækst. Figur 48, er temperaturdata fra den udvendige reference logger SBI nr.5180, hvor data er inddelt i gennemsnitsperioder af 16 dage. Figur 49 og 50, er henholdsvis temperatur og fugtmålinger fra den indvendige logger SBI nr.5521 placeret på værelse 7, som på samme måde er inddelt i gennemsnitsperioder på 16 dage, der simuleres på den koldeste målte udetemperatur og den indvendige højest målte relative luftfugtighed, for at se, hvad der er mest kritisk for konstruktionen.



Figur 48 Diagram over logger SBI nr. 5180 placeret som udreference, diagrammet er inddelt i gennemsnittemperaturer inddelt i 16 dages perioder.



Figur 49 Diagram over logger SBI nr. 5521 placeret på værelse 7 som reference gennemsnittemperaturer inddelt i 16 dages perioder.



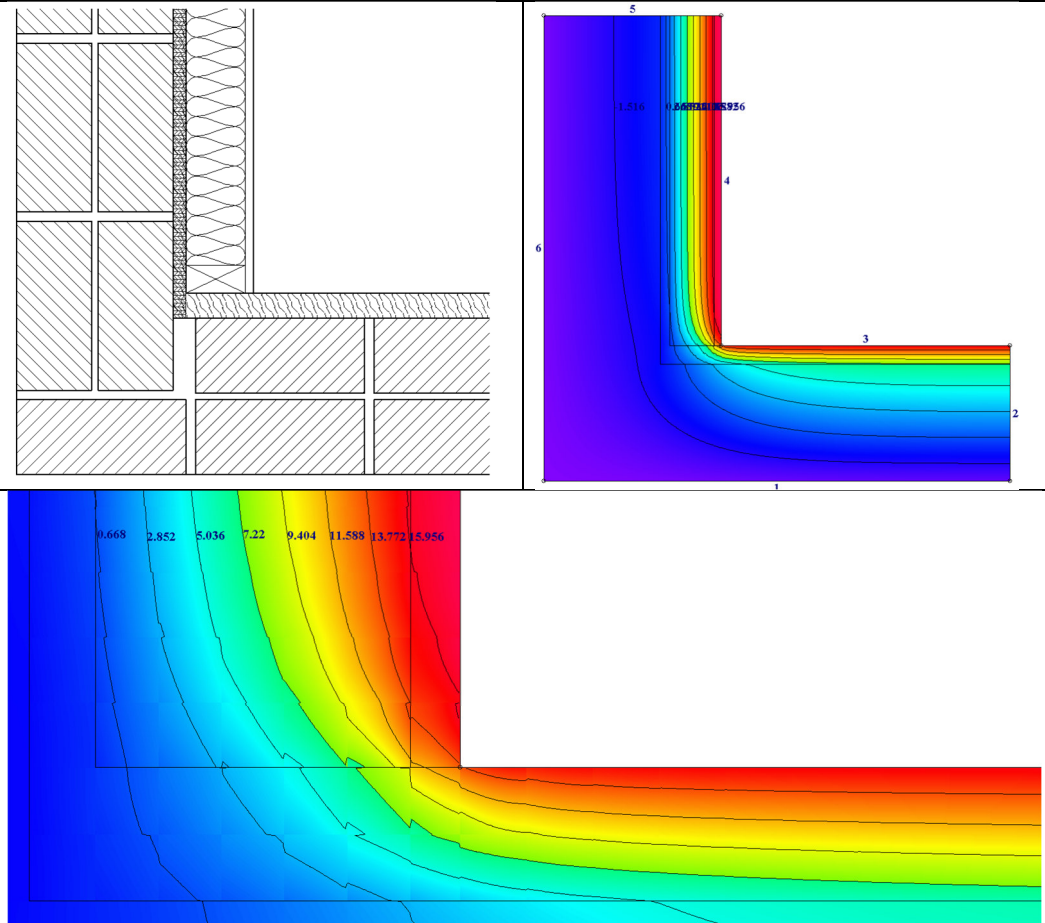
Figur 50 Diagram over logger SBI nr. 5521 placeret på værelse 7 som reference gennemsnits relative luftfugtighed inddelt i 16 dages perioder.

I nedenstående tabel 8 ses opsummering af de målte data fra loggere som relaterer sig til scenarie 1.

	Simulering 1 (04/01-20/1)	Simulering 2 (19/2- 06/3)
Udetemperatur figur 48	-3,7 °C	5 °C
Indetemperatur figur 49	18,1 °C	20,5 °C
RF, figur 50	49,7 %	56,5%

Tabel 8, aflæste værdier fra ovenstående diagrammer

Scenarie 1 - hjørnesamling imellem gavn og facade i tegl, geometrisk kuldebro

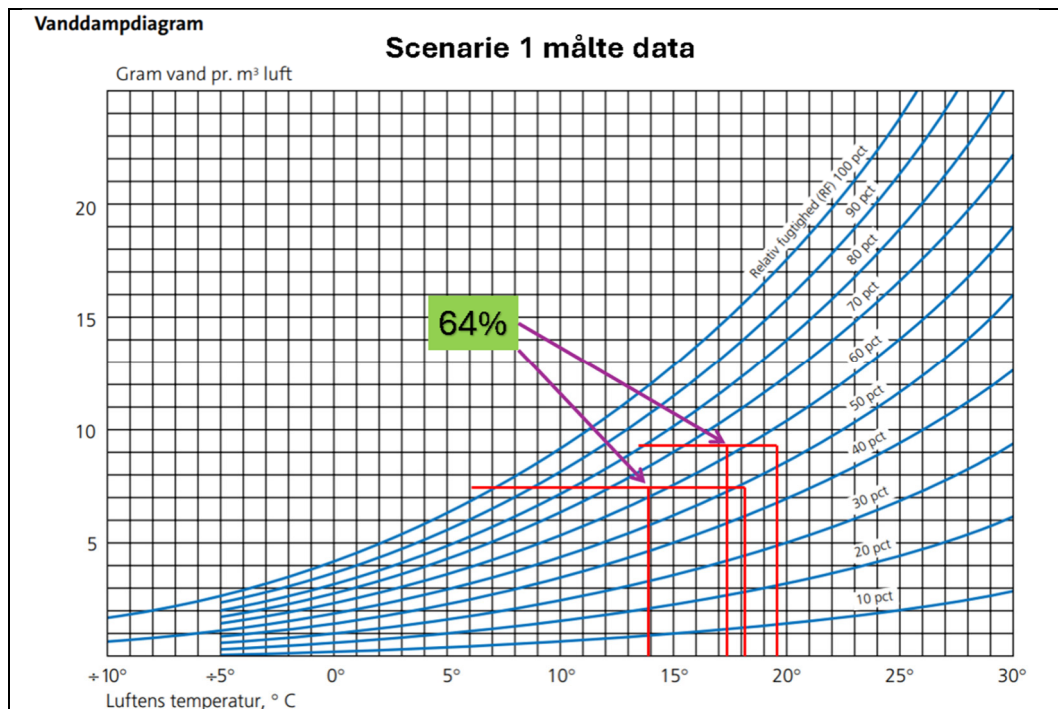


-3,7 °C ude og 18°C inde

Ud fra målte temperaturmiddel, opnås en overfladetemperatur fra 17°C på væg til 14°C i hjørnesamling. Med en gennemsnitlig relativ fugtighed på 49% i måleperioden giver denne overfladetemperatur indplaceret i vanddampsdiagrammet nedenfor, en relativ fugtighed på 64% på vægoverfladen. Dette ligger under grænsen på 75%, hvorfor der ikke er risiko for skimmelvækst.

5 °C ude og 20,5°C inde

Ud fra målte temperaturmiddel, opnås en overfladetemperatur fra 19,7 °C på væg til 17,4 °C i hjørnesamling. Med en gennemsnitlig relativ fugtighed på 56,5% i måleperioden giver denne overfladetemperatur indplaceret i vanddampsdiagrammet nedenfor, en relativ fugtighed på 64% på vægoverfladen. Dette ligger også under grænsen på 75%, hvorfor der ikke er risiko for skimmelvækst.



WUFI Pro simulering.

Målingerne fra USB-loggerne i konstruktionen har i måleperioden vist forhold som giver anledning til nærmere undersøgelse af skimmelvækst. Målingerne ligger på grænsen til at kunne aktivere skimmelsporer. Da målingerne i konstruktionen har været tidsbegrænset grundet projektforløbet og dermed ikke strækker sig over alle årets måneder, vil en simulering af konstruktionen i WUFI, kunne give et bud på, om der er forhold i løbet af året, som giver anledning til yderligere undersøgelse for skimmel. Samtidig vil simuleringen i WUFI, give mulighed for at se ind i hele konstruktionen og udvælge laget med celotexplade, som er organisk og dermed kan give næring til skimmelvækst.

Konstruktionsopbygning

Konstruktionen er bygget op efter de tilgængelige materialer i programmet, som fremgår på figur 51. Da murværket på facaderne er vandskuret, er der valgt en 2mm mineralsk finish, hvor der i programmet er valgt en silikatmaling, som overfladebehandling. Herefter er der valgt 25cm massivt murværk, og en træfiberplade på 30mm, som bør have lignende egenskaber som Celotexpladen. Herefter er der valgt 95mm isolering og en 13mm gipsplade.

No.	Material Layer	Thickn. [m]	Water Content [kg/m³]
1	Mineral Finishing Coat	0.002	8,9
2	Brick H	0.250	1,0
3	Wood-Fibre Insulation Board 1	0.03	17,3
4	ISOVER GW Integra ZKF - 035	0.095	0,7
5	Gypsum Board	0.013	7,41

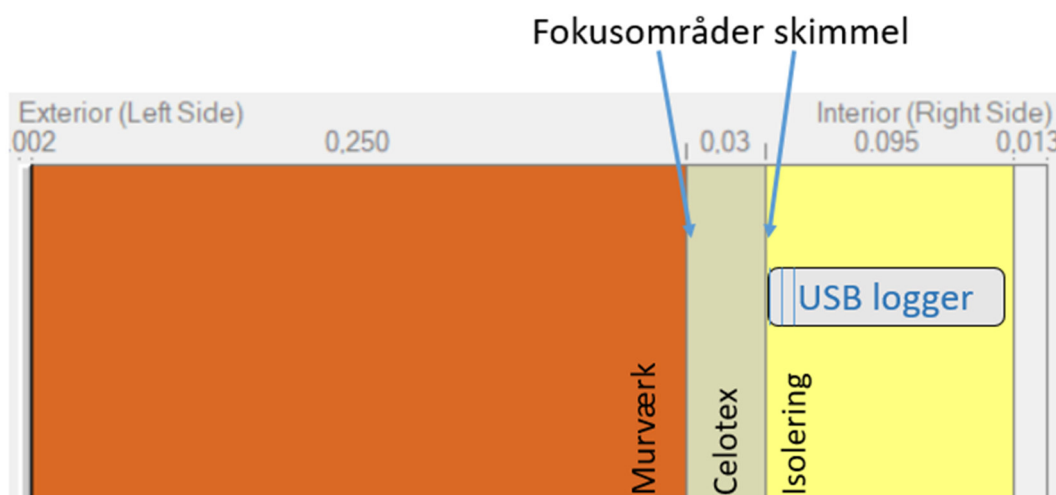
Figur 51 Opbygning af konstruktion i WUFI

Simulering

Der er valgt en simuleringsperiode på 3år, så konstruktionen kan nå at komme i balance. Startbetingelser er sat til default. 80% RF og 20°C, hvilket stemmer meget godt overens med loggermålinger fra konstruktionen. Orienteringen på konstruktionen er sat imod vest og der er anvendt Lund vejrdata. Den samlede simuleringsrapport findes på Bilag D WUFI

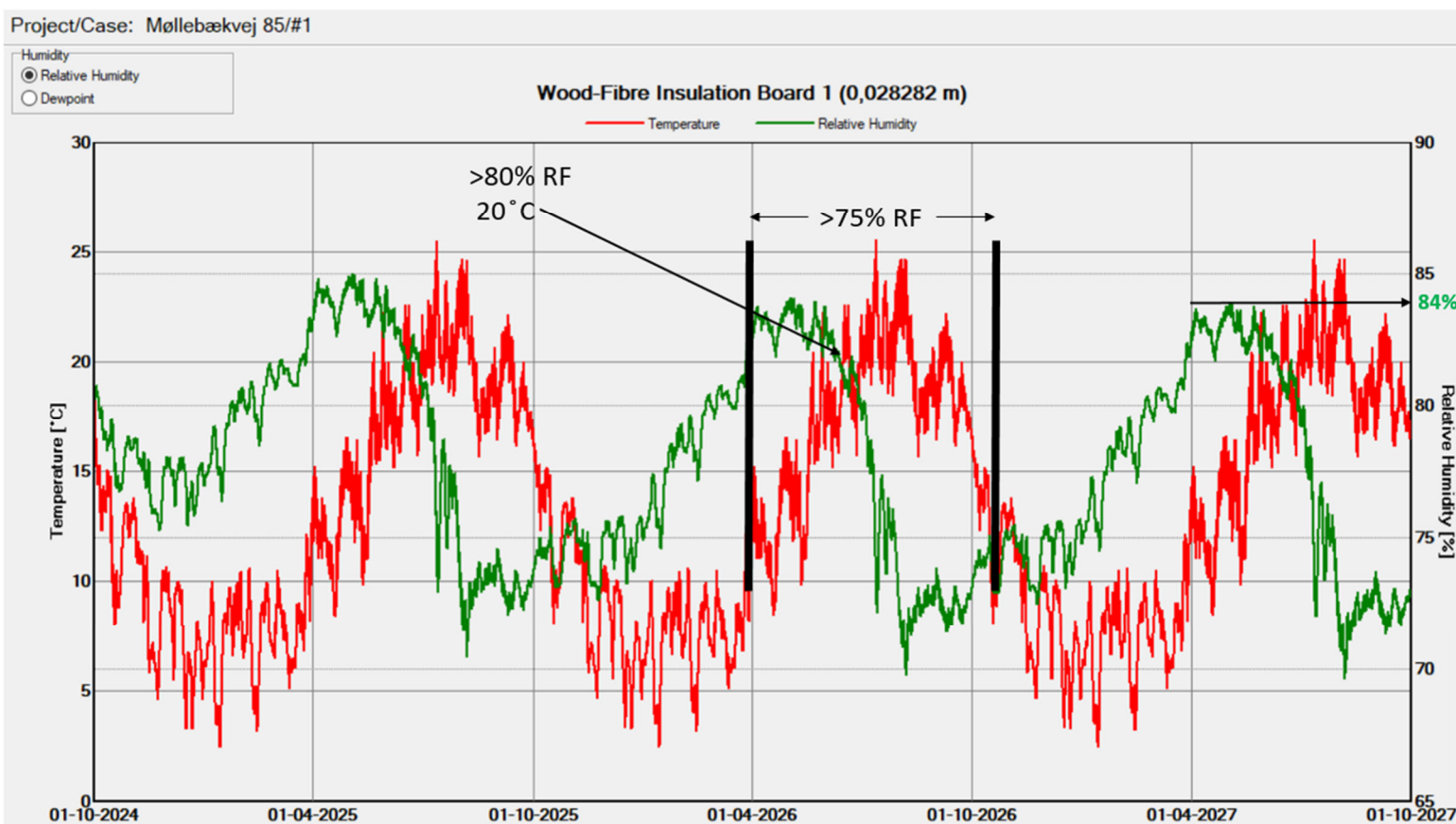
Fugt i Celotexplade

Ved måling i konstruktionen med USB-loggere, blev loggerne placeret i isoleringen op imod Celotexpladen. Nedenstående figur 52, viser placeringen af logger, samt de to områder, som vises i efterfølgende WUFI-simulering.



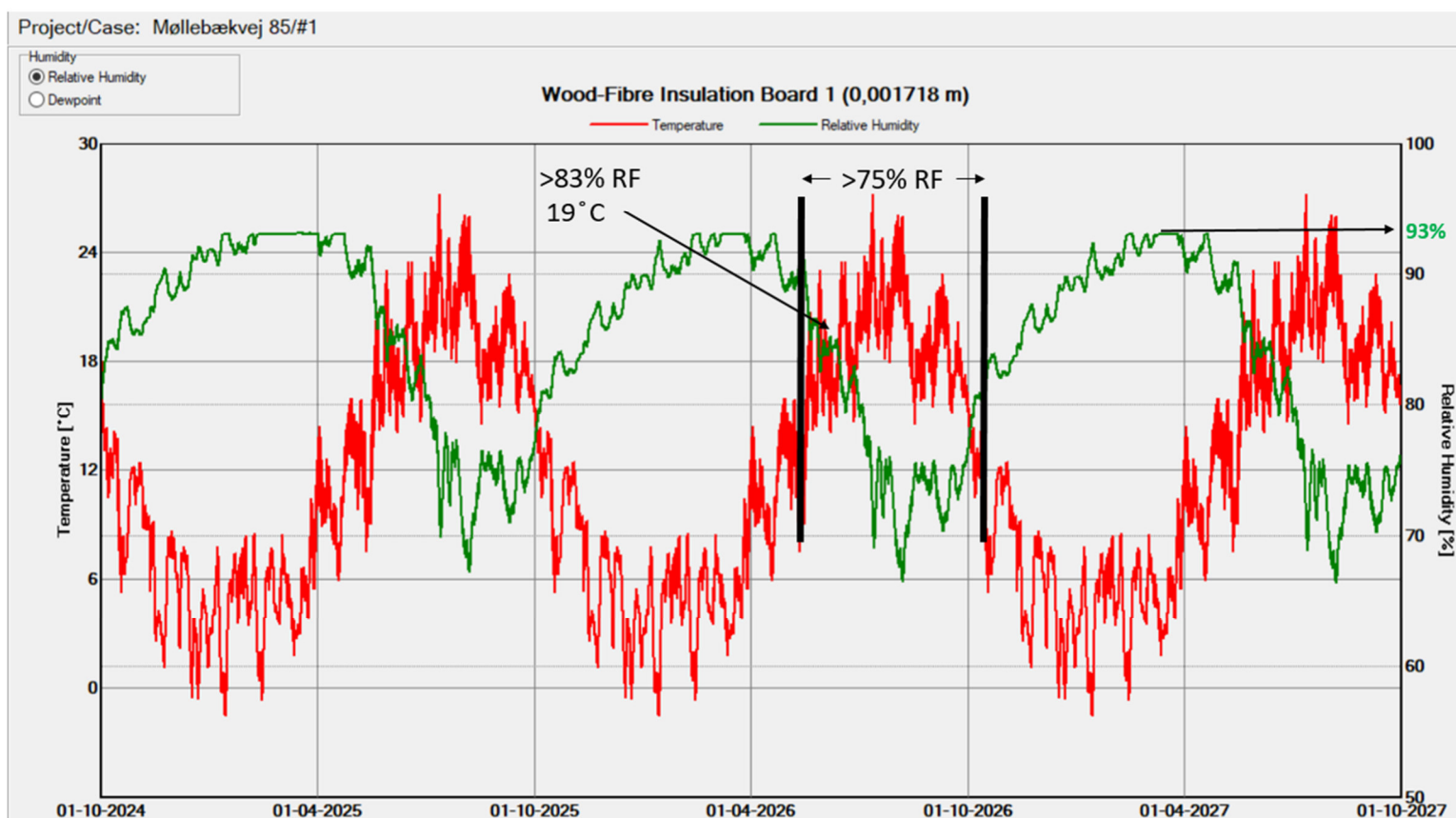
Figur 52 Placering af logger og områder for simulering

Figur 53, viser en simulering af Celotexlaget på indersiden, ind imod isoleringslaget. På kurverne ses relativ fugtighed og temperaturer over en periode på 3 år. Som det fremgår af grafen, er den relative fugtighed højest det første år, hvor konstruktionen finder sin balance, og er de efterfølgende to år stabil. Den maksimale relative fugtighed efter konstruktionen er stabil, ligger på ca. 84%, markeret på den grønne kurve til højre i diagrammet. Samtidig fremgår det, at der imellem de sorte markeringer i perioden fra ca. 01-04-2026 til 01-10-2026 er en relativ fugtighed som ligger næsten konstant over 75%. Der er i løbet af perioden varierende forhold som kan give anledning til skimmelvækst, hvor temperaturen på den røde kurve, kortvarigt ligger omkring 20°C med en relativ fugtighed over 80%.



Figur 53 Simulering af Celotexplade ind mod isolering.

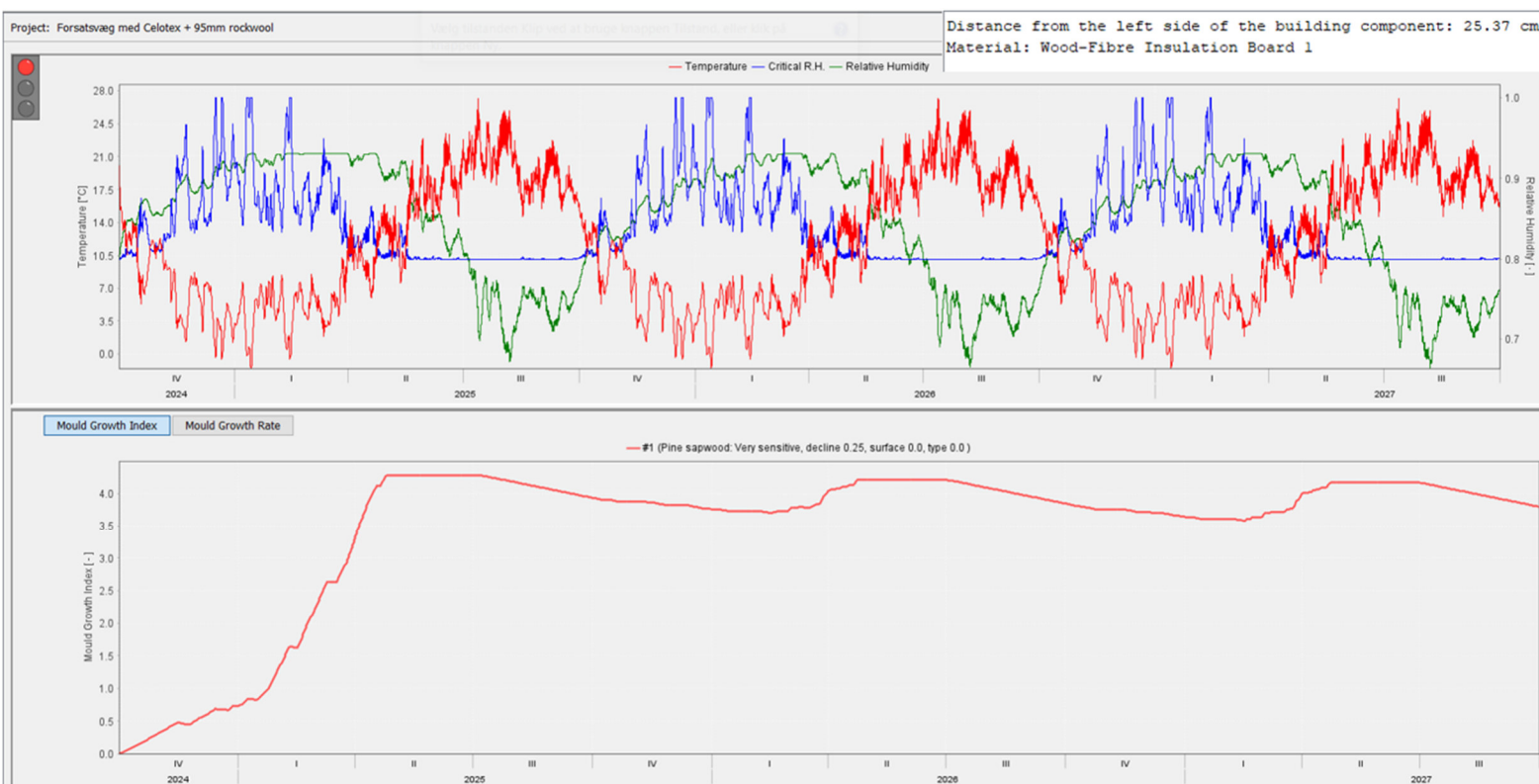
Figur 54, viser en simulering af Celotexlaget på ydersiden, ud imod murværket i facaden. På kurverne ses ligeledes relativ fugtighed og temperaturer over en periode på 3 år. Som på overstående graf, er konstruktionen stabiliseret efter første år. Den maksimale relative fugtighed ligger her på ca. 93%, markeret på den grønne kurve til højre i diagrammet. Samtidig fremgår det, at der imellem de sorte markeringer i perioden fra ca. 01-06-2026 til 01-10-2026 er en relativ fugtighed som ligger næsten konstant over 75%. Der er i løbet af perioden forhold, som giver anledning til skimmelvækst, hvor temperaturen på den røde kurve, ligger omkring 19°C med en relativ fugtighed over 83%.



Figur 54 Simulering af Celotexplade ud mod murværk.

WUFI VTT

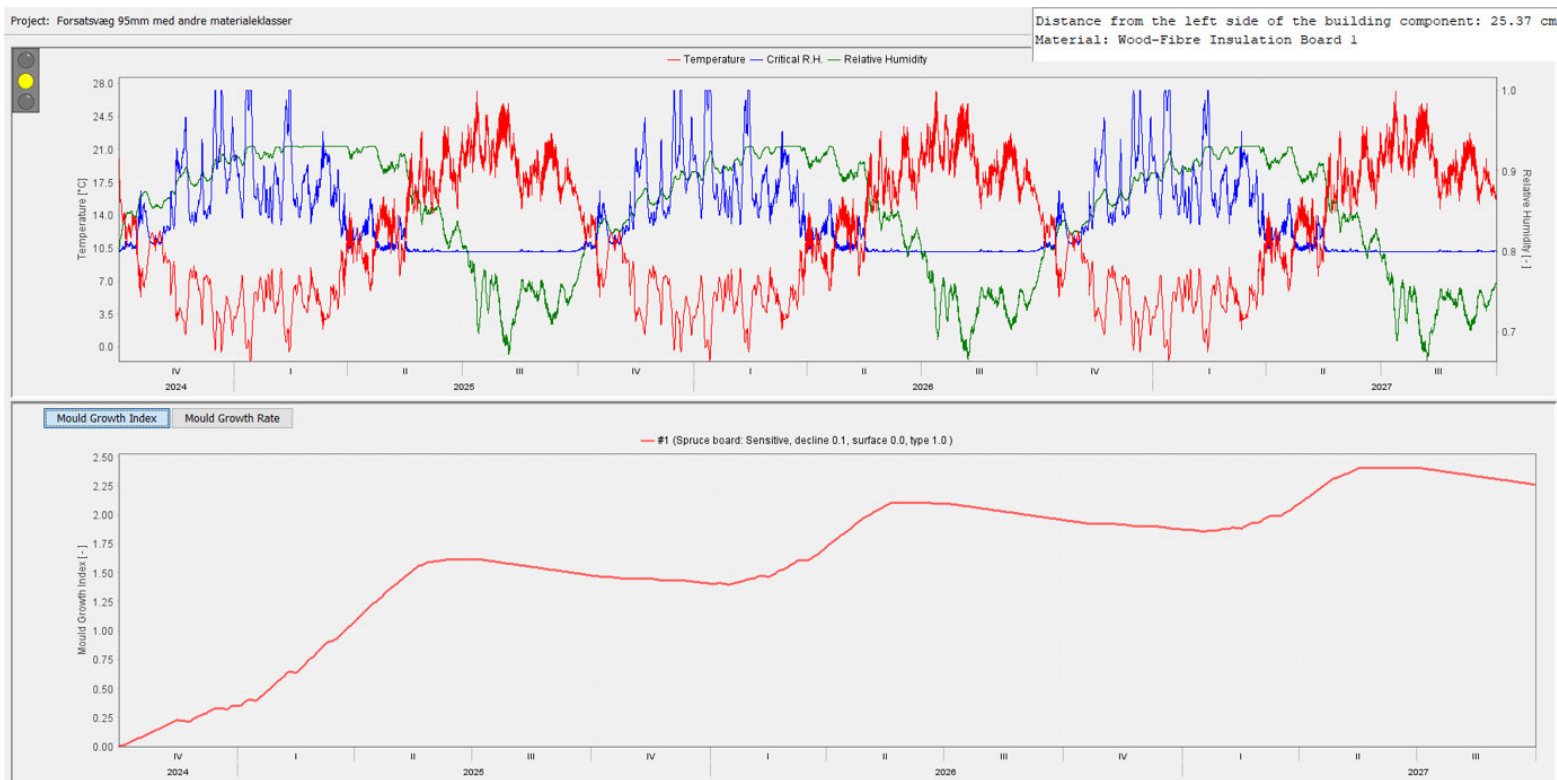
For VTT-modellen er der valgt “Wooden - sensitive fiber materials” og “Worst case building materials” samt Pine Sapwood under ASHRAE Standard, som er de mest følsomme materialer. Samtidig er der valgt, at indeluften ikke er i direkte forbindelse med Celotexlaget. Det er valgt for at være på den sikre side, med de værst tænkelige forhold i forsatsvæggen. De eksakte egenskaber for Celotexpladen er ukendte og det vil kræve nærmere undersøgelse at fastslå dette. Derfor må det forventes at modellen er værre end konstruktionen i realiteten er. Modellen fremgår af figur 55. Som det kan ses på modellen, ligger VTT indekset på ca. 4 som svarer til synlig skimmel på 10-50% af overfladen. Det betyder at hvis pladens overflade ud mod murstensvæggen kunne ses, ville pladen på denne side være dækket med skimmel på 10-50% af overfladen. Samtidig viser programmet rødt lys, som betyder at konstruktionen er uacceptabel i forhold til skimmelvækst.



Figur 55 Simulering i WUFI VTT

Resultat af skimmelanalyse

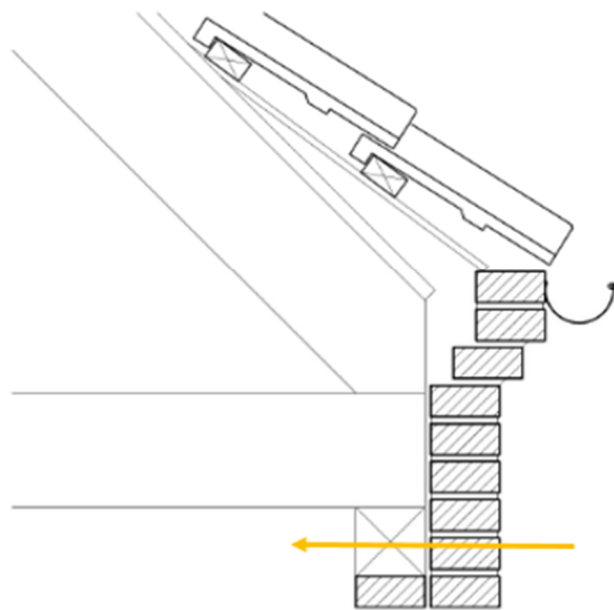
Grundet risiko for skimmelvækst i konstruktionen, er de udborede materialeprøver indleveret til skimmelanalyse. Analysen er lavet efter metoden med tapeaftryk og mikroskop og udført af lektor og skimmelekspert Birgitte Andersen fra AAU København. Analysen viser at der ikke er skimmelsvamp i prøverne, hverken på Celotexpladen eller tapetet på Celotexlaget ind mod forsatsvæggen. Resultatet er delt med Adjunkt, Nickolaj Feldt Jensen, som henviser til, at nogle Celotexplader i 60-70'erne blev behandlet med brandhæmmere, som f.eks. bor eller borsyre. Denne imprægnering kan forhindre skimmelvækst, og kan være en del af forklaringen på resultaterne. Se mail på skimmelprøve. Bilag E Mail. På baggrund henvisningen fra Nickolaj, er der lavet en ny VVT-vurdering figur 56, med et materialevalg, som er mindre skimmelfølsomt. Her er der i stedet valgt "risistant wooden/natural fiber materials" i tilfælde af, at Celotexpladen er imprægneret i brandhæmmer, "pure gypsum" og "spruce board". Som det kan ses på VTT simuleringen ligger indekset nu på 2,41 og er markeret gult, hvilket betyder at konstruktionen kan være acceptabel efter nærmere undersøgelse, som f.eks. den negative skimmeltest.



Figur 56 WUFI VTT med mindre skimmelfølsomme materialer.

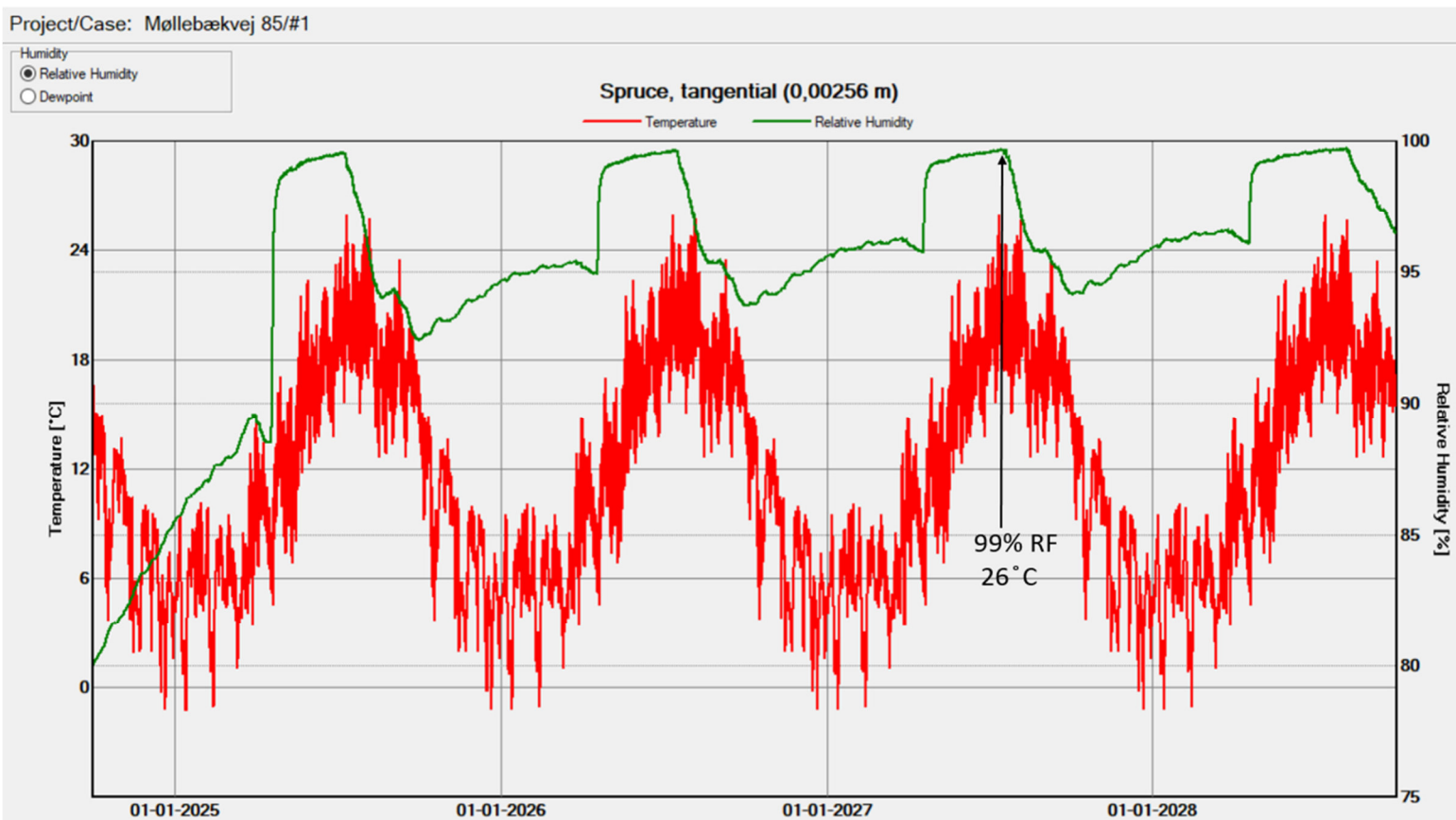
3.1.2 Scenarie 4

Remmens placering igennem konstruktionen, er en smule uens. Nogle steder har remmen afstand til murværket, men for hovedparten af konstruktionen ligger remmen ud imod murværket. Derfor laves der en WUFI-simulering for remmen mod murværk, hovedsageligt for at få en beregningen hen over året og syn for, hvad der sker i konstruktionen med henblik på fugt. Samtidig skal simuleringen også give et bud på, hvorfor der er en tydelig forskel på de to facader. En simulering af bjælkespæret vil kræve 2D eller 3D simulering, da spæret går hele vejen tværs gennem konstruktionen, med forskellige fugtforhold og temperaturer på nord- og sydside, samt på over- og underside af bjælken. Ved at lave snittet igennem remmen, kan konstruktionen simuleres i WUFI (1D). Udsnit af dette ses på figur 57



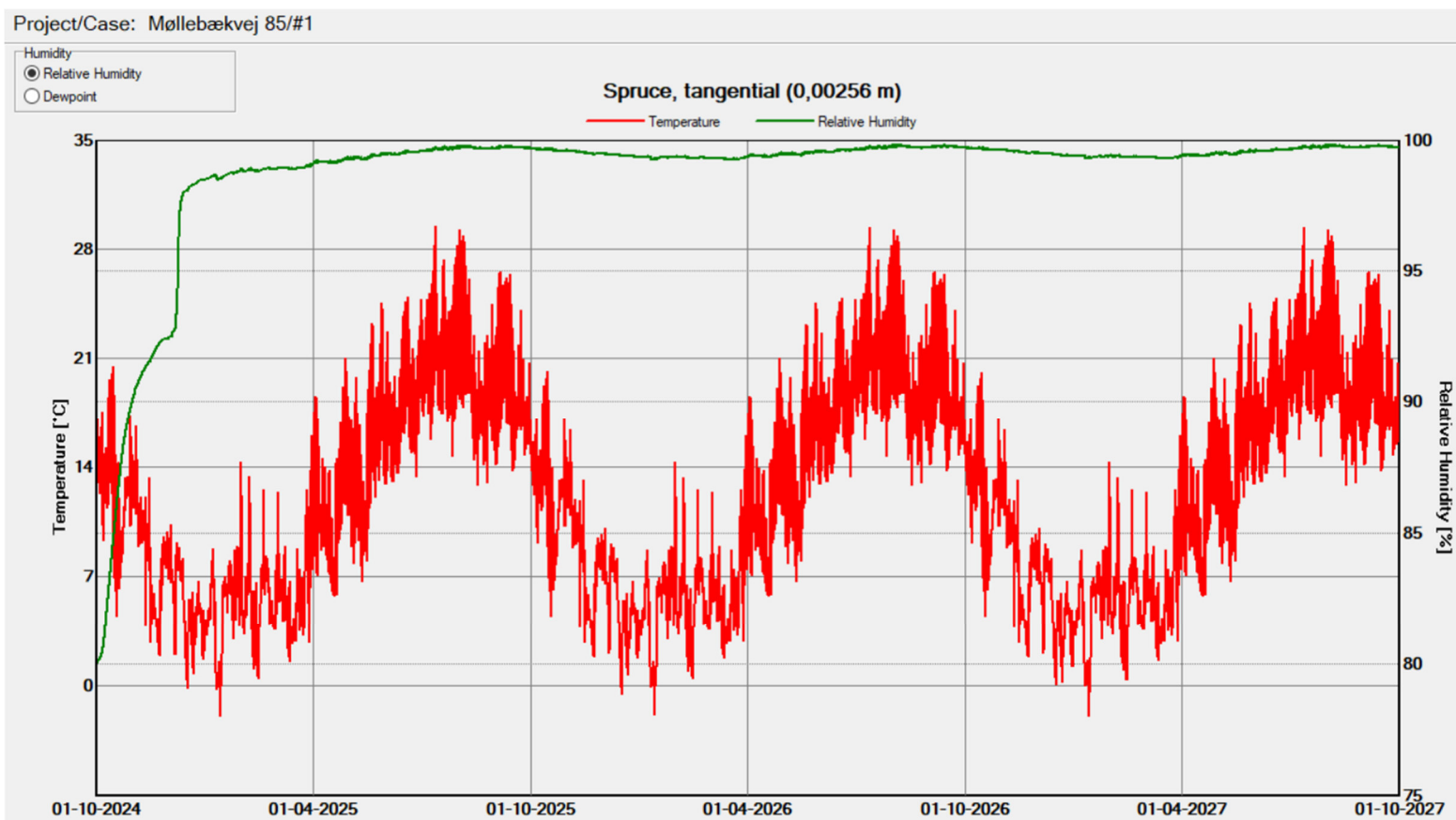
Figur 57 Illustration af simuleringssnit i WUFI

Simuleringen for den nordvendte rem fremgår af figur 58. På kurverne ses relativ fugtighed og temperaturer over en periode på 4 år. På den grønne kurve fremgår den relative fugtighed og temperatur i punktet mellem facaden og bjælkeremmen. Konstruktionen stabiliseres i løbet af de første 2 år af simuleringen og har lidt afvigelse ved udgangen af 2028, som kan skyldes beregningsfejl i programmet. Den maksimale relative fugtighed, ses omkring juni måned og ligger på 99% ved en temperatur på 26°C. Generelt ses niveauet for den relative fugtighed at bevæge sig imellem 93-99% RF.



Figur 58 Simulering i WUFI af bjælkerem nordvendt facade

Simuleringen for den sydvendte rem fremgår af figur 59. På kurverne ses relativ fugtighed og temperaturer over en periode på 3 år. På den grønne kurve fremgår den relative fugtighed og temperatur i punktet mellem facaden og bjælkeremmen. Konstruktionen stabiliseres efter første år og er stabil simuleringsperioden ud. Den maksimale relative fugtighed ligger meget tæt på 100% hele året rundt, med faldende tildens i vintermånederne ned omkring 99%.



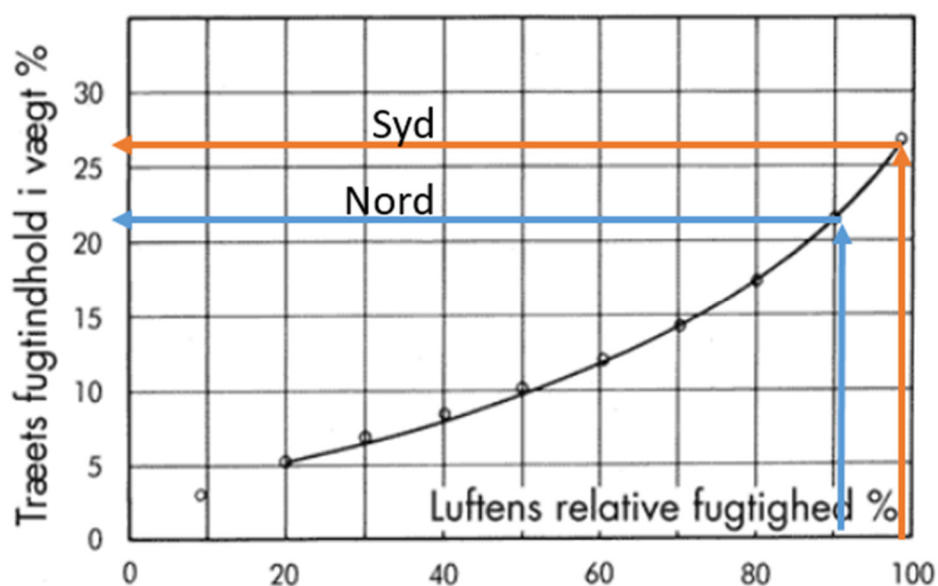
Figur 59 Simulering i WUFI af bjælkerem sydvendt facade.

Sammenlignes de to facader, er der væsentlig forskel i kurveforløbet for den relative fugtighed, hvor den nordvendte er varierende imellem sommer og vinter og den sydvendte over hele året er markant højere og konstant. Ses der nærmere på den relative fugtighed på måletidspunktet i januar, ses det at sydsiden ligger på ca. 99% RF og Nordsiden på ca. 95% RF. Opstilles disse værdier i et fugtdiagram for træ, figur 60, vil en relativ fugtighed på sydsiden svare til en vægtprocent på 26% og på nordsiden en vægtprocent på 22%. Sammenlignes beregningerne med de aktuelle indstiksmålinger, er målingerne lavere, men med samme tendens, at konstruktionen i sydsiden er udsat for højere fugtbelastning.

Gennemsnit af indstiksmålinger på sydside: 21,2%

Gennemsnit af indstiksmålinger på nordside: 14,7%

Gennemsnittet i målingerne giver en forskel på 6,5%, hvor forskellen i de teoretiske beregninger ligger på ca. 4%.



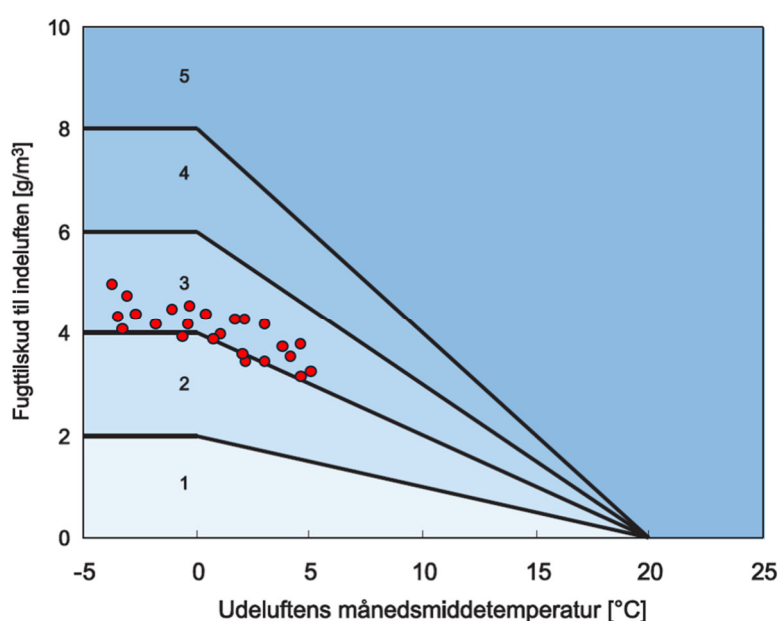
Figur 60 Forskel på træets fugtindhold i nord og syd.

3.1.3 Scenarie 5

Ud fra HEAT2 simuleringerne i del 1, så lysningerne i scenarie 5, ud til at være uden fugtproblemer. Imidlertid blev der under bygningsregistreringen i del 2, registreret mørke plamager i overfladen af vindues- og dørlysningen, som sidder i forlængelse af en forsatsvæg på den nordlige facade, hvorfor scenarie 5 bliver nærmere undersøgt med målte data. Den målte data giver ved udregning af fugtbelastningen i dette rum en ny indplacering i fugtbelastningsklasse 3. Der er lavet 24 gennemsnitsberegninger af fugtbelastningsklassen i måleperioden, som ses nedenfor i figur 62. 17 ud af 24 markeringer, er placeret i fugtbelastningsklasse 3 og de sidste grænser til samme. Eksempel på beregning af fugttilskud ses i figur 61 nedenfor.

Ude klima					
temp	rf	pv_mæt	pv	v [kg/m ³]	v [g/m ³]
-3,7	83,3	464,4035	386,8482	0,003112	3,11
inde klima					
temp	rf	pv_mæt	pv	v [kg/m ³]	v [g/m ³]
17,5	51	1998,867	1019,422	0,007602	7,60
				temp	Forskel
				-3,7	4,49

Figur 61 Beregningseksempel til placering af fugtbelastningsklasse.



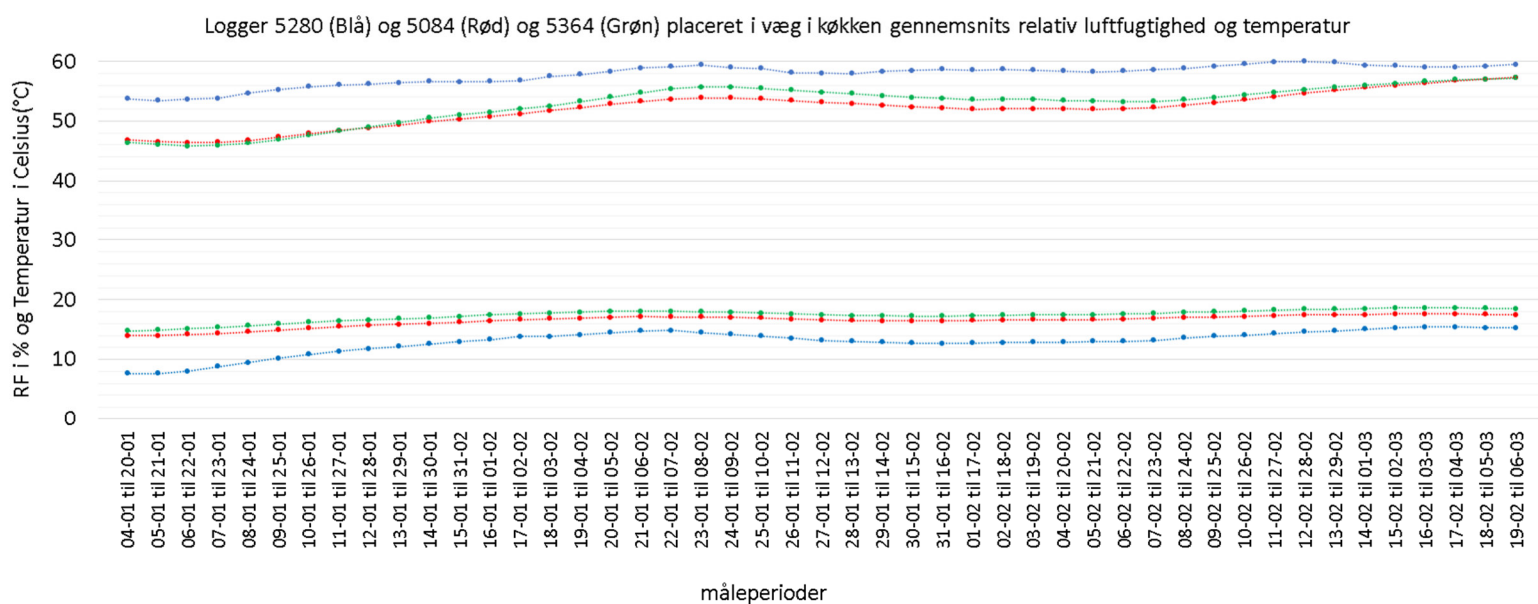
Figur 62 Placering af beregningspunkter i fugtbelastningsklassediagram

Den højere fugtbelastningsklasse er relevant at anvende i de fortsatte undersøgelser, herunder nye simuleringer. Scenarie 5 gennemgår derfor følgende:

- Vurdering af skimmelrisiko inde i forsatsvæg ud fra USB loggerdata
- HEAT2 beregning på faktisk konstruktion med målte temperaturer og ny fugtbelastning. - vurdering af skimmelrisiko på indvendige overflader
- WUFI-simulering af konstruktionen over en periode på 3 år
- WUFI VTT Model for vurdering af skimmelrisiko
- Svar på skimmelanalyse

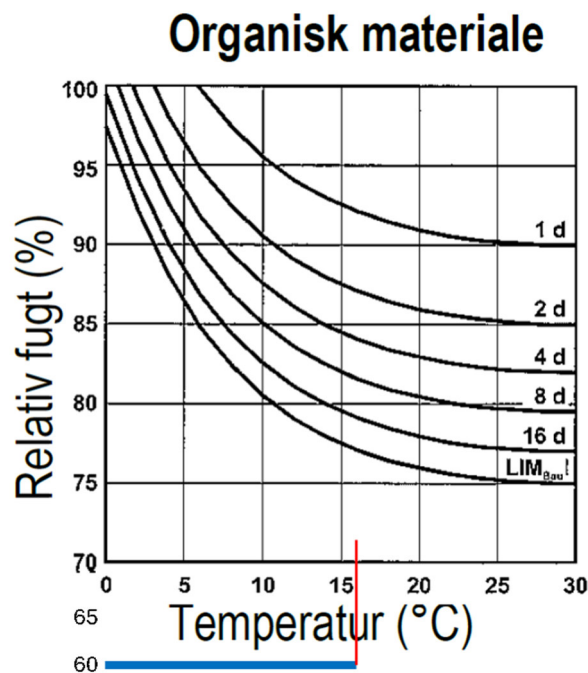
USB loggerdata – Vurdering af skimmelrisiko

Loggerdata på logger SBI nr. 5084, 5280 og 5364 er alle placeret i forsatsvæg i køkken. SBI nr. 5084 er placeret midt i forsatsvæg, SBI nr. 5280 er placeret i lysning, hvor dør møder vindue, og SBI nr. 5364, er placeret i vindueslysning ved køkkenbord. Som det ses i nedenstående figur 63, er der ingen af logningerne der kommer over 60% RF, og den logger der ligger i lysningen ved døren, har den højeste relative fugtighed men også kun en maksimal temperatur i samme periode på 16°C. Det kan ses, at det relative fugtniveau inde i konstruktionen over måleperioden, ikke giver anledning til skimmelsvamp.



Figur 63 Diagram over loggere SBI nr. 5280 (Blå) 5084 (Rød) 5384 (Grøn) placeret i forsatsvæg i køkken og deres gennemsnitlige relative luftfugtighed og temperaturer målt i 16 dages perioder.

Indtegnes logger SBI nr. 5280 med den højeste relative fugtighed, på skimmeldiagrammet figur 64, giver det et punkt, der ligger et godt stykke fra LIM kurven, hvorfor det vurderes, at der ikke er risiko for skimmelsvamp inde i konstruktionen.

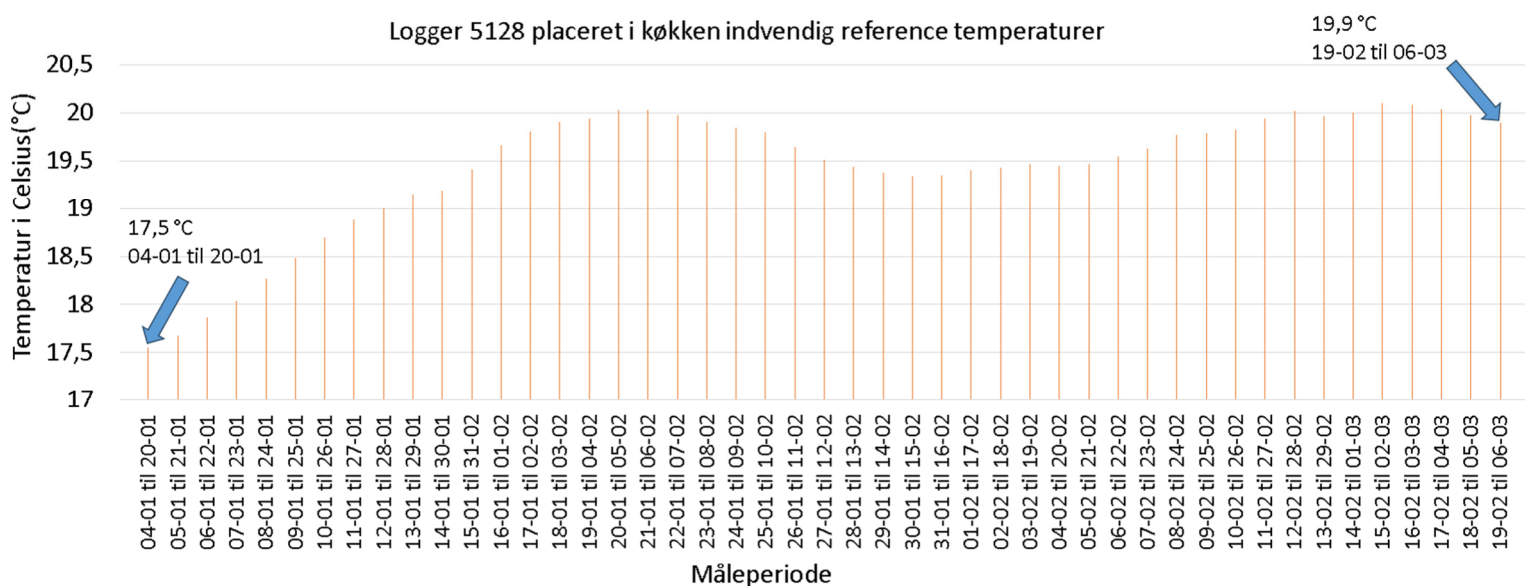


Figur 64 Diagram over skimmelvækstforhold fra logger SBI nr. 5280 (Blå)

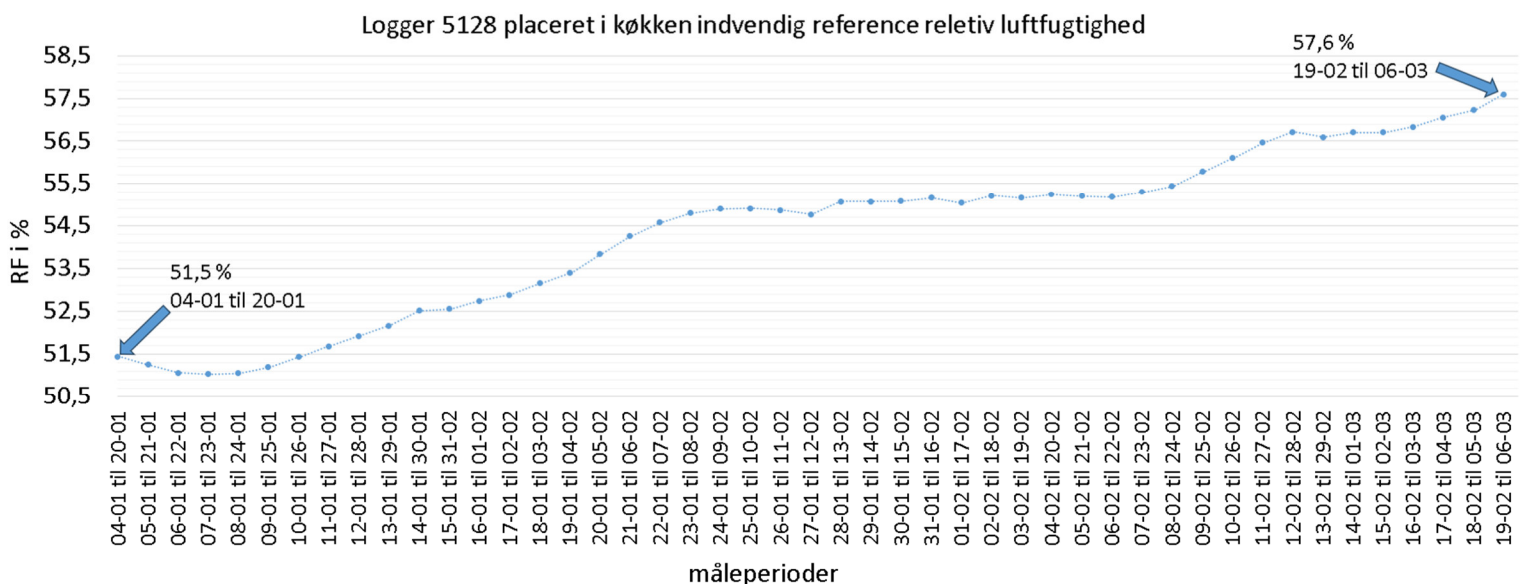
HEAT2 Simulering

Da lysninger og forsatsvæg i køkkenet adskiller sig fra resten af stuehuset, laves der en ny HEAT2 simulering, hvor den aktuelle konstruktion og målte temperaturer og fugt anvendes. Dette for at finde svar på, om den øgede fugtbelastning, kan være skyld i fremtrædende skjolder og plamager i lysningen og om der opstår fugtforhold på overflader, som giver anledning til skimmelvækst.

Figur 65 og 66, er henholdsvis temperatur og fugtmålinger fra den indvendige logger SBI nr. 5128 placeret i køkkenet. Målingerne er inddelt i gennemsnitsperioder på 16 dage, der simuleres på den koldeste målte udetemperatur og den indvendige højest målte relative luftfugtighed for at se, hvad der er mest fugt kritisk for den indvendige overflade.



Figur 65 Diagram over logger SBI nr. 5128 placeret i køkken som reference gennemsnittemperaturer målt i 16 dages perioder.



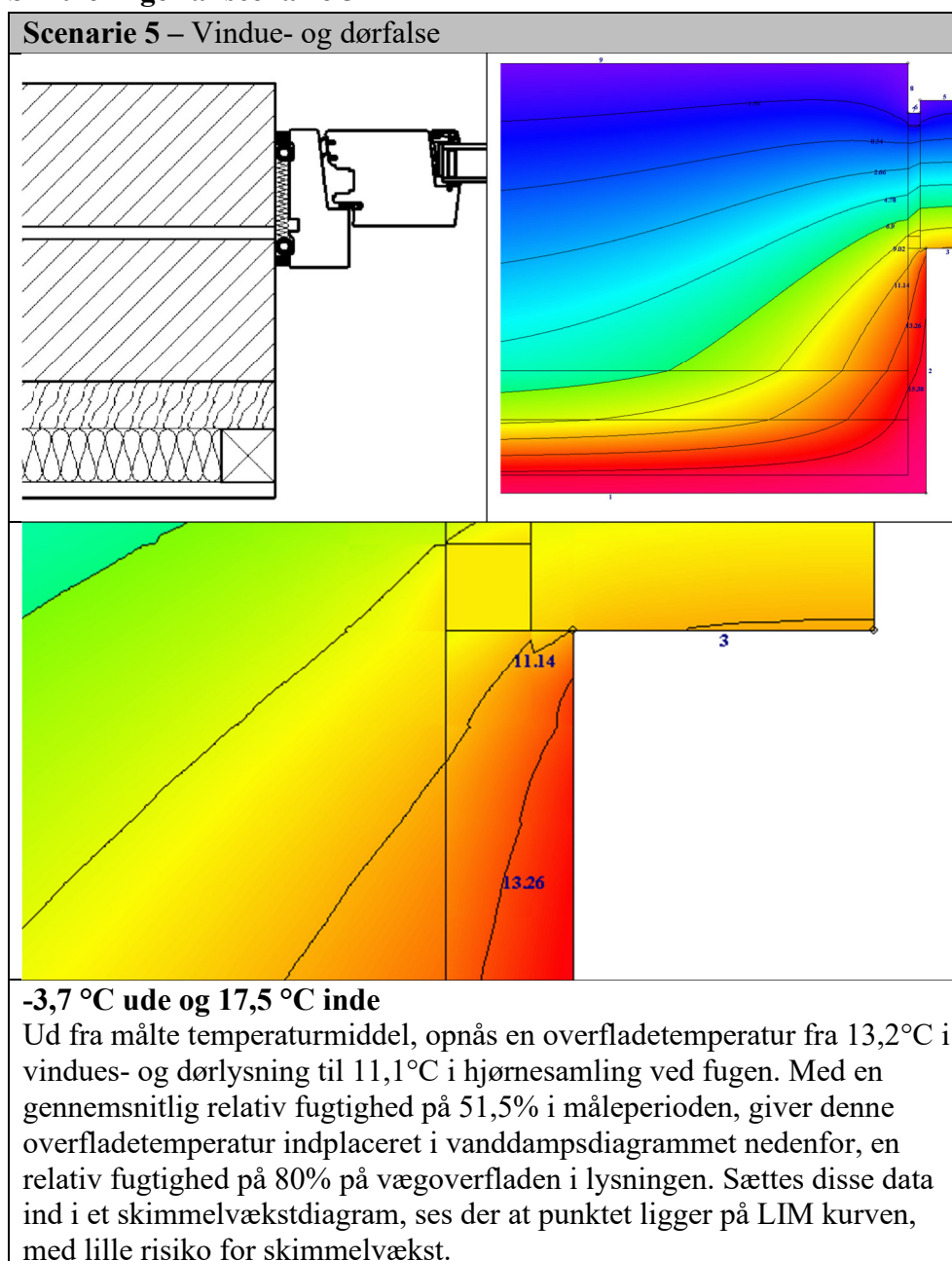
Figur 66 Diagram over logger SBI nr. 5128 placeret i køkken som reference gennemsnits relative luftfugtighed målt i 16 dages perioder.

I nedenstående tabel 9 ses opsummering af de målte data fra loggere som relaterer sig til scenarie 5.

Periode for måledata	Simulering 1 (04/01-20/1)	Simulering 2 (19/2- 06/3)
Udetemperatur figur 48	-3,7 °C	5 °C
Indetemperatur figur 65	17,5 °C	19,5 °C
RF, figur 66	51,5 %	57,6 %

Tabel 9 Aflæste værdier fra ovenstående diagrammer for temperaturer og relative fugtigheder.

Simuleringer af scenarie 5 i HEAT2

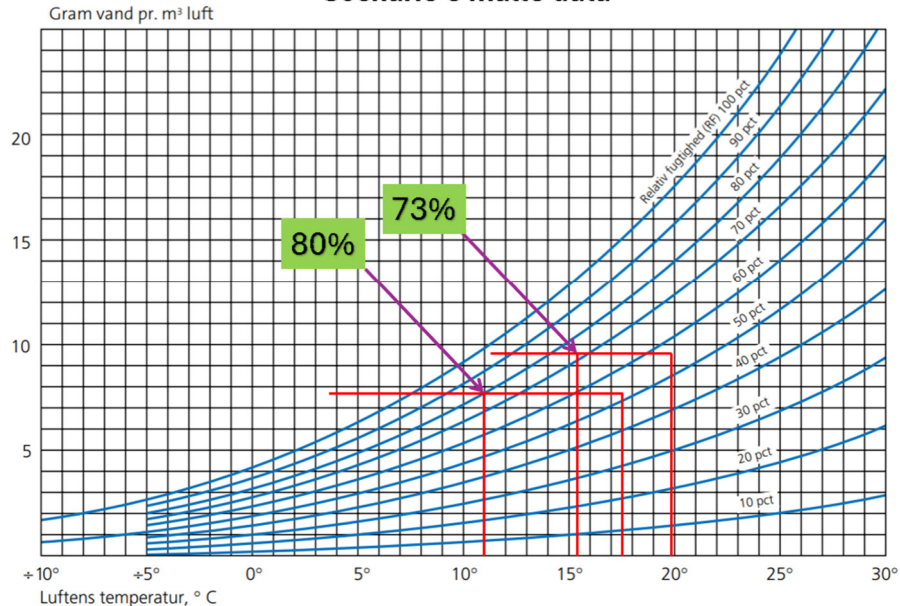


5 °C ude og 19,9 °C inde

Ud fra målte temperaturmiddel, opnås en overfladetemperatur fra 16,8°C i vindues- og dørlysning til 15,3°C i hjørnesamling ved fugen. Med en fugtbelastning på 57,6% i måleperioden, giver denne overfladetemperatur indplaceret i vanddampsdiagrammet nedenfor, en relativ fugtighed på 73% på vægoverfladen i lysningen. Dette ligger også under grænsen på 75%, hvorfor der ikke er risiko for skimmelvækst.

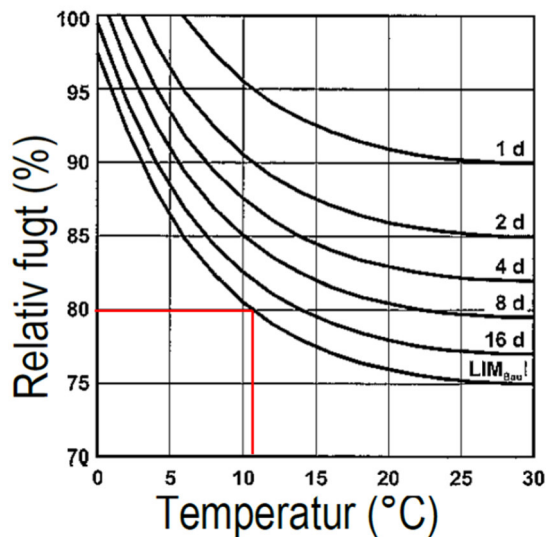
Vanddampdiagram

Scenarie 5 målte data



Scenarie 5 målte data

Organisk materiale



WUFI Pro simulering.

Målingerne fra USB-loggerne i konstruktionen har i måleperioden ikke vist forhold, som umiddelbart giver anledning til skimmelvækst inde i konstruktionen. Alligevel simuleres konstruktionen, da forsatsvæggen ikke er udført fugtteknisk korrekt og der er gjort fund af tapet i de udborede materialeprøver. Samtidig er målingerne med USB logger i konstruktionen, grundet projektføreløbet, udført i en tidsbegrænset periode fra 01/04 -19/2-2024. En WUFI-simulering vil give mulighed for at se ind i hele konstruktionen og udvælge laget med Troldekt, som indeholder organiske materialer, hvilket kan give næring til skimmelvækst.

Konstruktionsopbygning

Konstruktionen er bygget op efter de tilgængelige materialer i programmet, som fremgår på figur 67. Da murværket på facaderne er vandskuret, er der valgt en 2mm mineralsk finish, hvor der i programmet er valgt en silikatmaling, som overfladebehandling. Herefter er der valgt 25cm massivt murværk, en træfiberbetonplade på 40mm, samt 45mm isolering og en 13mm gipsplade.

No.	Material Layer	Thickn. [m]	Water Content [kg/m³]
1	Mineral Finishing Coat	0.002	8.9
2	Brick H	0.250	1.0
3	Siniat Purebel Solo	0.04	73.5
4	ISOVER GW Integra ZKF - 035	0.045	0.7
5	Gypsum Board	0.013	7.41

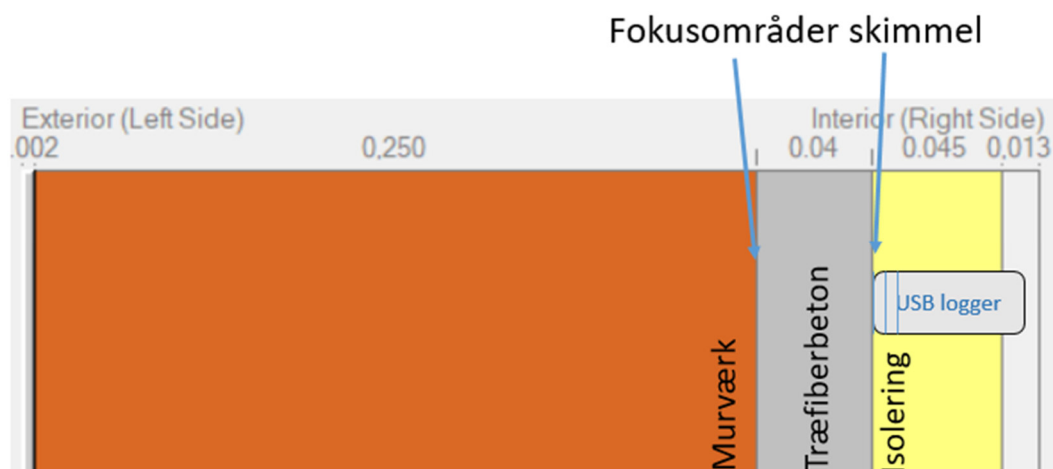
Figur 67 Opbygning af konstruktion i WUFI

Simulering

Der er valgt en simuleringsperiode på 3år, så konstruktionen kan nå at komme i balance. Startbetingelser er sat til default. 80% RF og 20°C. Orienteringen på konstruktionen er sat imod nord og der er anvendt Lund vejrdato. Den samlede simuleringsrapport findes i Bilag D WUFI

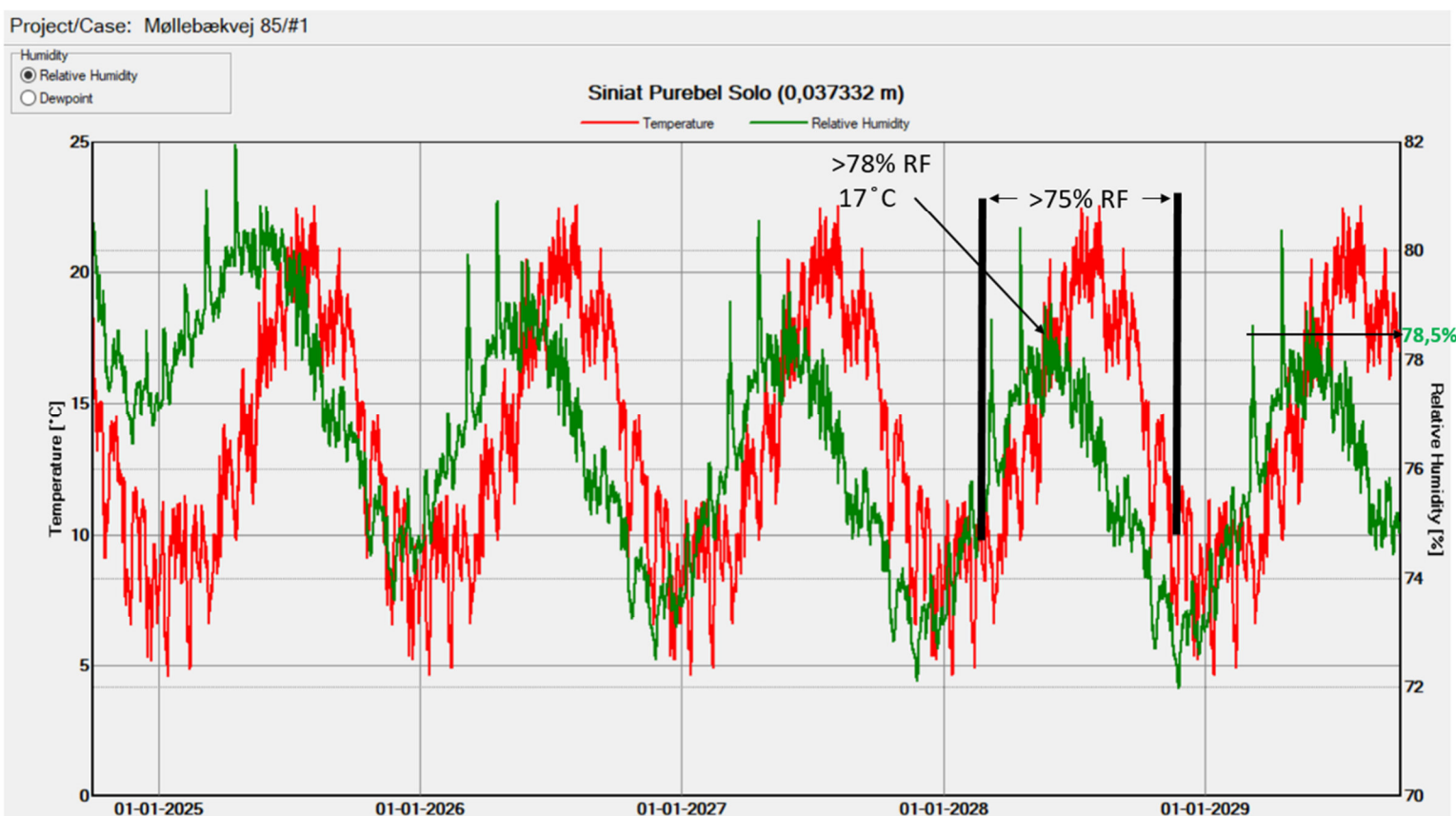
Fugt i træfiberbetonplade

Ved måling i konstruktionen med USB-loggere, blev loggerne placeret i isoleringen op imod træfiberbetonpladen. figur 68, viser placeringen af logger, samt de to områder, som efterfølgende vises i WUFI simuleringen



Figur 68 Placering af logger og områder for simulering

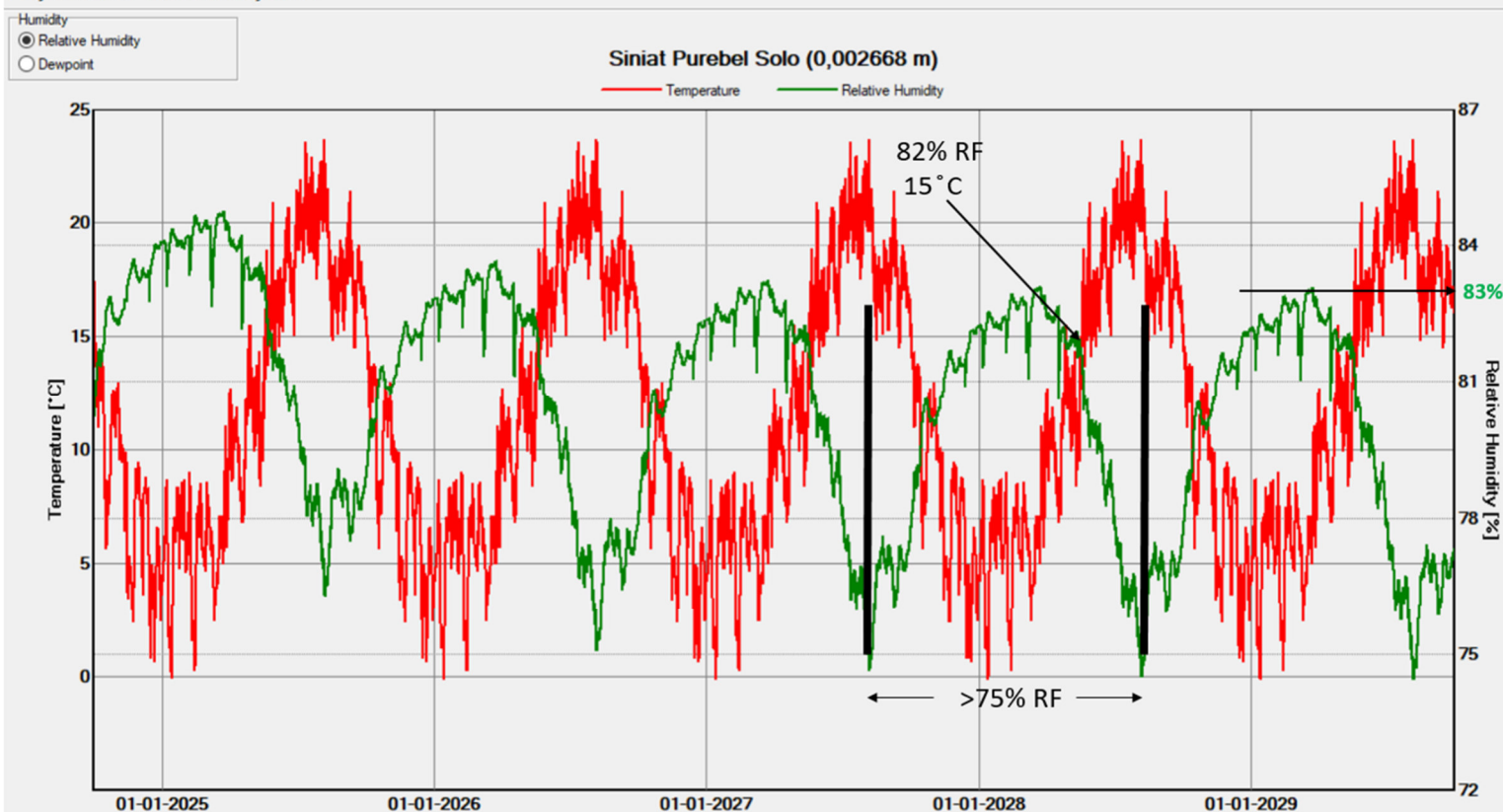
Figur 69, viser en simulering af træfiberbetonlaget på indersiden, ind imod isoleringslaget. På kurverne ses relativ fugtighed og temperaturer over en periode på 5 år. Normalt simuleres over 3 år, men da konstruktionen ikke stabiliseres efter første år, er den forlænget, og først i 4 år, er den tilnærmelsesvis stabil. Den maksimale relative fugtighed har enkelte udsving omkring 80% RF, men ligger mere konsekvent og toppe ved ca. 78,5% RF, markeret på den grønne kurve til højre i diagrammet. Samtidig fremgår det, at der imellem de sorte markeringer i perioden fra ca. 01-04-2028 til 01-10-2028 er en relativ fugtighed som ligger over 75% RF. Der er i løbet af perioden forhold der kan give skimmelvækst, hvor temperaturen på den røde kurve, ligger omkring 17°C med en relativ fugtighed over 78%.



Figur 69 Simulering af træfiberbetonplade ind mod isolering.

Figur 70, viser en simulering af træfiberbetonlaget på ydersiden, ud imod murværket i facaden. Som på overstående graf, er konstruktionen først stabil på 4. år. Den maksimale relative fugtighed ligger her på ca. 83%, markeret på den grønne kurve til højre i diagrammet. Samtidig fremgår det, at der hele året er en relativ fugtighed over 75%. Der er i løbet af perioden forhold der kan give anledning til skimmelvækst, hvor temperaturen på den røde kurve, ligger omkring 15°C med en relativ fugtighed på 82%.

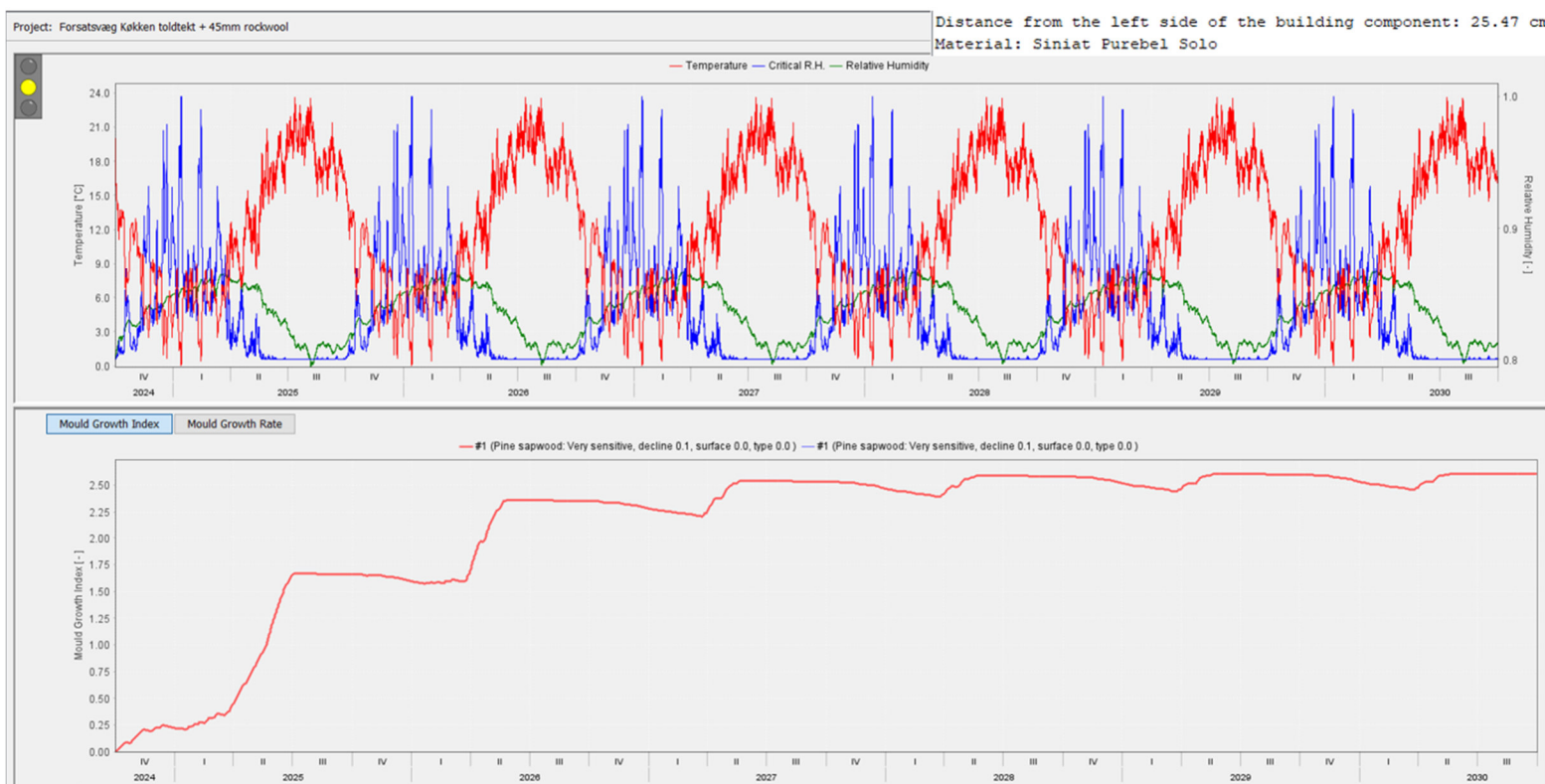
Project/Case: Møllebækvej 85/#1



Figur 70 Simulering af træfiberbetonplade ud mod murværk.

WUFI VTT

For VTT-modellen er der også i dette scenarie valgt “Wooden - sensitive fiber materials” og “Worst case building materials” samt Pine Sapwood under ASHRAE Standard, som er de mest følsomme materialer. Der kan argumenteres for at troldektpladen er mere robust og modstandsdygtig overfor fugt og skimmel, dog er der stadig tale om en træfiberplade, hvor der samtidig i konstruktionen er træreglar, tapet og gips med papir. Så valget er gjort for at være på den sikre side, med de værst tænkelige forhold i forsatsvæggen. Modellen kan derfor vise værre forhold end konstruktionen i realiteten kan vise sig at have. Modellen fremgår af figur 71. Som det kan ses på modellen, ligger VTT indekset på ca. 2,5 som svarer til flere pletvise kolonier af synlig skimmel. Hvis troldektpladens overflade ud mod murstensvæggen kunne ses, ville pladen på denne side have enkelte skimmelpletter. Samtidig viser programmet gult lys, som betyder at konstruktionen kan være acceptabel, men kræver nærmere undersøgelse i forhold til skimmelvækst.



Figur 71 Simulering i WUFI VTT

Resultat af skimmelanalyse

Grundet risiko for skimmelvækst i konstruktionen, er de udborede materialeprøver indleveret til skimmelanalyse. Analysen er lavet efter metoden med tapeaftryk og mikroskop og udført af Lektor og skimmelekspert Birgitte Andersen fra AAU København. Analysen viser at der ikke er skimmelsvamp i prøverne, hverken på troldektpladen eller på tapetet på troldektoverfladen ind mod forsatsvæggen. Resultatet kan begrundes i den forsigtighed der er udvist ved valg af materialer i VTT-simuleringen. Bilag E Mail

3.2 Delkonklusion scenarier

Scenarie 1

Den nærmere undersøgelse af Scenarie 1, med indvendig efterisolering på værelse 7 mod vest, viste at forsatsvæggen ikke er udført korrekt. Forsatsvæggen er udført uden dampspærre og der er fundet celotex og flere lag tapet på den oprindelige indvendige overflade. WUFI-beregningen viser samtidig fugtforhold i perioder, som kan give anledning til skimmelvækst i konstruktionen. Da konstruktionen indeholder biogene byggematerialer som tapet og celotexplade, og både målinger, samt simuleringer viser problematiske fugtforhold, er der lavet en VTT-simulering. Simuleringen viste VTT indeks 4 og dermed problemer med konstruktionen samt rødt lys, som indikerer at konstruktionen er uacceptabel. Dette scenarie er forsat mærkeret med rødt. Skimmelanalysen kunne ikke påvise skimmel på de indsendte materialeprøver, det kan forklares ved at der i konstruktionen er anvendt materialer med f.eks. brandhæmmer. Der er i VTT simuleringerne samtidig valgt "worst case" forhold som kan forvrænge det sande billede. Dog er det indvendige efterisoleringer og konstruktioner som disse, der berettiger forsigtighed og skærpet opmærksomhed. Der skal udarbejdes et forslag til bygherre omkring forbedring af konstruktionen.

Scenarie 4

WUFI-simuleringerne viste en tydelig forskel på syd- og nordsidens fugtbelastning af bjælkeremmen, hvor sydsiden har et mere konstant og højere fugtniveau og nordsiden mere varierende og lavere relativ fugtighed. Dog ligger resultaterne i simuleringen højere end de målte fugtniveauer, samtidig var der større procentmæssig forskel i fugtniveauerne fra syd til nordsiden på indstiksmålingerne kontra simulering. Forskellen kan have flere årsager, her kan nævnes at indstiksmåleren måler fugtigheden i overfladen på remmen, hvor WUFI simulerer træfugten inde i remmen. Samtidig er der nogle steder på nord siden, hvor der er lidt afstand imellem

rem og murværk, hvor der på det meste af sydsiden er kontakt med mørtel. Uanset forskellen mellem beregningerne og målinger peger begge resultaterne på, at den sydvendte rem er højest fugtbelastet. Samtidig er bjælkeremmen og spærrender i sydsiden ramt af råd, især remmen er hårdt ramt. Forskellen skyldes formegentlig en høj udvendig fugtpåvirkning, hvor slagregn rammer facaden og hvor fugt fra udvendig side i murværket trænger ind i konstruktionen. Det kan ske både med vindtryk igennem revnerne over overliggere og når solen står på murværket og skaber højere damptryk udvendig side. Scenariet er fortsat rødt og der skal udarbejdes et forbedringsforslag til konstruktionen, inden bygherre påbegynder udskiftning af rem.

Scenarie 5

Den nærmere undersøgelse af scenarie 5, med indvendig efterisolering i køkkenet mod nord, viste at opbygningen af forsatsvæggen også her er uden dampspærre. Der blev også i denne væg fundet tapet og træfiberbeton, som begge er biogene materialer og kan give næring til skimmelsvamp. Fugtbelastningen i køkkenet viste sig at være i fugtbelastningsklasse 3, som kan skyldes øget fugt fra opvaskemaskine, madlavning i kombination med for lidt udluftning i vinterperioden. Fugtforholdene i denne væg, er i WUFI simuleringen flere steder over grænsen for skimmelvækst. VTT-Simuleringen viser 2,5 på VTT indekset, hvilket kræver yderligere undersøgelse for at fastslå om konstruktionen er acceptabel. Derfor er der indleveret materialeprøver til skimmelanalyse, som viste sig ikke at indeholde skimmel, hverken på bagside af trodtektplade eller på forsiden af pladen med tapet. Scenariet er markeres gult og vil indgå i forbedringsforslag til bygherre.

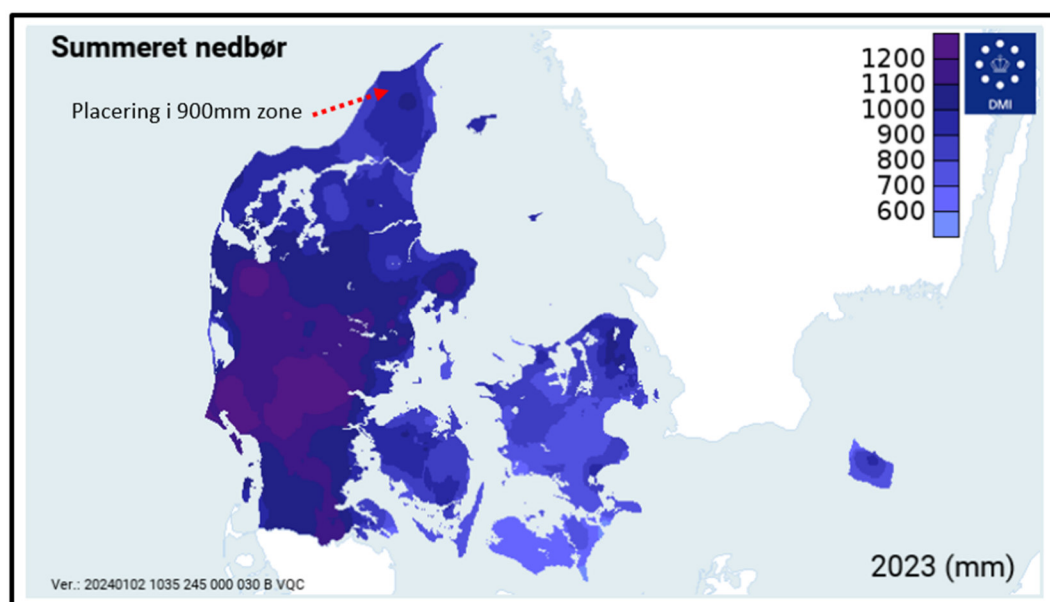
	DEL 2	DEL 3	DEL 3	DEL 3
Scenarie	Besigtigelse og nærmere undersøgelse	HEAT2 - Temp og RF fra USB-logger. - 3,7/18°C	WUFI simulering	VTT og skimmel-analyse
Scenarie 1 – FacadehjørneTillægges forsatsvæg	Forsatsvæg fundet på værelse 7. USB - logger placeret i konstruktionen. Ingen tegn på skimmel Max 82% RF 10°C (USB)	På den indvendige overflade: Hjørne min=14°C Max=64% RF	Enkelte kortvarige perioder med 93% RF. Længere perioder med ca.80% RF og temperaturer omkring 20°C	VTT indeks viser 4 og rødt lys. Skimmel-analysen viser ingen skimmel i prøverne
Scenarie 4 - Bjælkerem, sydvendt og nordvendt facade	Råd fundet, hvor remmen flere steder er delvist væk på den sydvendte facade	NA	Længere perioder med 95-99% RH og temperaturer op til 28°C	Synligt råd og opfugtning.
Scenarie 5 – Vindue- og dørfalse Tillægges forsatsvæg	Forsatsvæg i køkken. USB - logger placeret i konstruktionen. Mørke skjolder på lysning	På den indvendige overflade: Hjørne min=11,1 °C Max=80% RF	Op til 82% RF og temperaturer op omkring 15°C. Over 75% RF året igennem (Fugt bel. Kl. 3)	VTT indeks viser 2,5 og gult lys. Skimmel-analysen viser ingen skimmel i prøverne

Tabel 10 Oversigt med status på scenarier

3.3 Klimamæssige fokusområder

For at sikre ejendommens værdi og fremtidig investering i renovering og energioptimering, undersøges de klimamæssige forhold ejendommen er placeret i. Der gøres rede for bygningens afledningsforhold, når der kommer vand fra oven, herunder en undersøgelse af, om tagrender og afløbssystem er dimensioneret til at kunne aflede vandmængder fra 3 gange skybrud. Samtidig gøres der rede for vand fra siden og vand fra neden ved forhøjet grundvandsspejl.

Ses der på ejendommens geografiske placering, er den opført i Hjørring. I forhold til DMI nedbørskort fra 2023, ligger ejendommen i 900mm zonen, som vist på figur 72. 900mm er under årsgennemsnittet for 2023 som er på 972mm, men væsentlig over normalen, som ligger på der 759,1mm nedbør. Samlet viser årsgennemsnittet for 2023 en stigning i nedbørsmængden på 28% i forhold til normalen på 759,1 millimeter for 1991-2020. Kilde DMI.dk



Figur 72 Summeret nedbør i Danmark

Vand fra oven

Ved registrering af ejendommen blev dimensioner på tagrender og afløbsforhold målt op, disse registreringer er brugt som grundlag for følgende vurdering. Der er samtidig registreret 4 nedløb, et i hvert hjørne af stuehuset, samt 2 sandfangsbrønde og et samlet tagareal på 222 m². I nedenstående tabel 11 fremgår den minimale dimensionering af afløbsforhold iht. SBI anvisning 255 afløbsinstallationer systemer og dimensionering. Alle udregninger i nedenstående tabel er udregnet iht (Brandt, E 2015) og udregninger kan ses i Bilag C Excel

Regnintensitet	0,011 l/s pr. m ² = 110 l/s pr. ha	Normalt fritliggende stuehus
Klimafaktor	1,4	Sættes normalt til 1,2 (Brandt, E. (2015) men grundet stigende regnintensitet er det valgt i beregningen at forhøje til 1,4, hvilket svarer til 40% over normalen og 12% mere end nedbøren i 2023.
Dimensioneret regnintensitet	154 l/s pr. ha	Bruges til at dimensionere tagrender og nedløb
Dimensionsgiven de vandstrøm	3,4 l/s	Bruges til dimensionering af regnvandsafløb
Dimensionering af regnvandsafløb	Min. Ø75 mm	Der er registreret 110mm fra tagrende til sandfangsbrønde og 160 mm efter sandfangsbrønde
Dimensionering af tagnedløb	Min. Ø55 mm	Der er registreret 75 mm
Dimensionering af tagrender	Min. 105 mm bredde	Der er registreret 11" = 120 mm

Tabel 11 Optimal dimensioneringen af afledningsforhold

Vand fra siden

For at kunne vurdere vandpåvirkninger fra siden, ses der nærmere på GIS.dk med optegnelser over nedbør på DHM (Dansk højde model). På figur 73 fremgår ejendommen, hvor der er valgt 105mm ekstremregn vist som DHM-bluespot. Ekstremregn defineres som (≥ 2 mm regn pr. min), dvs. 105mm svarer til 2mm regn pr. min i 52 minutter og 30 sekunder.



Figur 73 Ekstremregn 105mm (WebGIS.dk)
DHM Bluespot



Figur 74 Klimahøjde (WebGIS.dk) Fald på
7,5m mod syd til sø.

På figur 73 fremgår 3 områder “blue spot”, hvor der vil ske opstuvning af vand. Ingen af områderne er i umiddelbar nærhed af stuehuset, men to af områderne ligger i nærhed af ejendommens øvrige bygninger. “Blue spot” områderne ligger hhv. I markkanten nord for stuehuset, i gårdspladsen syd for stuehuset og på østsiden af bygningen, som står i vinkel på stuehuset. For at forebygge og afhjælpe opstuvning på terræn, er der flere tiltag som kan anbefales.

På figur 74 klimahøjde, fremgår højdekort for ejendommen. På kortet ses der et fald i terræn mod syd på 7,5m (17,5–10 m.o.h.). Syd for ejendommen ligger en opstemmet sø, hvis overløb går via bæk til nærliggende å. For at illustrere mulige løsninger, er der på figur 75 vist, hvorledes overfladevandet kan ledes væk. Opstuvningen mod nord i markkanten kan

ledes væk via åben grøft med fald imod øst, herefter i åben grøft med naturligt fald mod syd.

På gårdspladsen syd for stuehuset, eksisterer der tag afløb til bygningen, som føres i 110mm rør til sandfangsbrønd. Dermed kan der etableres en brønd med rist i gårdspladsen, med forbindelse til eksisterende sandfang. Risten skal have en maskestørrelse, så grus fra gårdspladsen ikke kommer ned i brønden.

Øst for bygningen, som står i vinkel på stuehuset, er der ligeledes opstuvning af vand. Ligesom på bygningen mod syd, eksisterer der afløb for tagvandet til sandfangsbrønd, dermed kan der også her etableres en brønd med rist. Der er flisebelægning på denne side af bygningen, hvorfor et korrekt fald med afløb er nødvendigt. Alternativt kan der etableres en brønd med afløb i rør til den grøft som anbefales etableret med fald mod syd.



Figur 75 Forslag til afledning af overfladevand

Vand fra neden

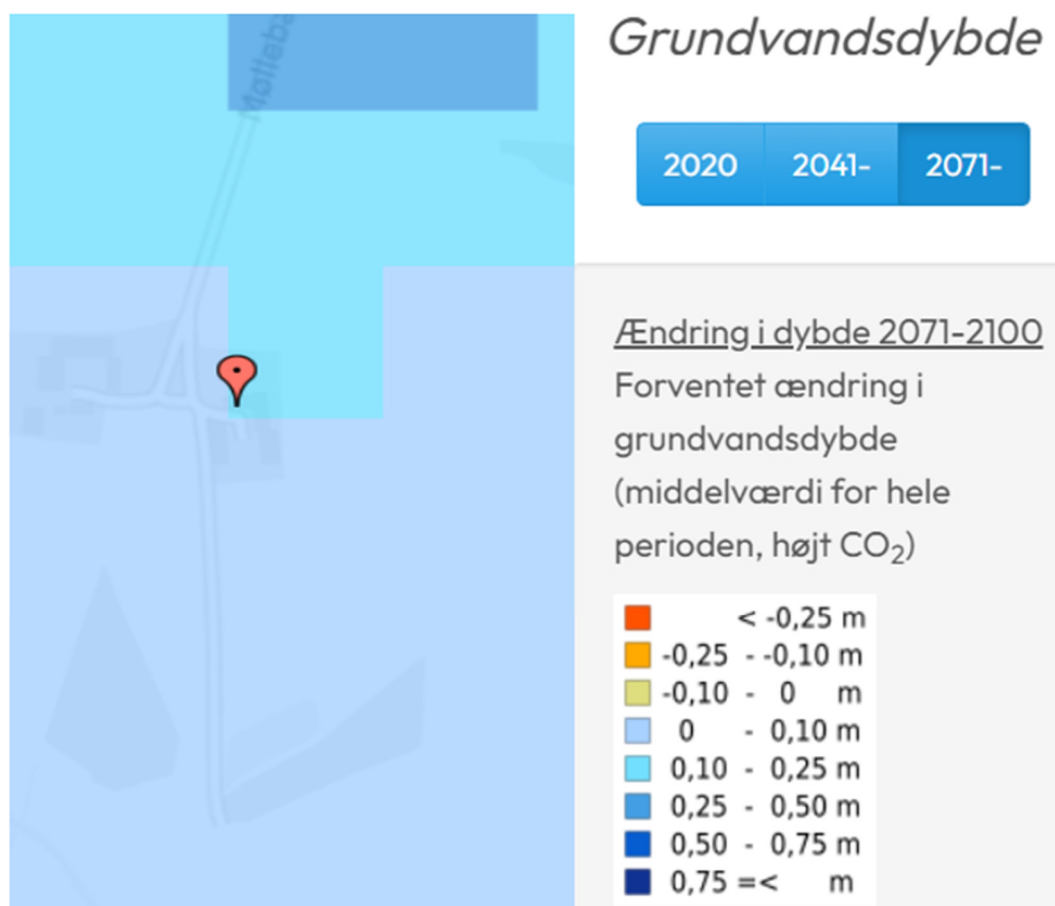
Ejendommen er ikke på det offentlige kloaksystem, men har septiktank med sivedræn. I tilfælde af for lav kapacitet i drænet er der etableret et overløb, som går til samlebrønd for regnvand. Ejendommen er dermed ikke påvirket af opstuvning i offentligt kloaksystem og har overløbssikring af sivedræn.

I følge dingeo.dk ligger grundvandsspejlet 3,1m nede på ejendommens adresse. Dybden er baseret på historisk data og placeringen ses af nedenstående kort figur 76.



Figur 76 Historiske grundvandsdybder

På nedenstående figur 77, er der set nærmere på fremtidige prognoser for grundvandsspejlet på adressen. Af billedet fremgår den forventende ændring på adressen frem til 2100. Prognosen bevæger sig fra 2020 – 2041 – 2071 – 2100 og i hele perioden forbliver grundvandsspejlet ejendommen i kanten af den lyseblå og grå farvemarkering på kortet. Dermed kan det forventes, at ændringerne i grundvandsspejlet frem til 2100 vil ligge imellem 0-0,25m



Figur 77 Forventede grundvandsdybder iht. www.dingeo.dk

Opsummering klima.

Samlet set er ejendommen godt forberedt til forventede klimamæssige fremskrivninger. Stuehusets tagrender og afløbssystem til regnvand er i god stand og dimensioneret til at kunne klare den stigende intensitet og mængden af regnvand, som forventes i fremtiden. Ejendommen ligger godt geografisk placeret, med en sydvendt skråning, hvor fald mod syd, sikrer afledning af vandmængderne til nærliggende mose og opstemmet sø. Grundvandsspejlet ligger i ca. 3,1m nede og der er ikke indikationer på, at grundvandsspejlet frem til år 2100 stiger problematisk. Der er gennemgået enkelte tiltag mod opstuvning af vand, som det anbefales at udføre, på de omkringliggende områder. Disse tiltag vil sikre, at overfladevand bliver ledt korrekt og effektivt bort.

3.4 Bygningens nuværende energiramme

På figur 78 fremgår BE18 forside data på det omhandlende stuehus. Her ses en beregnet varmekapacitet på 84 Wh/K m^2 . Sammenlignes dette med et typisk parcelhus, ligger varmekapaciteten på omkring 55 Wh/K m^2 , dermed er de tunge byggematerialer medvirkende til større varmeakkumulering i konstruktionen. (Aggerholm 2011). Udregningen for varmekapaciteten kan ses i Bilag C Excel. Det kan også ses at, hvis denne bygning skal overholde BR18 krav til transmissionstabsrammen på nybyg, er der $16,8 \text{ W/m}^2$ til rådighed, som omfatter varmetabet på klimaskærmen samt infiltration som er tab gennem utætheder i klimaskærmen. Bygherre ønsker som beskrevet i indledningen at indplacere bygningen i renoveringsklasse 1 eller 2, grænserne for disse, er at finde i nøgletallene, på den nederste fane i BE18. Af varmeforsyningen fremgår det, at den primær opvarmningskilde er kedel, i form af et træpillefyr.

Bygning				Beregningsbetingelser	
Navn: Møllebækvej 85				BR: Aktuelle 1 Se beregningsvejledningen	
Fritliggende bolig (fritliggende enfamiliehus) Sammenbyggede boliger (fx dobbel-, række- og kædehuse) Etagebolig, Lager mv eller Andet (ikke bolig)				Tillæg til energirammen for særlige betingelser, kWh/m ² år	
1	Antal boligenheder	355	Rotation, °	0	
266	Opvarmet etageareal, m ²	266	Bruttoareal, m ²	Kun mulig for andre bygninger end boliger og beregningsbetingelser: BR: Aktuelle forhold.	
0	Opvarmet kælder, m ²	0	Andet, m ²	OBS: Ny reference for belysning i BR15: 300 lux.	
161	Bebygget areal, m ²				
84	Varmekapacitet, Wh/K m ²	Start, kl.	Slut, kl.		
168	Normal brugstid, timer/uge	0	24		
Varmeforsyning				Mekanisk køling	
Kedel Basis: Kedel, Fjernvarme, Blokvarme eller El				0 Andel af etageareal, -	
☐ Varmefordelingsanlæg (hvis elvarme)				Beskrivelse	
Bidrag fra (i prioritets-orden)				Kommentarer	
☐ 1. Elradiatorer ☐ 2. Brændeovne, gasstrålevarmere og lign.					
☐ 3. Solvarme ☐ 4. Varmepumpe ☐ 5. Solceller ☐ 6. Vindmøller					
Samlet varmetab				Transmissionstabsramme	
Transmissionstab 8,5 kW 32,0 W/m ²				Almindelig 16,8 W/m ²	
Ventilationstab uden vgv 3,8 kW 14,3 W/m ² (om vinteren)				Lavenergi 15,8 W/m ²	
I alt 12,3 kW 46,4 W/m ²					
Ventilationstab med vgv 3,8 kW 14,3 W/m ² (om vinteren)					
I alt 12,3 kW 46,4 W/m ²					

Figur 78 Forsidedata på stuehuset

Inddata til BE18:

I tabel 12 fremgår de registrerede data der er brugt til varmetabsberegningen. Alle inddata fra tabellen er beregnet i Excel, Bilag C Excel. Resterende oplysninger stammer fra bygningsregistreringen, bygherre, eller skønnet med hjælp fra Branchevejledning for indeklimaberegninger. (Vorre M 2017).

Bygningsdel	U-værdi	Bemærkninger
Gulv type 1	0,52	15 mm Trægulv 20 mm træfiberplade 80 mm betonlag b-faktor til 0,7 grundet ingen gulvvarme
Gulv type 2	0,24	22 mm trægulv 95 mm gulvstrøer med isolering mellem 80 mm betonlag b-faktor til 0,7 grundet ingen gulvvarme
Gulv type 3	0,18	10 mm klinker 100 mm beton med gulvvarmeslanger 200 mm EPS Polystyren 75 mm grus kapillarbrydende lag Inde temperatur sat til 30 grader grundet gulvvarme
Facade type 1	1,45	250 mm teglsten
Facade type 2	0,84	250 mm teglsten 40 mm træbeton
Facade type 3	0,43	250 mm teglsten 40 mm træbeton 45 mm regler med isolering mellem 12,5 mm gips
Facade type 4	0,29	250 mm teglsten 40 mm træbeton 95 mm regler med isolering mellem 12,5 mm gips
Facade mod anden bygning	0,84	250 mm teglsten 40 mm træbeton Ude temperatur sat til 15 grader grundet bygningens anvendelse
Tagkonstruktion	0,2	Sortglaseret tegl 38 mm taglægter 160 mm spær med 145 mm isolering mellem 45 mm krydsforskalling med isolering mellem 12,5 mm gips
Linjetab		
Fundament uden gulvvarme	0,31	Fundament uden kuldebrosafbrydelse U-værdi på terrændæk 0,52
Fundament med gulvvarme	0,24	Fundament uden kuldebrosafbrydelse U-værdi på terrændæk 0,18 og 0,24 Inde temperatur sat til 30 grader grundet gulvvarme
Døre mod fundament	0,89	Beton støbt ud under dør uden kuldebrosafbrydelse
Tagvinduer	0,25	Der er målt en samlingshøjde på 100 mm
Vinduer og døre	0,11	Der er ingen kuldebrusafbrydelse

Tabel 12 data indtastning i BE18 med bemærkning for indtastningen.

- U-værdier på døre og vinduer kommer fra bestillingsliste se Bilag B Vinduer og dør bestilling
- Skygger er udregnet i skyggestudie i Revit, iht. Branchevejledning for indeklimaberegninger. (Vorre M 2017)
- Stuehuset ventileres med naturlig ventilation, hvorfor der er taget udgangspunkt i bygningsreglementets krav til ventilation af beboelse, som sættes til $0,3 \text{ l/s m}^2$. Erfaringstal fra branchen siger at den samlede ventilationsmængde sættes til $0,32 \text{ l/s m}^2$, som i tillæg medtager forceret drift ved brug af udsug på badeværelser, brug af emhætte samt infiltration. (Be18 startmodel - bolig)
- Intent varmetilskud er indtastet iht. Branchevejledning for indeklimaberegninger. (Vorre M 2017)
- Varmefordelingsanlægs data er noteret under besigtigelse og fremgår i afsnittet under tilstandsregistrering

I tabel 13 fremgår nøgletal for BE18 beregningen. Som det ses i tabellen, medgår der 131,3 kWh/m² pr. år til rumopvarmning, hvilket er et stort behov, set i forhold til nye boligbyggerier, hvor grænsen til rumopvarmning og varmt brugsvand er på 30 kWh/m² pr. år. + 1000 kWh/m² pr. år divideret med opvarmet etageareal. Det samlede energibehov fremgår nederst i tabellen og ligger på 210,5 kWh/m² pr. År. Svarende til et energimærke F.

Model: Møllebækvej 85	SBi Beregningskerne 10.19.7.22
Be18 nøgletal: Møllebækvej 85	
Transmissionstab, W/m ²	
Transmissionstabsramme, almindelig	16,8
Transmissionstabsramme, lavenergi	15,8
Transmissionstab, beregnet	32
Bidrag til energibehovet, kWh/m ² år	
Varme	205,2
El til bygningsdrift	2,8
Overtemperatur i rum	0
Netto behov, kWh/m ² år	
Rumopvarmning	131,3
Varmt brugsvand	18,5
Køling	0
Udvalgte elbehov, kWh/m ² år	
Opvarmning af rum	0
Opvarmning af varmt brugsvand	0
Pumper	1,6
Varmetab fra installationer, kWh/m ² år	
Rumopvarmning	20,5
Varmt brugsvand	18,5
Ydelse fra særlige kilder, kWh/m ² år	
Ingen særlige kilder	0
Samlet elbehov, kWh/m ² år	
Elbehov	33,4
Samlet energibehov	
Samlet energibehov	210,5

Tabel 13 Nøgletal af energirammeberegning fra BE18

Ud fra de beregnede energibehov, er det muligt at beregne på, hvor store energibesparelser der skal til, for at imødekomme bygherres ønske om at få bygningen placeret i renoveringsklasse 1 eller 2. Af tabel 14 fremgår grænserne for renoveringsklasse 1 og 2 og de nødvendige energibesparelser der skal realiseres. Der er tale om energibesparelser på hhv. 132,2kW/m² år for renoveringsklasse 2 og 151,8kW/m² år for renoveringsklasse 1.

Renoveringsklasse 2, kWh/m ² år	
Energiramme Renoveringsklasse 2, uden tillæg	78,3
Tillæg for særlige betingelser	0
Samlet energiramme	78,3
Nuværende energibehov	210,5
Nødvendig energibesparelse	132,2
Renoveringsklasse 1, kWh/m ² år	
Energiramme Renoveringsklasse 1, uden tillæg	58,7
Tillæg for særlige betingelser	0
Samlet energiramme	58,7
Samlet energibehov	210,5
Nødvendig energibesparelse	151,8

Tabel 14 over hvad der skal til for at opnå renoveringsklasse 1 og 2

3.5 Delkonklusion klima og energi

Klima

De klimamæssige spørgsmål fra bygherre, er undersøgt nærmere. Der er udført kontrol af stuehusets afledning af vand fra oven. Det kan her konkluderes af afløbssystemet er i god stand, samt overholder krav og har en væsentlig overdimensionering, som gør det i stand til at aflede større vandmængder. Ved vand fra siden, er der via Bluespot kortet fundet steder på de omkringliggende arealer, som kan forbedres. Dermed anbefales bygherre af lede vandet til afløb i gårdsplads og ved lade bygning. Desuden er det foreslået at vandet der samles nord for ejendommen, ledes via grøft til lavtliggende mose. Vand fra neden er undersøgt nærmere ud fra grundvandskort og drænmæssige forhold. Der er fundet både overløbssikring og gode afløbsforhold. Grundvandet ligger ca. 3 meter nede og de fremskrivninger, som er fundet, viser meget begrænsede stigninger i grundvandsspejl frem mod år 2100. Samlet set, kan det konkluderes at bygherres investering i ejendommen er sikker, vurderet ud fra et klimamæssigt perspektiv.

Energi

De energimæssige beregninger i BE18, har vist at stuehuset har energimærke F. Det kan dermed konkluderes, at der er et stykke vej op til renoveringsklasse 1 og 2, med hhv. energibesparelser på 151,8 kWh/m² år og 132,2 kWh/m² år. Det beregnede transmissionstab i klimaskærmen på 32 W/m², som er dobbelt så stort, sammenlignet med et nybygget hus efter BR18 krav. Dermed er der tale om en klimaskærm, som medfører uforholdsmæssigt høje omkostninger til opvarmning af boligen. Boligens varmforsyning er et træpillefyr, som medfører en høj primærfaktor til beregningen grundet fyrets virkningsgrad. I sammenligning med fjernvarme eller varmepumpe, er der potentiale for en forbedring i energitilførslen til boligen. Bygningen er desuden naturlig ventileret, hvilket medfører et stort varmetab, da varmen i den ventilerede luft ikke varmegenvindes, men lukkes direkte ud i det fri.

Del 4 – Optimeringspotentialer

Del 4 var oprindeligt tiltænkt som et katalog til bygherre omkring energioptimering, besparelser og investeringer forbundet hermed. Men grundet de mange fund af kritiske konstruktioner, udarbejdes der forslag til energirenovering, med fokus på forbedring af de konstruktioner, som giver anledning til bekymring. Dermed fokuseres der på at bringe anbefalinger, som ikke alene giver energioptimering, men i højere grad tager hånd om at sikre eller forbedre de eksisterende konstruktioner i kombination med energioptimeringen.

4.1 Metode

Til at kontrollere og eftervise de fugtmæssige forhold ved givne konstruktionsændringer, anvendes WUFI. Dermed skal WUFI simuleringerne danne grundlag for de anbefalinger, som udarbejdes til bygherre omkring de tiltag der vil ændre de eksisterende konstruktioner. Ændringerne har til formål at gøre konstruktionerne fugtmæssigt robuste. Til udarbejdelse af forlag om optimeringspotentialer, opgøres mulige besparelser som variantstudier. Variantstudierne tager udgangspunkt i BE18, som anvendes til at dokumenterer de energimæssige forbedringer, der skal bringe bygningen op i renoveringsklasse 1 eller 2. Dermed tager del 4 udgangspunkt i en teoretisk tilgang, hvor DS418 anvendes som grundlag for indtastninger i BE18, samt optimeringsberegninger. Optimeringsforslag er prissat via Sigma Estimates, som er et beregningsprogram til ressourcefastsættelse.

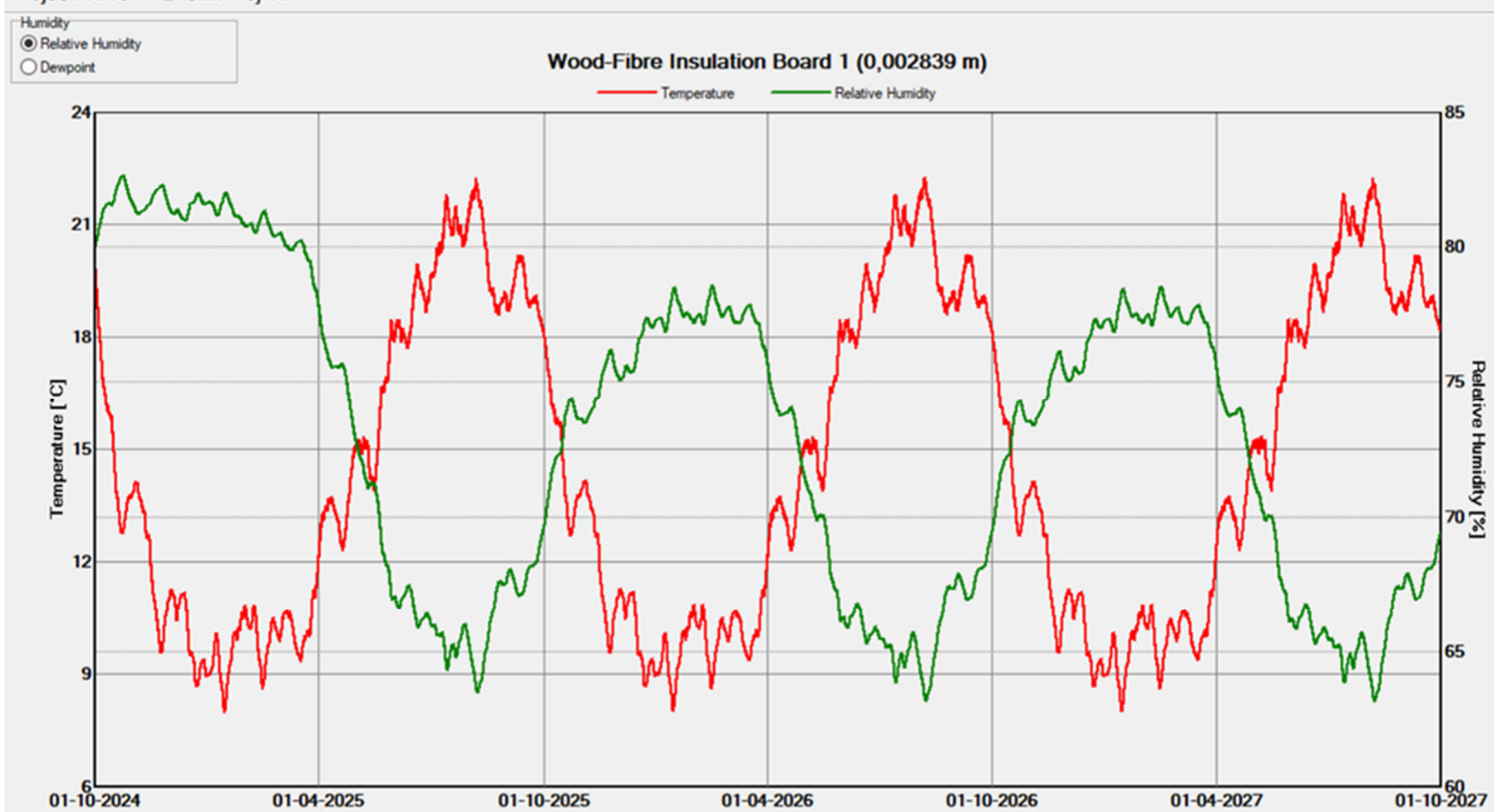
4.2 Konstruktionsforbedringer

Scenarie 1, 4 og 5 gennemgår WUFI-simuleringer med en udvendig facadeisolering af mærket ISOVER 0.32 FSP 50mm.

Scenarie 1

På WUFI-simuleringen figur 79 vil der med 50mm facadeisolering efter første år, højest være 77% RF i punktet ud mod murstensfacaden. I den tidligere simulering kom Celotexlaget kortvarigt op på 93% RF i samme punkt. Dermed vil den udvendige efterisolering sænke fugtbelastningen i forsatsvæggen. Det vil desuden beskytte facaden imod yderligere frostsprængninger i vinterperioden.

Project/Case: Møllebækvej 85/#1



Figur 79 WUFI-simulering af forsatsvæg med 50mm facadeisolering

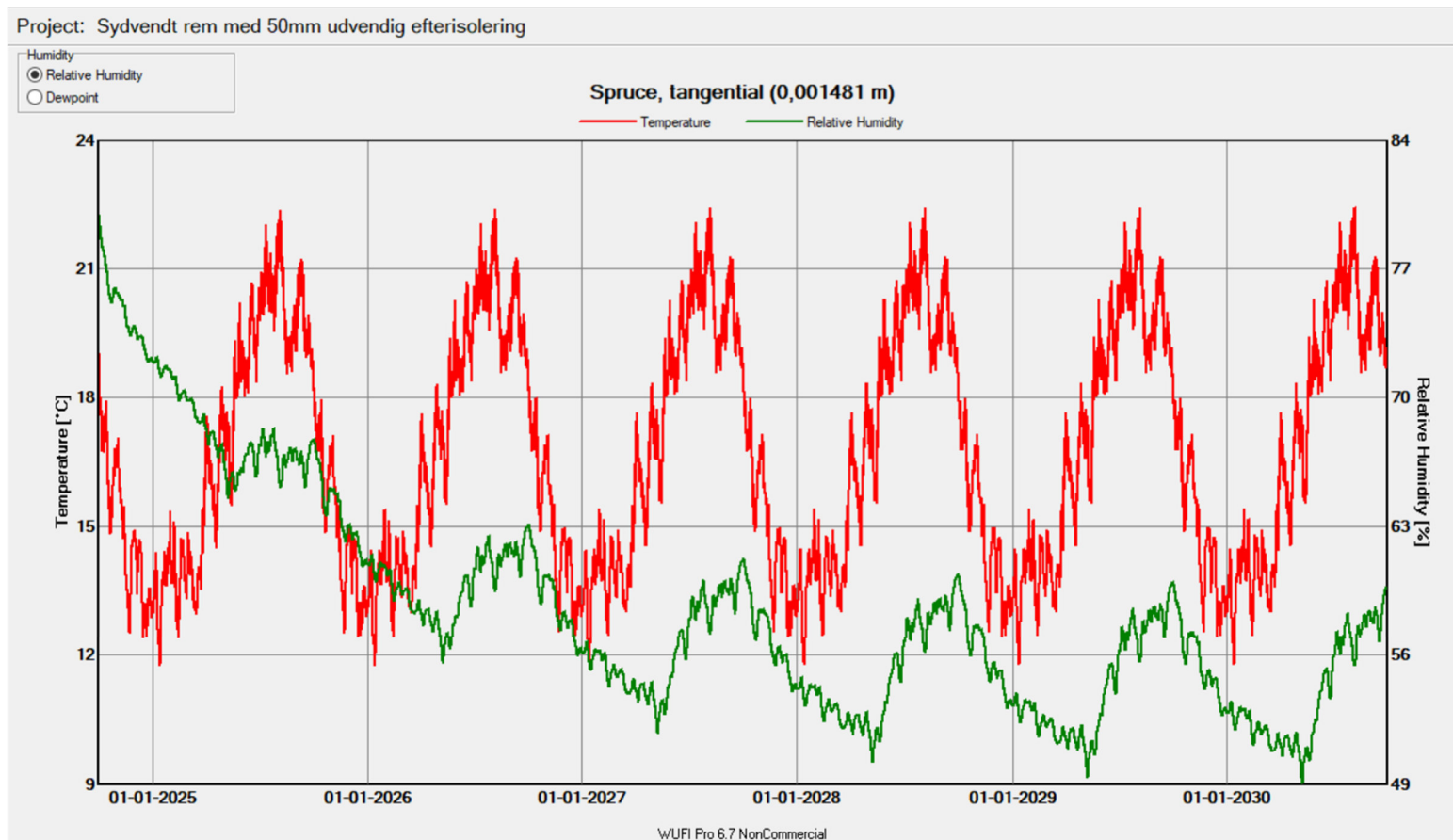
VTT-beregning figur 80, er udført med samme indstillinger og valg som i simuleringen Scenarie 1, dog er der tilført den udvendige efterisolering på 50mm. Det resulterer i, at den kritiske konstruktion i forsatsvæggen bliver hævet i temperatur. Samtidig mindskes den udvendige fugtpåvirkning, som tilsammen sænker den relative fugtighed. VTT-indekset er på 0,0 efter første år.



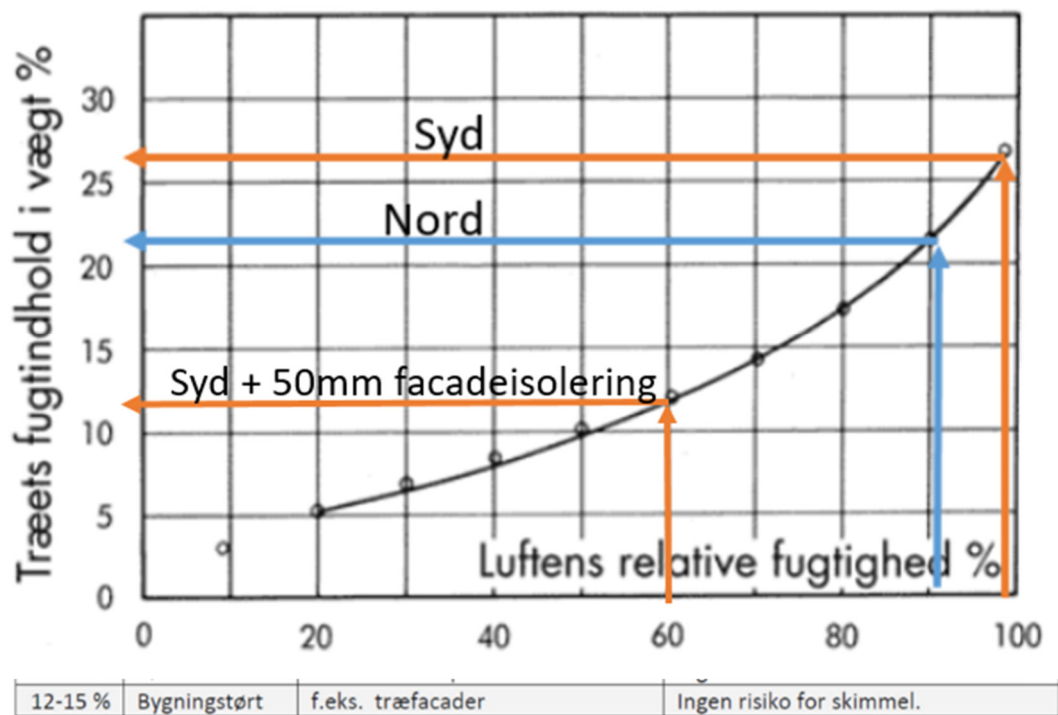
Figur 80 VTT-beregning med 50mm udvendig isolering

Scenarie 4

På WUFI-simuleringen figur 81, vil der med 50mm facadeisolering efter 4år være opnået stabilitet i simuleringen. Den relative fugtighed vil toppe omkring 60% RF, hvor den i tidligere simuleringer lå omkring 99% RF i samme punkt. Dermed sker der en markant forbedring af fugtforholdene i konstruktionen, med den udvendige efterisolering. 60% RF vil svare til en træfugt på ca.12% se figur 82.



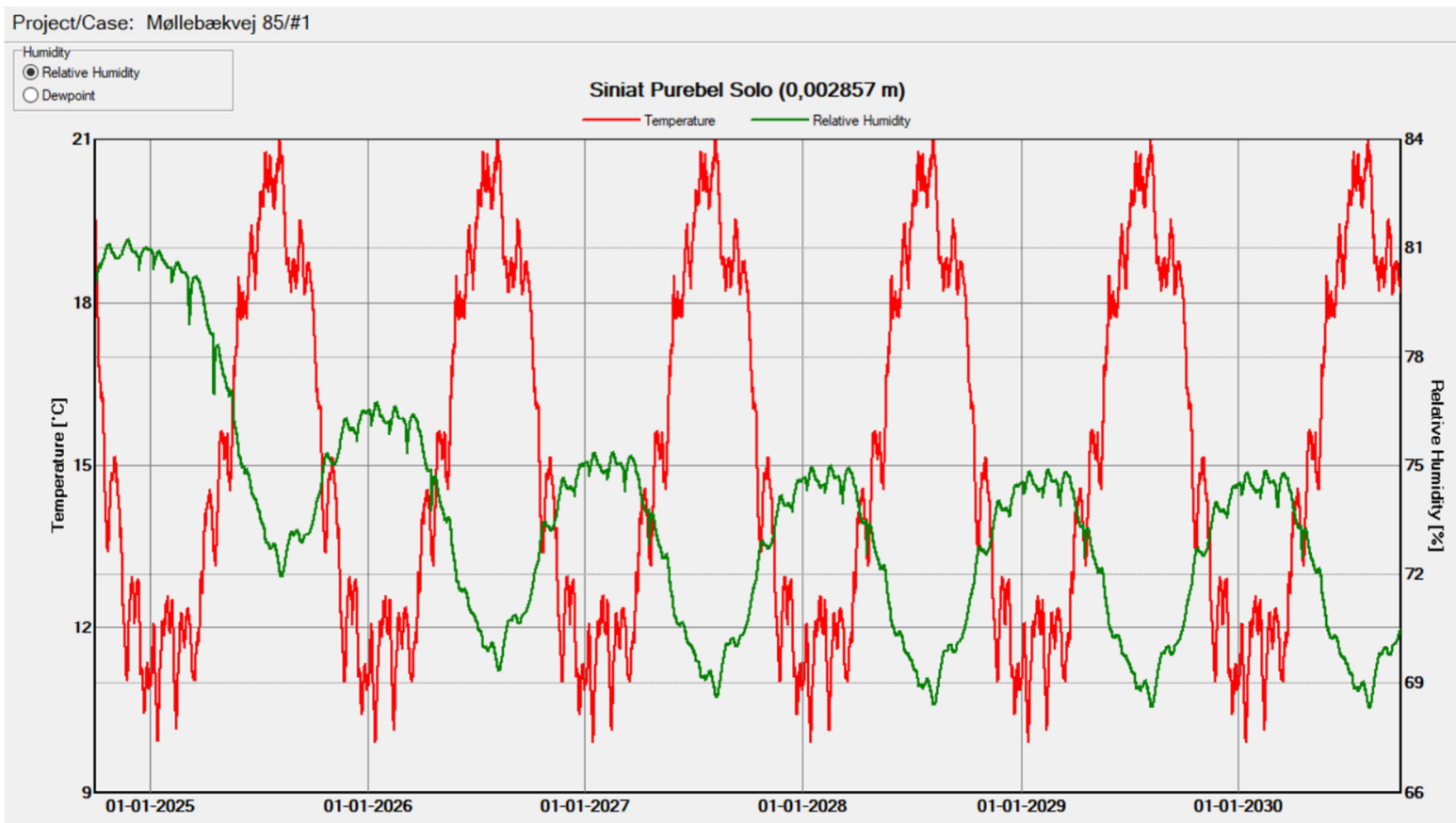
Figur 81 WUFI-simulering af sydvendt rem med 50mm facadeisolering



Figur 82 Træfugt ved 60% RF

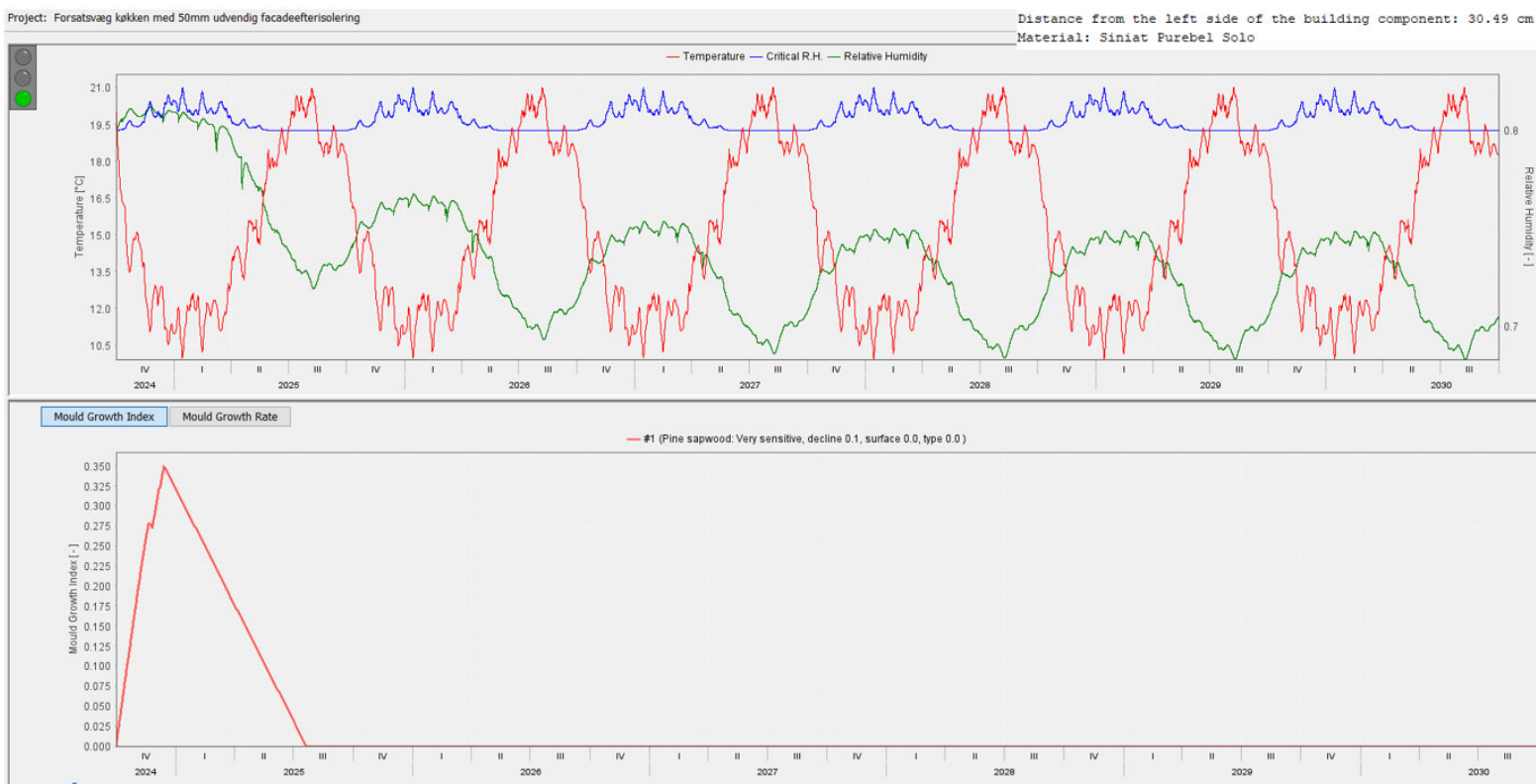
Scenarie 5

På WUFI-simuleringen Figur 83 vil der med 50mm facadeisolering efter tredje år være stabil. Fugtighed kommer herefter op omkring 75% RF i punktet mellem troldtektpladen og murstensfacaden. I den tidligere simulering uden facadeisolering, kom samme punkt op på 82% RF. Dermed vil den udvendige efterisolering sænke fugtbelastningen i forsatsvæggen. De fugtniveauet stadig ligger omkring de 75% som er den nedre grænse for skimmelvækst, laves der en WUFI VTT-vurdering.



Figur 83 WUFI-simulering FB3 af forsatsvæg i køkken med 50mm facadeisolering

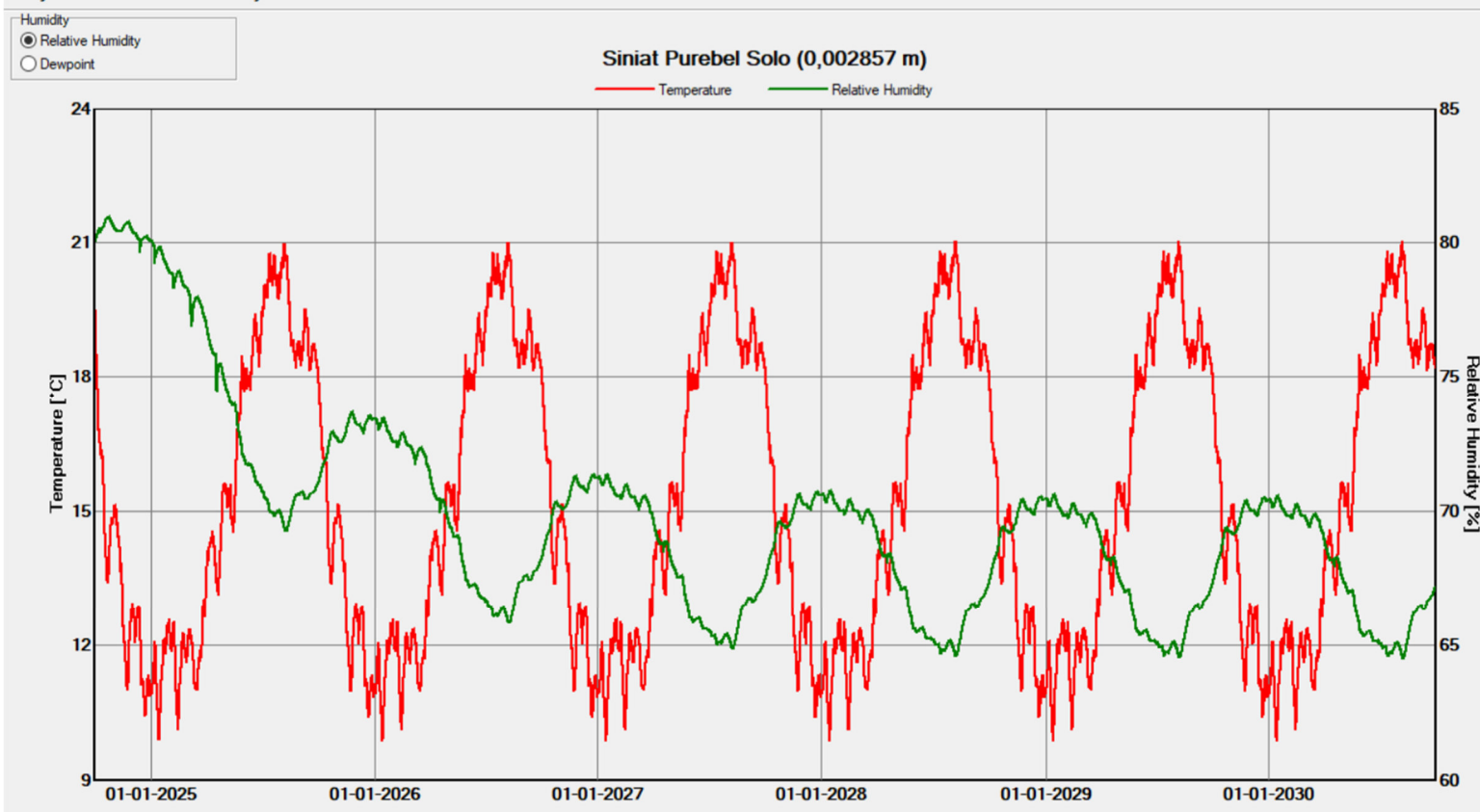
På VTT-modellen er der igen valgt "worst case" materialer, for at være på den sikre side i vurderingen. På figur 84 fremgår VTT, hvor der efter stabilisering det første år, ses at VTT indekseringen går i 0,0. Dermed vurderes konstruktionen er være acceptabel med den udvendige efterisolering.



Figur 84 VTT-vurdering med 50mm udvendig facade isolering.

Hvis bygherre samtidig er opmærksom på at få udluftet regelmæssigt, især under og efter madlavning, så fugtbelastningsklassen kommer ned på 2, vil fugtbelastningen på konstruktionen forbedres yderligere. På figur 85, er WUFI simuleringen kørt som overstående, dog med fugtbelastningsklasse 2. Her fremgår det at fugtbelastningen falder yderligere til ca. 71% RF

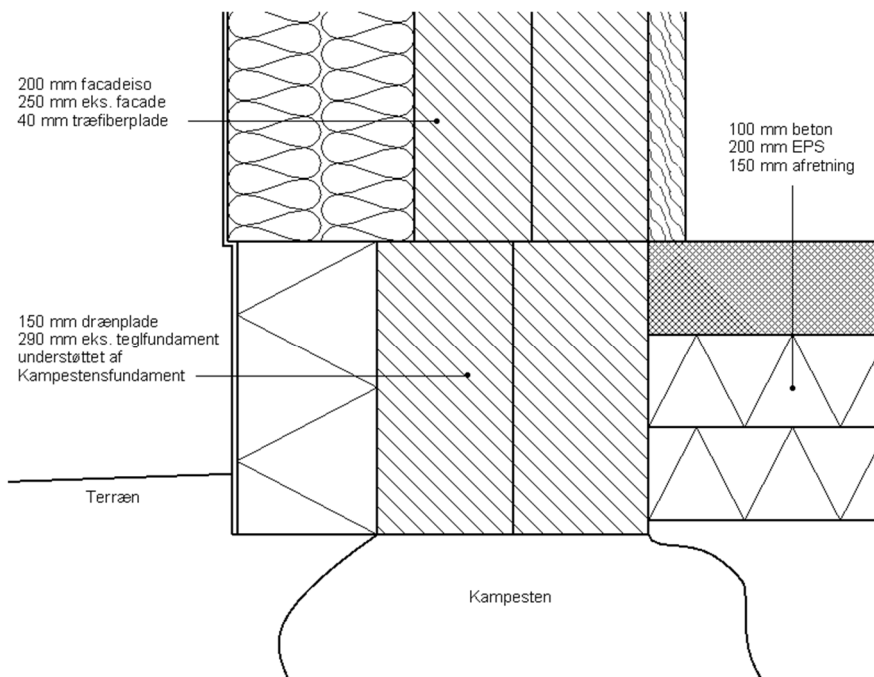
Project/Case: Møllebækvej 85/#1



Figur 85 WUFI-simulering FB2 af forsatsvæg i køkken med 50mm facadeisolering

Fundament og facade:

Det anbefales at få blotlagt overkant af kampestensfundamentet omkring hele stuehuset. Dette for at fritlægge murstenssokkel, som flere steder ligger under terræn niveau. I samme arbejds gang bør utætheder i kampestensfundamentet lukkes med en flydende membran ned i 10-12cm dybde. Dette skal sikre, at der ikke trænger vand ind mellem kampesten og murstenssokkel, med opfugtning af sokkel til følge. På figur 86 fremgår sokkeldetalje, isoleringstykkelserne kan varieres afhængigt af det ønskede udtræk og den isolerende effekt. Hvis der efterisoleres med mere end 100mm, anbefales det at flytte døre og vinduer ud i facaden, hvilket samtidig får en positiv indvirkning på linjetabet i konstruktionen. Forslaget om udvendig efterisolering er begrænset af bygningsreglementets krav til maksimal tykkelse på udvendig facadeisolering, som er 250mm. Alternativt kræver det forudgående ansøgning om byggetilladelse.



Figur 86 Illustration af knudepunkt mellem Facade-Fundament-Terrændæk.

Konsekvenserne ved at lave udvendig efterisolering kan deles op i 3 områder.

- Arkitektonisk ændring
- Energooptimering
- Fugtforhold

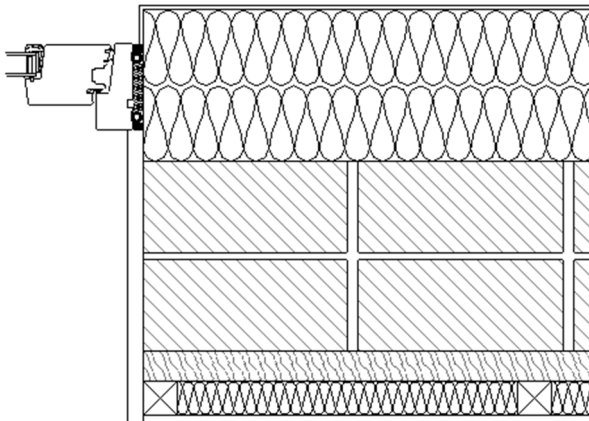
Den arkitektoniske ændring, betyder at soklen kommer ind i linje med facaden, det kan være vigtigt for bygherre, at det nuværende udtryk

bibeholdes. De omkringliggende bygninger har dog samme udtryk, som ændringen vil give til stuehuset.

Den energimæssige optimering vil sænke bygningens transmissionstab og bringe bygningen tættere på bygherres mål og renoveringsklasse 1 eller 2. Den udvendige efterisolering, vil samtidig mindske betydningen af, at der ikke er anvendt kantisolering ud mod sokkel, på de gulve med gulvvarme. Ved udvendig efterisolering og udligning af fremspring på sokkel, etableres en drypkant, som sikrer at vand ikke trænger ind mellem isoleringslagene. Det betyder samtidig at fugtpåvirkningen mindskes og fugt forhindres i at trække ind i sokkelkonstruktionen.

Linjetab døre og vinduer:

Facadeisoleringen medfører nogle positive følgeoptimeringer på konstruktionens linjetab. Ved at flytte vinduerne med ud i konstruktionen, til 20mm overlap på facadeisoleringen, elimineres kuldebroer i lysninger. På figur 87 ses et snit af facadekonstruktion, hvor vinduet er flyttet ud. Iht. DS 418 tæller det ikke længere som en kuldebro, der skal medregnes i energiberegningen.



Figur 87 Illustration af dør og vinduesmontage

Linjetab tagvinduer:

Grundet krav om optimering af tagkonstruktion, opretning af spær samt ny isoleringsmængde, ændres linjetabet til en samlingshøjde på 0 mm. Samtidig udføres samlingsisoleringen med en tykkelse på 50 mm, hvilket giver en betydelig forbedring af dette linjetab.

Linjetab hjørnesamling med facadevæg og gavl:

Facadeisolering af bygningen giver et ekstra tilskud i form af hjørnesamlingen mellem facade og gavl. Her har isoleringen et udvendigt overlap og dermed skal der medregnes et positivt linjetab, da facadeopmålingen har talt dette hjørne med to gange.

Linjetab hjørnesamling facade og tagfod:

Ligesom i ovenstående linjetab har isoleringen på facaden en positiv virkning på linjetab i hjørnesamling, som i opmålingsreglerne igen bliver talt dobbelt, derfor er der endnu et tilskud som følge af facadeisolering.

Terrændæk:

I registreringen er der målt høje fugtniveauer i de gulvkonstruktioner, som ligger direkte på jord. Ved at nedrive gulvkonstruktioner med gulvtype 1 og 2 og erstatte disse med kapillarbrydende isoleringslag som gulvtype 3, vil det formodentligt fjerne problemer med opstigende fugt. Samtidig vil det have en positiv indvirkning på energirammen.

Skillevægge:

For at afhjælpe problemer med opstigende grundfugt, forventes det at renoveringen af terrændækket, vil afhjælpe problemerne med fugt i skillevægskonstruktionen. Denne forventning bygges på undersøgelserne med Gannmåling, hvor der i den del af stuehuset med nyere gulve ikke er målt for høje fugtniveauer i skillevæggene. Alternativt, kan nedenstående tre metoder tages i betragtning, hvis der efter nedrivning konstateres forhold der kræver yderligere tiltag.

- Metode nr. 1 skæres der i rette højde gennem skillevæggen, ca. en meter ad gangen, som passer til stålpladerne. Under udførslen, skal der løbende fuges/stoppes med mørtel så bæreevnen på skillevæggen ikke forringes og revnedannelser undgås. Denne metode kan bruges på murværk bredere end en stens mure, hvor fuger mellem skifterne ikke altid flugter.
- Metode nr. 2 er at slå/vibrerer stålplader, som er bølgeformet, ind i murværkets fuger. Det kræver at fugerne flugter, gør de ikke det, er der risiko for at pladen ikke kan vibreres på plads, eller at det ødelægger væggen med revnedannelser og knuste teglsten.
- Metode nr. 3 er sjældent brugt, da den er omkostningsfuld og tidskrævende. Her udtages et skifte og murpap lægges, hvorefter skiftet mures på plads igen. Denne løsning ses ofte, hvis der er tale om fredede bygninger. (Larsen, P. 2020).

Vinduer og døre:

Der er ikke nogen grund til at udskifte vinduer og døre, da disse er forholdsvis nye og udskiftet i hhv. 2013 og 2016. Raadvad har lavet en gennemgribende forskning om, hvornår man bør udskifte vinduer. Fra efter 1996 er vinduer og døre lavet af en standart og kvalitet, så de bør kunne holde i minimum 30år. Udskiftning inden kan dog grundes i punktering af termoruder, høje U-værdier eller deformation på plastic vinduer. (Vadstrup, S. 2002).

Tagkonstruktion:

Da tagkonstruktionen allerede er under renovering, gøres bygherre opmærksom på et lovmæssigt krav iht. Bygningsreglementets krav til ombygning af bygningsdel. Det vil betyde, at der minimum tilføres en isoleringsmængde på 150mm. Da konstruktionen allerede er under renovering og oprettes med 200mm spærtræ, anbefales det at tilføre 250mm isolering til tagkonstruktionen. 200mm imellem spær, inden dampspærre og 50mm i et krydsforskallet skellet uden på dampspærre. Dette vil resultere i en lidt lavere skrålofthøjde, som kan påvirke det brugbare areal. Der anbefales at dampspærre tættes mest muligt. På baggrund af WUFI-simuleringen af remmen mod syd, vil der ved en facadeisolering på minimum 50mm, kunne opnås en acceptabel fugtbelastning af rem og spærender. Bygherre anbefales derfor at udskifte remmen mod syd, samt få repareret spærender umiddelbart før facadeisoleringen påbegyndes.

Ventilation

Da bygningen ikke har mekanisk ventilation, vil installation af et ventilationsanlæg med varmegenvinding (vgv.) mindske ventilationstabt fra naturlig ventilation. Samtidig vil et ventilationsanlæg kunne bidrage til at nedsætte fugtbelastningen i køkkenet, som sandsynligvis skyldes manglende eller for lidt udluftning. For at få det fulde udbytte af et ventilationsanlæg, er det vigtigt at bygningens infiltrationstal eftervises med en blowerdoor tæthedsprøve. Bygherre anbefales at komme ned op 0,7 l/s m², svarende til lavenergi. Forslaget til bygherre vil være et Genvex Eco 190 xl, som kan levere den luftmængde der skal udskiftes i en boligstørrelse som denne. Dette anlæg har en varmegenvindingsgrad på 86% ved udskiftning af en luftmængde på 306 m³/h, som min er nødvendig i denne bolig.

Jordvarme

Ved renovering af gulvkonstruktioner og udskifte 1-strengssystemet til gulvvarme, vil det være muligt at udskifte træpillekedlen med en varmepumpe. Varmepumpen har den fordel, at der ikke tabes energi til røggassen, som ved en træpillefyr kedel. Dermed vil primærfaktoren være lavere og bidrage positivt til energirammen. Samtidig er der ved en varmepumpe væsentligt mindre vedligehold. Udgiften til skorstensfejer, svare nogenlunde til omkostningen ved det årlige lovpligtige eftersyn på varmepumpen. I dette tilfælde, hvor der er masser af plads i terræn, vil det være oplagt at få installeret et vand/vand anlæg, også kaldet jordvarme. Her består udedelen af slanger i jorden med brine, som optager varme fra jorden. Den gennemsnitlige virkningsgrad er højere for jordvarme og især i vintermånederne er jorden betydeligt varmere end udeluften, som benyttes i et luft/vand anlæg. Der er installeret et 20kW træpillefyr, så en udskiftning til et 16kW, forventes at være tilstrækkeligt. Dette skal dog efterkalkuleres ved indhentning af tilbud.

Solceller

Der tages udgangspunkt i et solcelleanlæg som kan udbygges og med en inverter der kan tage imod og videregive op til 8 kW som er et standard privat størrelse solcelleanlæg. Anlægget har et areal på ca. 32 m² og en Peak power (RS), kW/m² på 0,198 med en virkningsgrad på 85% dette anlæg skal placeres på den sydvendte tagflade og med en taghældning på 45°. Det vil give et årligt tilskud på 25 kWh /m² år i be18 beregningen.

4.3 Optimeringsvarianter

I tabel 15 fremgår en oversigt med de varianter, som er gennemgået i arbejdet, med at bringe bygningen op i renoveringsklasse 1 eller 2.

Tabel 15 Optimeringsvarianter

Forslag	Nuværende situation	Ny situation	Besparelse i kWh /m ² år
Linjetab			
Efterisolering af fundament 50 mm samt etablering af gulvvarme	Ingen efterisolering U-værdi 0,31 og 0,24	50 mm isolering U-værdi 0,17	1,6 kWh /m ² år
Efterisolering af fundament 150 mm samt etablering af gulvvarme	Ingen efterisolering U-værdi 0,31 og 0,24	150 mm isolering U-værdi 0,10	3,2 kWh /m ² år
Efterisolering af fundament under døre 50 mm	Ingen efterisolering U-værdi 0,89	50 mm isolering U-værdi 0,54	0,6 kWh /m ² år

Efterisolering af fundament under døre 150 mm	Ingen efterisolering U-værdi 0,89	150 mm isolering U-værdi 0,0	1,5 kWh /m ² år
Vinduer og døre hvis facade bliver efterisoleret med 50 mm	Ingen kuldebrosafbrydelse U-værdi 0,11	20 mm overlap over facadeisoleringen U-værdi 0,08	1 kWh /m ² år
Vinduer og døre hvis facade bliver efterisoleret med 200 mm	Ingen kuldebrosafbrydelse U-værdi 0,11	Kamplacering ud for facadeisoleringen U-værdi 0,0	3,7 kWh /m ² år
Tagvinduer monteret med en samlingshøjde til isoleringen på 0 mm og med en 50 mm isoleringstykkelse	Samlingshøjde på 100 mm samt ingen isolering i samling U-værdi 0,25	Samlingshøjde på 0 mm samt 50 mm isolering i samling U-værdi 0,02	2,5 kWh /m ² år
Samling mellem facade og gavl	Ingen isolering i konstruktionen	Udadgående hjørne 200 mm isolering U-værdi -0,06	0,2 kWh /m ² år
Samling mellem facade og tagfod med i alt 350 mm isolering i tagkonstruktion	Ingen isolering i facade	200 mm isolering i facade U-værdi -0,07	1 kWh /m ² år
Samling mellem facade og tagfod med i alt 450 mm isolering i tagkonstruktion	Ingen isolering i facade	200 mm isolering i facade U-værdi -0,08	1,2 kWh /m ² år
Konstruktioner			
Gulvkonstruktioner med gulvvarme	Nuværende gulvkonstruktioner U-værdi 0,52 og 0,24	Samme som gulvtype 3 U-værdi 0,18	6 kWh /m ² år
Efterisolering af facader 50 mm så der ikke er kritisk fugt i konstruktionen	Facade nr. U-værdi F1 1,45 F2 0,84 F3 0,43 F4 0,29	Facade nr. U-værdi F1 0,52 F2 0,41 F3 0,28 F4 0,21	24 kWh /m ² år
Efterisolering af facade 200 mm max energioptimering uden byggetilladelse	Facade nr. U-værdi F1 1,45 F2 0,84 F3 0,43 F4 0,29	Facade nr. U-værdi F1 0,18 F2 0,16 F3 0,14 F4 0,12	34,8 kWh /m ² år
Mere isolering i tagkonstruktionen I alt 350 mm så konstruktionen overholder	Nuværende tagkonstruktion U-værdi 0,20	Ny tagkonstruktion U-værdi 0,12	6,5 kWh /m ² år

bygningsreglementets krav			
Mere isolering i tagkonstruktionen i alt 450 mm	Nuværende tagkonstruktion U-værdi 0,20	Ny tagkonstruktion U-værdi 0,09	8,9 kWh /m ² år
Installationer			
Ventilation uden blowerdoor test	Ingen ventilation	Ventilation med vgv. 86 %	19,4 kWh /m ² år
Ventilation med blowerdoor test 1,0 l/s	Ingen ventilation	Ventilation med vgv. 86 %	23,6 kWh /m ² år
Ventilation med blowerdoor test 0,7 l/s	Ingen ventilation	Ventilation med vgv. 86 %	25,2 kWh /m ² år
Træpillefyr		Jordvarme	45,2 kWh /m ² år
Ingen solceller		Solceller 5 kW	15 kWh /m ² år
Ingen solceller		Solceller 8 kW	25 kWh /m ² år

Tabel 15 Optimeringsvarianter

Økonomi for de forskellige optimeringsforslag er opdelt i tre kategorier og der tages udgangspunkt i det maksimale tiltag af alle optimeringsforslagene;

- Klimaskærm
- Tekniske installationer
- Omkringliggende optimering på ejendommen

Klimaskærmen er udregnet med Sigma Enterprise. Alle priser er med projektering og moms, som det ses i tabel 16 nedenfor, er der 4 optimeringstiltag for klimaskærmen.

Beskrivelse	Pris i kr.
Isolering, REDArt, 200 mm mineraluld og puds	249.563,00 kr.
Efterisolering af skråvæg med gipsplader og 250 mm mineraluldsplader	245.940,00 kr.
Isolere fundament, 150 mm mineraluld/beklædning	140.991,00 kr.
Terrændæk, 200 mm EPS 150 afretningslag	54.101,00 kr.
I alt klimaskærm optimeringer	690.595,00 kr.

Tabel 16 økonomi over klimaskærmens optimeringspotentialer

Tekniske installationen er ligeledes udregnet med Sigma Enterprise og alle priser er med projektering og moms, disse kan ses i nedenstående tabel 17.

Beskrivelse	Pris i kr.
Ventilationsanlæg med rørføring og installering	67.400,00 kr.
Jordvarmepumpe inc. Rør i jord	153.415,00 kr.
Solcelleanlæg 25 k/W	176.481,00 kr.
I alt tekniske installations optimeringer	397.296,00 kr.

Tabel 17 økonomi over tekniske installationsoptimeringer.

Til de øvrige forslåede tiltag, er der indhentet tilbud fra entreprenør. I tabel 18 nedenfor fremgår, hvilke udgifter der vil være forbundet med dette arbejde.

Beskrivelse	Pris i kr.
Udskiftning af rem samt rep. af spær	75.000,00 kr.
Udgravning af rende ca. 100 m = ca. 50m ³ jord som anlægges som vold	15.000,00 kr.
Grøft afrettes og planeres samt stampes	12.000,00 kr.
Sum af tiltag	102.000,00 kr.

Tabel 18 økonomi over omkringlæggende optimeringer.

Samlet omkostning for alle optimeringsforslag udgør:

- Klimaskærmsoptimering 690.595,00 kr.
- Installationer 397.296,00 kr.
- Øvrige tiltag 102.000,00 kr.
- Alle samlede optimeringer 1.189.891,00 kr.

Diskussion

Del 1 - Planlægning af registrering

Der er på baggrund af datidens byggestil, fundet flere problematiske konstruktioner, som gennem HEAT2 er teoretisk belyst. Dette har givet nogle opmærksomhedspunkter til den fysiske gennemgang, som har givet syn for nogle kritiske fund. Det kunne være grebet anderledes an, så den fysiske gennemgang, kom forud for de teoretiske beregningerne. Det kunne have udelukket de konstruktioner (Scenarie 2), på forhånd, som viste sig ikke at være kritiske. Ved en lignende bygningsgennemgang, kan en fysisk besigtigelse med fordel gennemføres forud for de første teoretiske beregninger. Dog kan det på bagkant konstateres at planlægning er vigtig for at udnytte tiden under besigtigelsen optimalt.

Del 2 – Registrering af bygningens konstruktioner og tilstand

Under registreringsarbejdet, var der mange forskellige opgaver, som kræver særlig viden og ikke mindst praktisk erfaring. Specielt ved udførsel af termografering, var det nødvendigt at tage billederne af flere omgange. Det skyldes, at der i starten, blev taget billeder op af dagen, hvor solen kortvarigt har stået på bygningen. Det gav nogle uheldige billeder, hvor de udvendige overflader som bundstykker og tagrender, fremstod varme. Generelt har målingerne og registreringerne været en meget tidskrævende del, hvor gruppen har brugt meget energi på at udføre målingerne så korrekt som muligt. Det kan diskuteres om resultaterne ville være anderledes, hvis målingerne blev udført af professionelle. Umiddelbart ville kvaliteten være højere med bedre og mere nøjagtigt måleudstyr, men tendensen i målingerne må forventes at være den samme. Ved en lignende opgave, kunne målinger og resultater blive leveret af fagfolk, hvorefter gruppens arbejde i højere grad, ville bestå af analysering og simulering på baggrund af det leverede data.

Del 3 – Analysering af data og simulering af konstruktioner

En af de målinger, som har været særligt spændende, var udtrækning af data fra USB-loggere i de fundne forsatsvægge. Loggerne afslørede målinger, hvor der i måleperioden kunne opnås forhold, som ved sårbare let modtagelige biogene materialer, kunne give grobund for skimmelsvamp. WUFI-simuleringen viste også fugtigheder over 80% RF, dog er det i kortere perioder og med middel temperaturer, som kan sænke væksten. Derfor har det været særligt interessant at få eftervist, om der reelt set kan konstateres skimmel, via de materialeprøver som er indsendt. Skimmelanalyserne var negative, på alle indsendte prøver. Projektets VTT-simuleringer har valgt materialer som er sårbare overfor fugt og skimmel (Worst case) uden at have vished om de eksakte materialers egenskaber og eventuelt kemiske overfladebehandlinger. Dermed kan dette have stor indflydelse på skimmelprøverne, hvis Celotexpladen f.eks. er behandlet med bor, som kan hindre skimmelvækst. Ud over USB-logninger i konstruktionen, blev der i skunken fundet spærender og bjælkerem angrebet af råd, nogle steder så kraftigt at remmen

er delvist rådnet væk. Scenarie 4 + 5, har fra starten været et opmærksomhedspunkt, men faktisk at finde råd efter adskillelse af skunken var en trist bekræftelse af teorien og beregningerne. Gruppen har dog undret sig over den markante forskel fra nord til syd siden. Der er efterfølgende undersøgt, målt og beregnet for at eftervise forskellen. Tendensen i WUFI-beregningerne stemmer overens med tendensen i indstiksmålingerne, dog med markant mere fugt i simuleringerne. Derfor kan det diskuteres om indstiksmålingerne har været retvisende, da de måler i overfladen på træet. Materialevalget i WUFI kunne også være anderledes, de teglsten der er anvendt i facaden fra 1860, er typisk hårdere brændte og har dermed andre egenskaber end de tegl der kan vælges i WUFI. Desuden kan den varierende afstand ud til mørtel og tegl også spille en rolle, som er svær at tage med i simuleringerne, da disse forhold er varierende i konstruktionen. En ting er dog sikkert, den sydvendte rem er hårdt ramt af råd og skal udskiftes.

Del 4 – Optimeringspotentialer

Ved gennemgang af optimeringspotentialer, er opmærksomheden samtidig rettet imod tiltag der sikrer og udbedrer bygningens udfordrede konstruktioner. Gennemgangen viser bygherre et udgangspunkt for, hvilke potentialer der kan bringe bygningen i renoveringsklasse 1 eller 2. Det kan her diskuteres om der skal sættes spørgsmålstejn ved bygherres ønske om renovering. Bygningens alder, stand og omkostningerne ved renovering taget i betragtning, så kan alternativet være nedrivning. Uanset hvor godt bygningen renoveres, vil der altid være dele i konstruktionen som aldrig bliver efter nutiden standarder. Herunder er kampestensfundamentet en stor udfordring, som uanset membrantætning, ikke ligger i frostfri dybde. Det kan resultere i at den udvendige efterisolering vil slå revner, når fundamentet arbejder over året. På den anden side er der anvendt tunge materialer og bygningen har en god varmekapacitet, som kan udnyttes ved udvendig efterisolering. Samtidig er der allerede foretaget flere tidligere renoveringer og der er en igangværende ombygning. Mulighederne bør bestemt tages med i bygherres overvejelser.

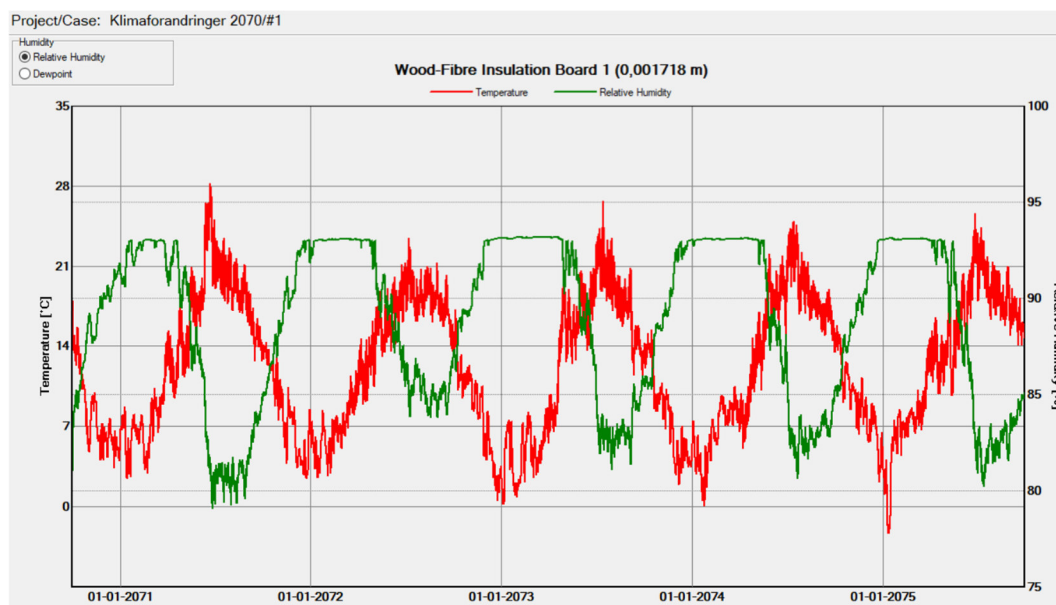
Perspektivering

De økonomiske omkostninger ved renoveringen og energioptimering, ledte til diskussionen om det eksisterende stuehus i virkeligheden burde rives ned og erstattes med nybyggeri. Hertil er der hovedsageligt set på det økonomiske aspekt, hvorfor spørgsmålet om renovering eller nybyg kan perspektiveres over i et samfundsmæssigt relevant emne omkring bæredygtighed. Byggeri i Danmark belaster med over 20% af den samlede Co2 udledning, samtidig udgør byggeaffald omkring 35% af den samlede affaldsmængde. Dermed kan en renovering spare klimaet for Co2 belastning, sammenlignet med nybyggeri. Ved renovering vil bygherre kunne udnytte de eksisterende byggematerialer og de ressourcer der allerede er lagt i stuehuset, hvorved klimaafttrykket formindskes. Ses der på det eksisterende stuehus, er der anvendte gode robuste byggematerialer. Her er tale om materialer som ikke længere produceres i samme kvalitet, herunder

kernetræ med tætliggende årer og hårdtbrændte munkesten. Samtidig er der allerede udført en del renovering med nye vinduer, nyt tag samt tagrender og afløbssystem. Samlet set, er det hele medvirkende til at bygningen allerede har stået i 164år, og stadig står i fornuftig stand. På den baggrund er det vigtigt at bygherre ikke alene lader sine overvejelser omhandle den økonomiske del, men medtager et bæredygtigt perspektiv. Dette perspektiv kan belyses ved at udføre LCA beregninger på renovering kontra nybyggeri.

4.4 anbefaling til bygherre

Da bygherre ønsker at forbedre bygningen til renoveringsklasse 1 og eller 2, vil der nedenfor komme en række optimeringsforslag inddelt i forskellige varianter. Varianterne skal give bygherre et overblik af indholdet i de enkelte forslag og tiltag. Bygherre skal samtidig gøres opmærksom på, hvis den udvendige facadeisolering fravælges, som er en del af optimeringen af klimaskærmen, bør der tages stilling til, om de indvendige forsatsvægge skal nedrives. I takt med stigende nedbørsmængder og kraftigere regnfald, vil der være øget risiko for, at de indvendige forsatsvægge gradvist bliver yderligere fugtbelastet. For at illustrere hvordan klimaforandringerne kan påvirke konstruktionen, er der på følgende figur 88, brugt en vejrfil i WUFI, som fremskriver klimadata til år 2070-2100. Her kan det ses at fugtbelastningen i Celotexlaget ligger over 80% RF i hele simuleringsperioden og topper omkring 93% RF.



Figur 88 WUFI-simulering med fremtidige vejrdata

1. Optimeringsforslag: den fulde klimaskærmsoptimering samt ventilation og jordvarmeanlæg, opnår renoveringsklasse 2

I nedenstående tabel 19 fremgår alle forbedringer til dette optimeringsforslag samt økonomi for tiltaget.

Gammel konstruktion	U-værdi	Ny konstruktion	U-værdi
Linjetab			
Fundament uden gulvvarme	0,31	Fundament isoleret udvendigt	0,10
Fundament med gulvvarme	0,24	Fundament isoleret udvendigt	0,10
Døre mod fundament	0,89	Fundament isoleret udvendigt	0,00
Vinduer og døre	0,11	Ny opbygning	0,00
Tagvinduer	0,25	Ny opbygning	0,02
Samling facade og gavl	0	200 mm facadeisolering	-0,06
Samling facade og tagfod	0	200 mm facadeisolering	-0,08
Konstruktioner			
Gulv type 1	0,52	Gulv type 3	0,18
Gulv type 2	0,24	Gulv type 3	0,18
Facade type 1	1,45	Ny facade type 1	0,18
Facade type 2	0,84	Ny facade type 2	0,16
Facade type 3	0,43	Ny facade type 3	0,14
Facade type 4	0,29	Ny facade type 4	0,12
Tagkonstruktion	0,20	Ny tagkonstruktion	0,09
Samlet optimering på klimaskærmen giver en besparelse på 62 kWh/m ² år			
Installationer		Energibesparelse kWh/m ² år	
Ventilation uden vgv		Ventilation med blowerdoor test 0,7 l/s	25,2
Træpillefyr		Jordvarme	45,2
Gammelt samlet varmetab	210,5	Varmetab efter optimeringer	78,1

Tabel 19 med værdier til 1. optimeringsforslag

Økonomien for ovenstående tabel er følgende

- Klimaskærmsoptimering 690.595,00 kr.
- Installationer 220.815,00 kr.
- Øvrige tiltag 102.000,00 kr.
- 1. optimeringsforslag i alt 1.013.410,00 kr.

Bygherres investering giver en årlig besparelse på 25.541,00 kr.

Beregnet TBT på 35,7 år (øvrige tiltag er ikke medregnet i TBT)

Rentabilitet beregnet til 1,12 (ikke rentabelt) se Bilag C. Excel

2. Optimeringsforslag: minimal klimaskærmsoptimering samt jordvarme og solceller, opnår renoveringsklasse 2.

I nedenstående tabel 20 fremgår alle forbedringer til dette optimeringsforslag samt økonomi for tiltaget.

Gammel konstruktion	U-værdi	Ny konstruktion	U-værdi
Linjetab			
Fundament uden gulvvarme	0,31	Fundament isoleret udvendigt	0,24
Fundament med gulvvarme	0,24	Fundament isoleret udvendigt	0,24
Døre mod fundament	0,89	Fundament isoleret udvendigt	0,89
Vinduer og døre	0,11	Ny opbygning	0,00
Tagvinduer	0,25	Ny opbygning	0,02
Samling facade og gavl	0	50 mm facadeisolering	-0,04
Samling facade og tagfod	0	50 mm facadeisolering	-0,06
Konstruktioner			
Gulv type 1	0,52	Gulv type 3	0,18
Gulv type 2	0,24	Gulv type 3	0,18
Facade type 1	1,45	Ny facade type 1	0,52
Facade type 2	0,84	Ny facade type 2	0,41
Facade type 3	0,43	Ny facade type 3	0,28
Facade type 4	0,29	Ny facade type 4	0,21
Tagkonstruktion	0,20	Ny tagkonstruktion	0,12
Samlet optimering på klimaskærmen giver en besparelse på 47 kWh/m ² år			
Installationer		Energibesparelse kWh/m ² år	
Ventilation uden vgv		Ventilation med blowerdoor test 0,7 l/s	25,2
Træpillefyr		Jordvarme	45,2
Ingen solceller		Solceller 5 kW	15
Gammelt samlet varmetab	210,5	Varmetab efter optimeringer	78,1

Tabel 20 med værdier til 2. optimeringsforslag

Økonomien for ovenstående tabel er følgende

- Klimaskærmsoptimering 470.251,00 kr.
- Installationer 327.296,00 kr.
- Øvrige tiltag 102.000,00 kr.
- 2. optimeringsforslag i alt 899.547,00 kr.

Bygherres investering giver en årlig besparelse på 25.541,00 kr.

Beregnet TBT på 31,2 år (øvrige tiltag er ikke medregnet i TBT)

Rentabilitet beregnet til 1,28 (ikke rentabelt) se Bilag C. Excel

3. Optimeringsforslag: fuld klimaskærmsoptimering samt jordvarme og solceller opnår renoveringsklasse 1.

I nedenstående tabel 21 fremgår alle forbedringer til dette optimeringsforslag samt økonomi for tiltaget.

Gammel konstruktion	U-værdi	Ny konstruktion	U-værdi
Linjetab			
Fundament uden gulvvarme	0,31	Fundament isoleret udvendigt	0,10
Fundament med gulvvarme	0,24	Fundament isoleret udvendigt	0,10
Døre mod fundament	0,89	Fundament isoleret udvendigt	0,00
Vinduer og døre	0,11	Ny opbygning	0,00
Tagvinduer	0,25	Ny opbygning	0,02
Samling facade og gavl	0	200 mm facadeisolering	-0,06
Samling facade og tagfod	0	200 mm facadeisolering	-0,08
Konstruktioner			
Gulv type 1	0,52	Gulv type 3	0,18
Gulv type 2	0,24	Gulv type 3	0,18
Facade type 1	1,45	Ny facade type 1	0,18
Facade type 2	0,84	Ny facade type 2	0,16
Facade type 3	0,43	Ny facade type 3	0,14
Facade type 4	0,29	Ny facade type 4	0,12
Tagkonstruktion	0,20	Ny tagkonstruktion	0,09
Samlet optimering på klimaskærmen giver en besparelse på 62 kWh/m ² år			
Installationer		Energibesparelse kWh/m ² år	
Ventilation uden vgv		Ventilation med blowerdoor test 0,7 l/s	25,2
Træpillefyr		Jordvarme	45,2
Ingen solceller		Solceller 4,8 kW	14
Gammelt samlet varmetab	210,5	Varmetab efter optimeringer	58,6

Tabel 21 med værdier til 3. optimeringsforslag

Økonomien for ovenstående tabel er følgende

- Klimaskærmsoptimering 690.595,00 kr.
- Installationer 367.296,00 kr.
- Øvrige tiltag 102.000,00 kr.
- 3. optimeringsforslag i alt 1.084.891,84 kr.

Bygherres investering giver en årlig besparelse på 27.005,00 kr.

Beregnet TBT på 39,2 år (øvrige tiltag er ikke medregnet i TBT)

Rentabilitet beregnet til 1,02 (ikke rentabelt) se Bilag C. Excel

Opsummering af løsningsforslag

Nedenfor i tabel 22 kan bygherre se og sammenligne de løsningsforslag som er detaljerede ovenfor.

Optimeringsforslag	Varmetab efter optimering	økonomi	Renovering klasse opnået
1 fuld klimaskærm, jordvarme og ventilation m. vgv.	78,1 kWh/m ² år	938.410,18 kr.	2
2 minimal klimaskærm, jordvarme, ventilation m. vgv. og solceller	78,1 kWh/m ² år	824.547,84 kr.	2
3. fuld klimaskærm, jordvarme, ventilation m. vgv. og solceller	58,6 kWh/m ² år	1.084.891,84 kr.	1

Tabel 22 til sammenligning af optimeringsforslag

Konklusion

Det kan konkluderes at bygherre står med en bygning i vedligeholdsmæssig fornuftig stand. Bygningsregisteringen har vist at bygningen har sine udfordringer med fugt, hvor der er konstateret massive kuldebroer og gulve samt skillevægge direkte på jord. Det giver samlet set nogle fugtmæssige udfordringer, som har medført nedbrydning af bjælkerem og bjælkeender mod syd, opstigende fugt, med løst puds på flere indvendige vægge til følge. Der blev fundet to forsatsvægge på skellet i værelse 7 og i køkkenet, begge forsatsvægge er undersøgt med HEAT2, WUFI og USB-loggere og det kan konkluderes at konstruktionen ligger på grænsen til skimmelvækst. Dog kan der ud fra skimmelpøverne, konkluderes at der ikke er skimmel i konstruktionen, de steder prøverne er taget. På den baggrund, er der ikke medregnet en pris på nedrivning af de indvendige konstruktioner og ved udvendig efterisolering, vil fugtbelastningen i forsatskonstruktionerne blive mindre.

BE18 beregningen viser at bygningen har energimærke F, med et energibehov på 210,5kWh/m² år. Bygherres ønske om renoveringsklasse 1 eller 2, kan godt lade sig gøre, selv med en bygning som denne fra 1860. Renoveringsklasse 2 kræver en solid investering i både klimaskærm, ventilation og varmepumpeanlæg. Renoveringsklasse 1 kan opnås ved at tilføje et solcelleanlæg til bygningen i tillæg til renoveringsklasse 2. Fugtproblemerne for bjælkerem og spær, løses samtidig ved udvendig efterisolering, herved fjernes kuldebroer, slagregn kan ikke trænge ind i konstruktionen og bygningen energioptimeres. Det samme gør sig gældende for gulvkonstruktioner, hvor kapillarbrydende gulvisolering, vil hindre opstigende fugt og energioptimere bygningen. Samtidig omlægges 1-stregssystemet til betongulve med gulvvarme, som passer godt til varmepumpeanlægget.

Udgifterne til renovering og øvrige tiltag fordeler sig i kalkulationerne fra den mindste investering på ca.900.000 kr. for renoveringsklasse 2, til den dyreste på ca.1.100.000 kr. til renoveringsklasse 1. Tilbagebetalingstider beregnet fra 31år til 39år, herunder viser kalkulationen, at investeringen ikke er rentabel, med en rentabilitet under 1,33 på alle forslag. Ses er der ud over rentabiliteten, vil investeringen i ejendommen forventet at hæve ejendomsprisen, samt optimere de fugtbelastede konstruktioner og dermed mindske vedligeholdelseskostninger.

Det er undersøgt, hvorvidt bygherres investering er fremtidssikret, og her kan det konkluderes at bygherres ejendom er placeret geografisk godt.

Afløbsanlægget er dimensioneret til at kunne klare fremtidens stigende vandmængder og ved en række mindre tiltag, tilkobling af afløb og udgravning af grøft, vil den smule overfladevand der ligger ved skybrud, kunne ledes forsvarligt bort. Grundvandet ligger ca. 3m under jorden og der er ikke udsigt til markante stigninger, som kan resultere i opstuvning af kloakker.

Kildehenvisninger

Byggeskadefonden (2019). Danske Bygningsmodeller. Lokaliseret d. 23-01-2024 på <https://www.danskebygningmodeller.dk/>

Sikkerhedsstyrelsen (u.å.) sikkerhedsstyrelsen. Lokaliseret den 19-01-2024 på <https://www.sik.dk/>

Trane, U. (2020). Skimmelsvampe i bygninger – undersøgelse og vurdering (SBI-anvisning 274) 1. udgave. København: BUILD, Aalborg Universitet.

Brandt, E. (2023). Fugt i bygninger Projektering og udførelse (SBI-anvisning 278) 1. udgave. København: BUILD, Aalborg Universitet

Gottfredsen og Nielsen (2015). Bygningsmaterialer: Grundlæggende egenskaber 1. udgave 7.oplag Lyngby: Polyteknisk forlag.

Brandt, E. (2013). Fugt i bygninger (SBI-anvisning 224) 2. udgave. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. Aalborg Universitet.

Sedlbauer, K. (2001). Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components. Stuttgart: Fraunhofer Institute for Building Physics.

Thrane, U. (2019). Kompendium til Skimmelsvampe i bygninger København: Statens Byggeforskningsinstitut. Aalborg Universitet.

Hansen og Peuhkuri (2023). Vurdering af fugtforhold bag indvendig efterisolering efter flere års målinger København: BUILD, Aalborg Universitet.

Møller, E. (2016). Småhuse - Klimaskærmen (SBI-anvisning 267) 1. udgave. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. Aalborg Universitet.

Jensen, C. P. (1966) Bygningsreglement for KØBSTÆDERNEOGLANDET København: BOLIGMINISTERIET.

Møller, E. (2012) Efterisolering af småhuse – byggetekniske løsninger (SBI-anvisninger 240) 1. udgave Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. Aalborg Universitet.

Brandt, E. (2023) Fugt i bygninger Teori, beregning og undersøgelse (SBI-anvisning 277) 1. udgave. København: BUILD, Aalborg Universitet.

Danske standart. (2011) Beregning af bygningers varmetab (DS418) 7. udgave København: Danske standart Charlottenlund.

Aggerholm, S. (2011). Bygningers energibehov (SBI-anvisninger 213) 2 udgave. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. Aalborg Universitet.

Vorre, M. (2017). Branchevejledning for indeklimaberegninger 1. udgave, 2. oplag København: Statens Byggeforskningsinstitut. Aalborg Universitet.

Brandt, E. (2015). Afløbsinstallationer (SBI-anvisninger 255) 1. udgave. København: Statens Byggeforskningsinstitut. Aalborg Universitet.

Larsen, P. (2020) BYG-ERFA (19) 20 09 23 Fugt i kældervægge og fundamenter afhjælpning.

<https://byg-erfa.dk/fugt-kaeldervaege-og-fundamenter-afhjaelpning>

Koch, A. (2003) BYG-ERFA (29) 03 07 24 Svampevækst i trækonstruktioner. <https://byg-erfa.dk/svampevaekst-trae>

Mathiasen, M. (2023) BYG-ERFA (99) 23 03 15 Byg-Erfa Fugtundersøgelse af bygninger.

<https://byg-erfa.dk/fugtundersogelse-af-bygninger>

Due, L. (2011) Byg-Erfa (99) 11 12 30 Termografiske undersøgelser – kuldebroer, isoleringsevne og fugt i bygningskonstruktioner.

<https://byg-erfa.dk/termografiske-undersogelser>

Christensen, G. (2005) Byg-Erfa(27) 05 12 29 Uventilerede paralleltage med dampbremse af Hygrodiode.

<https://byg-erfa.dk/uventilerede-hygrodiode>

Vadstrup S. (2002) Gode råd om vinduer i ældre bygninger vedligeholdelse, istandsættelse og energiforbedringer Lokaliseret d. 02-05-2024 på

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

Bilagsfortegnelse

Alle bilag ligger i Zippet mappe (Bilag)

Bilag A. HEAT2 beregninger

Bilag B. Vinduer og dør bestilling

Bilag C. Excel

Bilag D. WUFI

Bilag E. Mail