



AALBORG UNIVERSITET
KØBENHAVN

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

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

Studenterrapport

Uddannelse:

Master i Bygningsfysik

Semester:

4. Semester, F2018

Titel på masterprojekt:

Energirenovering af fuldmurede
bevaringsværdige bygninger

Projektperiode:

Februar 2018 – Maj 2018

Vejleder:

Seniorforsker Eva B. Møller

Seniorforsker Jørgen Rose

Studerende:


Martin Løvstrup Jensen

Antal normalsider:

57,7

Vedlagt kvittering fra Digital Eksamen

Afleveringsdato:

1. juni 2018

Resume:

Rapport har til formål at afdække muligheden for, energioptimering af to eksisterende gymnastiksale på Katrinedals skole.

Energioptimeringen udføres som et led, i kapacitetsudvidelse, opdatering og fremtidssikring af skolen. Det er bygherrens ønske, at energioptimeringen udføres iht. gældende regler for renoveringsklasse 2 i bygningsreglementet 18.

Skolen er tegnet af arkitekten Kaj Gottlob, og klassificeres bevaringsværdige af høj karakter. Derfor er efterisolering udelukkende begrænset til indvendig efterisolering. Da bygningernes facader er opført som en kombination af fuldmurede 1½-stensvægge, og bindingsværk med tegltavl. Erfaringsmæssigt kan indvendige efterisolering af denne type konstruktioner være problematisk at udføre.

Derfor opstilles der fem forskellige løsningsforslag, på baggrund af to udvalgte isoleringsmetoder, med hhv. kappilaraktive isoleringsplader og traditionel forsatsvæg med mineraluld og dampspærre.

Effekten af den indvendige efterisolering afdækkes teoretisk med beregningsprogrammerne WUFI og HEAT2, for at afklare eventuelle situationer der kan medføre kritiske fugtforhold, grundet den indvendige efterisolering

Da bygningerne ikke har været i brug over en længere årrække, er der begyndt at opstå flere forskellige funktionssvigt i bygningernes klimaskærm, hvilket fører til kontinuerlig opfugtningen. Det vurderes at denne opfugtning er en hindring for den indvendige efterisolering, da den vil medføre uforsvarlige fugttekniske forhold. En total renovering af bygningens facader, som standser alle kilderne til opfugtningen vurderes derfor nødvendig.

På baggrund af de udførte beregninger kan det konkluderes, at indvendig efterisolering er mulig med den traditionelle forsatsvæg, under forudsætning af at murværket imprægneres. Den maksimalt tilladelige isoleringstykkelse er på 45mm. Med isoleringstykkelsen, er det muligt at opfylde kravet til renoveringsklasse 2.



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Energirenovering af fuldmurede bevaringsværdige bygninger

KOLOFON

Uddannelsessted	Statens Byggeforskningsinstitut Aalborg Universitet, København A.C. Meyers Vænge 15 2450 København SV
Uddannelse	Master i bygningsfysik
Årgang	4. semester, F2018
Titel:	Energirenovering af fuldmurede bevaringsværdige bygninger
Studerende	Martin Løvstrup Jensen
Hovedvejleder Bivejleder	Seniorforsker Eva B. Møller Seniorforsker Jørgen Rose
Projektperiode	Februar 2018 – Maj 2018
Sprog	Dansk
Antal normalsider, v. 2400 anslag inkl. mellemrum	57,7 normalsider ekskl. bilag
Antal sider i alt	137 sider inkl. bilag 97 sider ekskl. bilag
Version	1.0
Afleveringsdato	01.06.2018

1 Resumé

Rapport har til formål at afdække muligheden for, energioptimering af to eksisterende gymnastiksale på Katrinedals skole.

Energioptimeringen udføres som et led, i kapacitetsudvidelse, opdatering og fremtidssikring af skolen. Det er bygherrens ønske, at energioptimeringen udføres iht. gældende regler for renoveringsklasse 2 i bygningsreglementet 18.

Skolen er tegnet af arkitekten Kaj Gottlob, og klassificeres bevaringsværdige af høj karakter. Derfor er efterisolering udelukkende begrænset til indvendig efterisolering. Da bygningernes facader er opført som en kombination af fuldmurede 1½-stensvægge, og bindingsværk med tegltavl. Erfaringsmæssigt kan indvendige efterisolering af denne type konstruktioner være problematisk at udføre.

Derfor opstilles der fem forskellige løsningsforslag, på baggrund af to udvalgte isoleringsmetoder, med hhv. kappilaraktive isoleringsplader og traditionel forsatsvæg med mineraluld og dampspærre.

Effekten af den indvendige efterisolering afdækkes teoretisk med beregningsprogrammerne WUFI og HEAT2, for at afklare eventuelle situationer der kan medføre kritiske fugtforhold, grundet den indvendige efterisolering

Da bygningerne ikke har været i brug over en længere årrække, er der begyndt at opstå flere forskellige funktionssvigt i bygningernes klimaskærm, hvilket fører til kontinuerlig opfugtningen. Det vurderes at denne opfugtning er en hindring for den indvendige efterisolering, da den vil medføre uforsvarlige fugttekniske forhold. En total renovering af bygningens facader, som standser alle kilderne til opfugtningen vurderes derfor nødvendig.

På baggrund af de udførte beregninger kan det konkluderes, at indvendig efterisolering er mulig med den traditionelle forsatsvæg, under forudsætning af at murværket imprægneres. Den maksimalt tilladelige isoleringstykkelse er på 45mm. Med isoleringstykkelsen, er det muligt at opfylde kravet til renoveringsklasse 2.

2 Abstrakt

The aim of the report, is to uncover the possibility of an energy optimization of two existing gymhall's at Kathrinedal school.

The energy optimization is done, as part of expansion of capacity, updating and future protection of the school. It is the wish of the property owner, that the energy optimization is carried out in accordance with applicable rules for renovation class 2 defined in the Danish building regulation 18.

The school is designed by the architect Kaj Gottlob, and is classified as worth preserving of high grade. Therefore, insulation is exclusively limited to the internal side. Based on experiences the inside insulation of these types of constructions may be problematic to perform, As the facades the buildings are partly made up as a fully walled 1½ stone brick wall and a timbered construction,

Therefore, are five different solution proposals listed, based upon two selected insulation methods. The first with capillary active insulation panels and the second with staggered wall, with mineral wool and a steam barrier. The effect of the inside insulation methods used, is theoretically calculated with the simulation programs WUFI and HEAT2. The programs are used to clarify any situations that may cause critical moisture conditions due to the inside insulation.

Since the buildings have not been used over a long period of time, several different failures have occurred in the buildings' climate screen. This leads to continuous humidification of the facades. It is estimated that this humidification is an obstacle to performing the inside insulation as it will cause moisture conditions that is not acceptable. A total renovation of the building's facades, which stops all sources of humidification, is therefore considered necessary.

Based on the calculations performed, it can be concluded that inside insulation is a possibility with staggered wall solution, provided that the masonry is impregnated. The maximum permissible thickness of the insulation is 45mm. With the insulation thickness, it is possible to meet the requirement for renovation class 2.

Indholdsfortegnelse

1	Resumé.....	1
2	Abstrakt.....	2
	Indholdsfortegnelse	3
1	Indledning	5
1.1	Problemformulering	6
1.2	Afgrænsning.....	6
1.3	Læsevejledning	7
2	Teori.....	8
2.1	Lovgivning ved renovering.....	8
2.2	Efterisolering.....	11
2.3	Varmeteori.....	13
2.4	Fugtteori	17
2.4.1	Hvorfor giver fugt i bygninger problemer?	17
2.4.2	Fugttransport.....	18
2.4.3	Fugt i materialer	22
2.4.4	Kritiske fugtforhold.....	26
3	Beskrivelse af skolen	27
3.1	Bevaringsværdigt byggeri	28
3.2	Skolen generelt	29
3.3	Eksisterende ydervægge	33
4	Metode.....	35
4.1	Undersøgelsesmetoder af bygning	35
4.1.1	Visuel inspektion og granskning	36
4.1.2	Kapacitive fugtmålinger på facaden	36
4.1.3	Logning af inde- og udeklimadata	38
4.1.4	Måling af fugt i konstruktioner med fugthætte	39
4.2	Metode for beregninger	41
4.2.1	Fugttekniske beregninger med WUFI Pro	42
4.2.2	Kuldebrosberegninger i HEAT2.....	45
4.2.3	Energirammeberegninger i BE15.....	46
5	Beregninger	47
5.1	Løsningsforslag til indvendig efterisolering	47
6	Resultater	49
6.1	Visuel inspektion og granskning	49
6.2	Kapacitive fugtmålinger	51
6.3	Inde- og udeklimadata	52
6.4	Måling af fugt i konstruktioner med fugthætte.....	53
6.5	Fugttekniske beregninger i WUFI	55
6.6	HEAT 2 beregninger af linjetab og overfladetemperaturer	69
6.6.1	Lodret detalje – Skel i væg ved skift i facadebånd	69
6.6.2	Lodret detalje – Fundament.....	70
6.6.3	Vandret detalje – Indvendig bærende væg.....	71
6.6.4	Vandret detalje – Stålsøjle i ydervæg.....	72

6.7	BE15 beregninger.....	73
7	Diskussion.....	75
7.1	Eksisterende forhold	75
7.2	Eksisterende konstruktion	77
7.3	Indvendig efterisolering – Type 1.0	80
7.4	Indvendig efterisolering – Type 1.1	82
7.5	Indvendig efterisolering – Type 2.0	84
7.6	Indvendig efterisolering – Type 2.1	86
7.7	Indvendig efterisolering – Type 2.2	86
7.8	Fejlkilder.....	89
8	Konklusion.....	90
9	Bibliografi	92
10	Bilag	94
10.1	Bilag 1.....	94
10.2	Bilag 2.....	95
10.3	Bilag 3.....	100
10.4	Bilag 4.....	104
10.5	Bilag 5.....	109
10.6	Bilag 6.....	111
10.7	Bilag 7.....	114
10.8	Bilag 8.....	117
10.9	Bilag 9.....	121
10.10	Bilag 10	123
10.11	Bilag 11	128
10.12	Bilag 12	130

1 Indledning

I forbindelse med en kapacitetsudvidelse, opdatering og fremtidssikring af Katrinedals Skole i Vanløse, København, skal de to oprindelige gymnastiksale, hver især, renoveres og ombygges til hhv. en ny sal for drama/musik samt en sal til redskabsgymnastik. Bygningerne er pga. manglende anvendelse og vedligeholdelse over en lang periode kraftigt medtaget, og de står derfor foran en gennemgribende renovering, som skal gøre bygningerne brugbare igen.

I forbindelse med renoveringen ønsker bygherren, Københavns Ejendomme, at energiforbruget i bygningen mindskes mest muligt, så renoveringsklasse 2 kan opnås. For at opnå energikravet til renoveringsklasse 2, skal bygningernes energiforbrug reduceres. Reduktionen i energiforbruget skal bl.a. opnås gennem en opgradering af bygningens klimaskærm.

Det er, i forbindelse med renoveringen, et krav fra Københavns Kommune at bygningens oprindelige udtryk bevares da skolen, inkl. de omkringliggende bygninger, er klassificeret som bevaringsværdige af høj karakter. Udvendig efterisolering af bygningernes facader af blankt murværk er derfor ikke en mulighed. Efterisoleringen af facaden, hvis muligt, kan derfor kun udføres på indvendig side.

Der kan i bygningernes klimaskærm konstateres en stor mængde funktionssvigt, hvilket er årsag til at den jævnligt udsættes for opfugtning i forbindelse med nedbør. Funktionssvigt ses specielt koncentreret i og omkring gymnastiksalenes facader, hvilket tilmed har resulteret i, at der flere steder kan registreres en fysisk nedbrydning. Såfremt bygningerne skal energioptimeres ved indvendig efterisolering iht. bygherrens ønske, er det nødvendigt at afdække både hvorledes de nedbrydende processer stoppes samt hvordan det sikres, at de nye konstruktioner og deres materialer ikke unødigt opfugtes og ødelægges.

1.1 Problemformulering

Rapporten vil afdække muligheden for at udføre en energioptimering af eksisterende gymnastiksale på Katrinedals Skole. I den forbindelse, vil rapporten tilmed afdække, hvorvidt kravene til renoveringsklasse 2 jf. bygningsreglementet er mulige at opfylde?

Hvis renoveringsklasse 2 skal imødekommes, skal bygningernes samlede energiforbrug reduceres. Energiforbruget til bl.a. opvarmning er højt pga. varmetabet igennem bygningernes eksisterende klimaskærm. For at reducere varmetabet er det nødvendigt at efterisolere klimaskærmen, så varmen tilbageholdes.

En efterisolering af bygningernes klimaskærm vurderes uproblematisk. Dette dog med undtagelse af ydervæggene, pga. bygningernes eksisterende tilstand samt muligheden for efterisolering, som er begrænset til indvendig side.

Erfaringsmæssigt kan en indvendig efterisolering af teglfacader være risikabel, da materialeegenskaberne for blankt ubehandlet murværk, kan tillade en uhensigtsmæssig opfugtning af de bagvedliggende konstruktioner.

Rapporten vil derfor undersøge; i hvilket omfang bør bygningernes ydervægge efterisoleres i forbindelse med energioptimering til renoveringsklasse 2?

Hvilke risici medfører det, når efterisoleringen kun kan udføres på den indvendige side?

Såfremt den indvendige efterisolering medfører risici, hvilke tiltag er dermed nødvendige for at efterisoleringen kan udføres fugtteknisk forsvarligt ud fra de eksisterende forudsætninger?

1.2 Afgrænsning

I rapporten arbejders der udelukkende med afklaringen af, om det er muligt at udføre en indvendig efterisolering af eksisterende teglfacader.

Rapportens hensigt er derfor at afdække risici, der kan være forbundet med forskelligt udvalgte løsningsmodeller til efterisolering af de eksisterende facader. Risici afdækkes ved fugt- og energitekniske beregninger. Disse benyttes til at analysere om de fremsatte løsningsforslag er hensigtsmæssige, i en konstruktiv sammenhæng med den eksisterende konstruktion og dens randbetingelser.

Risici der fokuseres på er skimmelvækst på materialeroverflader.

Skimmelvækst kan normalt betragtes som en indikator for, om der er sandsynlighed nedbrydende råd- eller svampeangreb. Der udføres ikke supplerende analyser, af andre risikable forhold som f.eks. frostsprængninger af teglsten.

Rapporten tager ikke stilling det økonomiske aspekt, i forbindelse med renovering eller den konstruktive sammenbygning til det tilstødende konstruktioner.

Rapporten tager grundet den ensartede problemstilling, kun udgangspunkt i én af de to eksisterende bygninger, hvilet er drengesalen hvor der fokuseres på ydervægskonstruktionen i selv gymnastiksalen.

1.3 Læsevejledning

Rapporten udarbejdes som beslutningsgrundlag for bygherren, i forbindelse med ønsket om en indvendig efterisolering af det eksisterende murværk.

Rapporten har til hensigt at fremsætte forskellige løsningsmuligheder, hvor risici ved de forskellige løsninger afdækkes. Rapporten er overordnet opdelt i følgende fire dele:

Del 1

Indledning

Problemformulering

Afgrænsning

Baggrundsteori og begreber benyttet i rapporten

Del 2

Præsentation af bygning

Metode for registrering af eksisterende forhold

Metode for fugt- og energitekniske beregninger

Del 3

Præsentation af forslag til renovering

Resultatet af registrering

Resultater af fugt- og energitekniske beregninger

Del 4

Diskussion, gennemgang- og analyse af resultater

Konklusion

Første del benyttes til at definere og afgrænse problemstillingen, som rapporten vil behandle. Yderligere gennemgås den anvendte teori og begreber, i forbindelse med afklaringen af de forskellige løsningsforslag.

Anden del giver en introduktion og gennemgang af bygningernes byggeteknik og stand. Samt metode afsnit for registreringen af de eksisterende forhold og beregninger

Tredje del af rapporten fremsætter en række forskellige løsningsforslag, som efterfølgende beregnes for at kunne afdække fugttekniske risici og energimæssige optimeringer.

Fjerde og sidste del af rapporten analyserer og gennemgår resultatet af de forskellige beregninger. Afslutningsvis vurderes hvilke løsningsforslag, der er hensigtsmæssige at benytte og om løsningen kan opfylde både de fugt- og energitekniske lovkrav i BR18.

2 Teori

Ved renovering af eksisterende byggeri er det essentielt, at en optimering af bygningens energiforbrug udføres fugtteknisk forsvarligt og iht. gældende lovgivning. Når en efterisolering udføres på en eksisterende konstruktion, ændres der på konstruktionens bygningsfysiske forhold. Tages der ikke højde for dette, kan det resultere i store svigt i bygningsdelen. Det er derfor vigtigt, at være opmærksom på flg. parametre:

- Lovgivning
- Temperaturforløb igennem konstruktionen
- Kuldebroer i konstruktionssammensætninger
- Fugtforhold i bygningen og selve bygningsdelen
- Overfladetemperaturer på materialelagene
- Materialernes beskaffenhed og anvendelse
- Byggeteknik

Generelt kan en efterisolering deles op i to hovedgrupper:

- Indvendig efterisolering
- Udvendig efterisolering

Forskellen ligger i, hvilken side af klimaskærmen efterisoleringen udføres på. Resultatet af de to typer er forskelligartet, og de har begge begrænsninger i deres brug.

Udvendig efterisolering vil have en væsentlig indflydelse på bygningernes arkitektoniske udtryk. På baggrund af dette, er denne blevet fravalgt som en løsning, og vil ikke gennemgås nærmere i denne rapport.

2.1 Lovgivning ved renovering

Byggeteknik

I bygningsreglementet BR18 stilles der krav til sikring imod opfugtning af bygningers konstruktioner, som kan medføre risiko for personers sundhed eller skader på bygningen.

Bygninger skal derfor sikres imod fugtakkumulering, som følge af fugtbelastning fra indvendig side. Konstruktioner og kuldebroer skal udføres så disse ikke er årsag til kondensdannelse, da dette kan føre til skimmelvækst.

Bygningernes konstruktioner og klimaskærm skal yderligere sikres imod indtrængning af vand fra nedbør, overflade- og grundvand (Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen, 2018c).

Energikrav ved renovering

En renovering opdeles i bygningsreglementet BR18 i tre forskellige grupper og afhængigt af renoveringstype, kan der i bygningsreglementet stilles krav til en energioptimering af den berørte konstruktion. (Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen, 2018b):

1. Reparationer
 - Mindre ændringer i bygningens konstruktioner som udskiftning af enkelte brædder, pudsreparationer og maling.
2. Ombygning
 - Udskiftning af f.eks. tagdækning eller facadebeklædning.
3. Udskiftning
 - Udskiftning af hele bygningsdele eller komponenter.

Reparationer betragtes som almindeligt vedligehold, og der stilles derfor ikke krav til yderligere efterisolering af konstruktionen.

Ved ombygning kan der stilles krav til energioptimerende tiltag på den pågældende bygningsdel. Kravet til efterisoleringen er dog med det forbehold, at den kun skal udføres i det omfang den er rentabel i forhold til den forventede levetid (Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen, 2018a).

Ved en udskiftning af bygningsdele eller komponenter, er kravene til de dimensionerende minimumsværdier (Bilag 1) ufravigelige, med mindre at energioptimeringen medfører uforholdsmæssige meromkostninger på de tilstødende konstruktioner.

Kravet til energioptimeringen af konstruktionen kan opnås enten ved at overholde mindstekravet for konstruktioner, defineret i BR18, §279, eller ved at overholde kravet til energirammen for renoveringsklasse 1 eller 2. Alene pga. renoveringens omfang anses energirammen iht. renoveringsklasserne, som det mest hensigtsmæssige grundlag for udførelse af energioptimeringen. Udføres energioptimeringen efter renoveringsklasserne, er det muligt at enkelte bygningsdele, f.eks.

ydervæggene, kan udføres med ringere isolerende evne end hvis mindsteværdierne benyttes. Energiforbruget beregnes herved for den samlede bygning, ved brug af renoveringsklasserne. Dette kan vise sig nyttigt i forbindelse med de fugttekniske beregninger, da en reduktion i varmetilskuddet til ydervæggene erfaringsmæssigt kan skabe fugttekniske forringelser i teglfacader.

Renoveringsklasser

I bygningsreglementet 2018 arbejdes der med to renoveringsklasser:

- Renoveringsklasse 1
- Renoveringsklasse 2

Generelt for renoveringsklasserne gælder følgende minimumskrav:

1. Den tilførte energi skal reduceres med mindst 30 kWh/m² pr. år.
2. Energirammen skal eftervises iht. SBI-anvisning 213 – Bygningers energibehov.
3. En andel af energiforbruget skal komme fra vedvarende energi.

I renoveringsklasse 1 stilles der yderligere krav til både energiforbrug (se Tabel 1) samt indeklima ved overholdelse af flg. paragrafer i BR18:

- §382-384 – Elektrisk belysning.
- §386 – Termisk indeklima.
- §443-449 – Ventilation i beboelsesbygninger.

I Tabel 1 vises kravet til resulterende energiforbrug i renoveringsklasse 1 og 2 for bygninger, der betegnes som kontorer, skoler, institutioner og andre bygninger.

Kontorer, skoler, institutioner og andre bygninger	
Renoveringsklasse 1	Renoveringsklasse 2
$71,3 \frac{kWh}{m^2} pr. \text{år} + \frac{1.650 kWh pr. \text{år}}{A}$	$135,0 \frac{kWh}{m^2} pr. \text{år} + \frac{3.200 kWh pr. \text{år}}{A}$
Signaturer: A = Opvarmet etageareal	

Tabel 1: Krav til energiforbrug for hhv. renoveringsklasse 1 og 2 for kontorer, skoler, institutioner og andre bygninger. Kilde: (Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen, 2018a)

Som det fremgår af Tabel 1, er kravet til det samlede energiforbrug for renoveringsklasse 1, ca. halvdelen af kravet til renoveringsklasse 2 og er derfor skærpende.

Til gruppen ”kontorer, skoler, institutioner og andre bygninger”, kan der til energirammen yderligere opnås et tillæg iht. bestemmelserne i SBI-213, som følge af de skærpede krav til fx installationerne og derfor øget energiforbrug.

Kravet til energioptimering kan dog iht. bygningsfredningslovens § 19, stk. 1 fraviges ved renovering af kirker, fredet- eller bevaringsværdige bygninger, såfremt energioptimeringerne har væsentlig indflydelse på bygningens arkitektoniske udformning.

2.2 Efterisolering

I forbindelse med renoveringen af gymnastiksalene, er det bygherrens ønske at reducere bygningernes energiforbrug, så renoveringsklasse 2 som minimum kan opnås. I den forbindelse er det nødvendigt, at bygningens facader efterisoleres.

Indvendig efterisolering kan overordnet udføres ved tre forskellige metoder (Christensen, Koch, & Møller, 2015):

1. Kapillaraktive plade, der tillader fugttransport igennem isoleringsmaterialet ved kapillarsugning og diffusion. Konstruktionen har hygroskopiske og kapillaraktive egenskaber.
2. Traditionel forsatsvæg med damp- og lufttæt plan. Konstruktionen er uden hygroskopiske eller kapillaraktive egenskaber.
3. Hårde isoleringsplader. Konstruktionen er uden hygroskopiske eller kapillaraktive egenskaber.

Til løsningen af den indvendige efterisolering benyttes type 1 med kapillaraktive isoleringsplader og type 2 med traditionel forsatsvæg. Dette er for at undersøge effekten, af de forskellige materialeegenskabers indflydelse, i forbindelse med efterisoleringen.

Ved indvendig efterisolering af ydervægge, har BygErfa udarbejdet en oversigt over (se Tabel 2) hvilke typer af ydervægskonstruktioner, metoderne kan benyttes på. Gymnastiksalenes ydervægge er udført i to dele, hvor den ene del er udført som 1,5 stens murværk og den anden del som bindingsværk med murtavl (Se afsnit 3.3).

Ydervæg	Traditionel forsatsvæg	Kapillaraktive plader, diffusionsåben overfladebehandling	Hårde isoleringsplader med lukket porestruktur	Varm væg (uden kuldebro)
Bindingsværk med tegltavler	Frarådes	Frarådes	Frarådes	Frarådes
Letklinkerbeton	Frarådes	Mulig	Mulig	Frarådes
Porebeton	Frarådes	Mulig	Mulig	Frarådes
Teglmur, halvsten	Frarådes	Mulig	Mulig	Frarådes
Teglmur, halvsten, vinduesbrystning	Mulig	Mulig	Mulig	Frarådes
Teglmur, mindst helsten	Mulig	Mulig	Mulig	Mulig
Beton	Mulig	Mulig	Mulig	Mulig

Tabel 2: BygErfas anbefalinger ved udførelse af indvendig efterisolering af forskellige ydervægskonstruktioner. Kilde: (Christensen, Koch, & Møller, 2015)

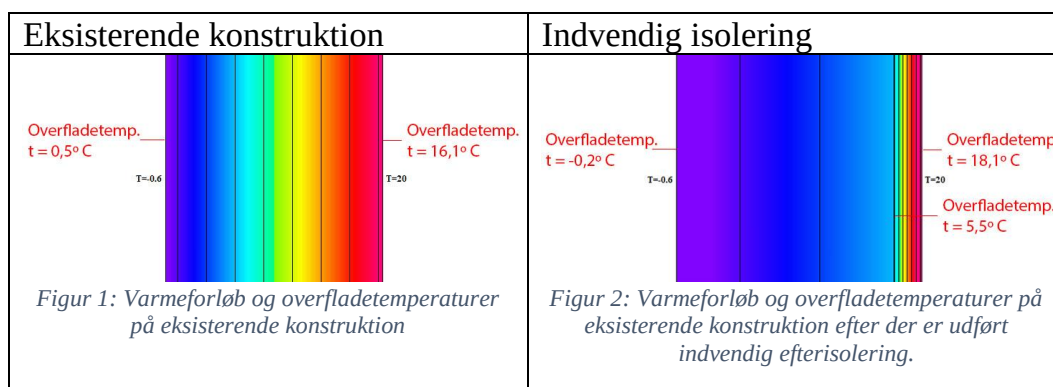
Iht. anbefalingerne fra BygErfa er det på teglmuren muligt, at udføre en indvendig efterisolering med begge isoleringsmetoder. For bindingsværket er det omvendt ikke muligt at benytte nogle af metoderne (Christensen, Koch, & Møller, 2015). Anvisningerne for bindingsværket i Tabel 2, må formodes at være for ydervægge af bindingsværk, som er direkte eksponeret for nedbør. Bindingsværket der benyttes i gymnastiksalenes ydervægge, er fuldt inddækket af eternitplader og er derfor ikke eksponeret for nedbør (se afsnit **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**). Anvisningen giver dog stadig anledning til, at der skal udvises ekstra agtpågivenhed, da bindingsværket kan være et kritisk område ved efterisoleringen. Derfor bør en efterisolering eftervises med beregninger, for at sikre at der ikke opstår forhold der kan medføre nedbrydende mekanismer.

Ved udførelse af indvendig efterisolering er der flere forhold man, i forbindelse med projekteringen, bør være opmærksom på. Indvendig efterisolering af ydervægge (Munch-Andersen, 2008):

- Er byggeteknisk udfordrende at udføre, med risiko for nye eller øgede kuldebroer, da de isolerende lag normalt ikke kan udføres sammenhængende.
- Reducerer varmetilførselen til eksisterende ydervægskonstruktion.
- Kan kræve et nyt sammenhængende damptæt plan afhængigt af isoleringsmetode. Dette kan være et meget omfattende og i nogle tilfælde være næsten umuligt at udføre.
- Reducerer det indvendige areal.
- Øger risikoen for skjult skimmel- og råddannelse som følge af fugtophobning i konstruktionen.
- Berører mange faggrupper, da installationer monteret i eller på ydervæggene også berøres. Eksisterende indvendig bygningsudsmykning skal enten fjernes eller reetableres.

2.3 Varmeteori

Ved indvendig efterisolering af eksisterende konstruktioner, ændres der på de bygningsfysiske forhold for konstruktionen. Konstruktionens oprindelige design, med ringe isolerende evne, tillader store mængder af varme fra indvendig side i at strømme ud igennem konstruktionen. Opvarmningen af bygningsdelen betyder at denne holdes varm, hvilket medfører, at fugtophobninger effektivt kan drives ud af konstruktionen. Fjernes varmetilskuddet, som følge af en indvendig efterisolering, vil både konstruktionen og dens overflader i materialeskel ikke længere blive tilført samme mængde varme, og de vil derfor blive markant koldere. Nedkølingen kan have en negativ effekt, hvilket direkte eller indirekte kan være årsag til svigt i bygningsdelen. Nedkøling kan tilmed have en negativ indflydelse på indeklimaet pga. kuldestråling eller skimmelvækst på kuldebroer.



I Figur 1 ses varmekforløbet igennem en eksisterende 1,5-stens teglvæg ved flg. randbetingelser:

- Udvendig temperatur: $-0,6^{\circ}\text{C}$
- Indvendig temperatur: 20°C

Konstruktionsoverflade	Overflade temperatur [$^{\circ}\text{C}$]
Udvendig side	0,5
Indvendig side	16,1

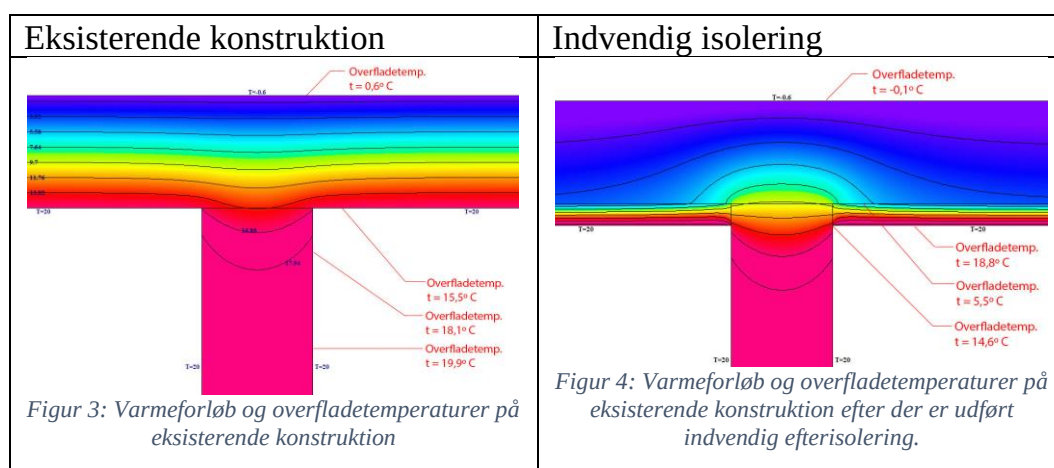
I Figur 2 tilføres et lag klasse 40 isolering i en tykkelse af 50mm, hvilket ændrer temperaturforløbet i konstruktionen.

Konstruktionsoverflade	Overflade temperatur [$^{\circ}\text{C}$]
Udvendig side	-0,2
Materialeskel murværk / isolering	5,5
Indvendig side	18,1

Hvor isothermerne (de sorte lodrette linjer) er jævnt fordelt over hele konstruktionens tykkelse i Figur 1, er disse kraftigt fortættede i det tilføjede isoleringslag i Figur 2. Overfladetemperaturen på indvendig side af murværket, som nu er blevet til materialeskellet mellem murværk/isolering, reduceres fra $16,1^{\circ}\text{C}$ til $5,5^{\circ}\text{C}$ svarende til en reduktion på 65%. Reduktionen i varmetilskuddet til konstruktionen kan både have betydning for, hvor effektivt fugt drives ud af konstruktionens materialeglag samt være årsag til, at der opstår kritiske fugtforhold i materialeskellet (se afsnit 2.4.4). Reduktion i varmetilskuddet har, udover ovenstående, tilmed en vigtig indflydelse på konstruktionssamlingerne.

Kuldebroer

En kuldebro defineres som et område i en konstruktion, der har en markant dårligere isolerende evne end resten af konstruktionen. Kuldebroer er flerdimensionelle, og deres ringe isolerende evne har indflydelse på temperaturforløbet i de omkringliggende konstruktioner, de har forbindelse til.



I Figur 1 og Figur 2 ses isothermer med et ensartet forløb, da disse ikke påvirkes af ændringer i konstruktionens forløb. I Figur 3 ses samme 1,5-stenvæg i mødet med en indvendig bærende teglvæg.

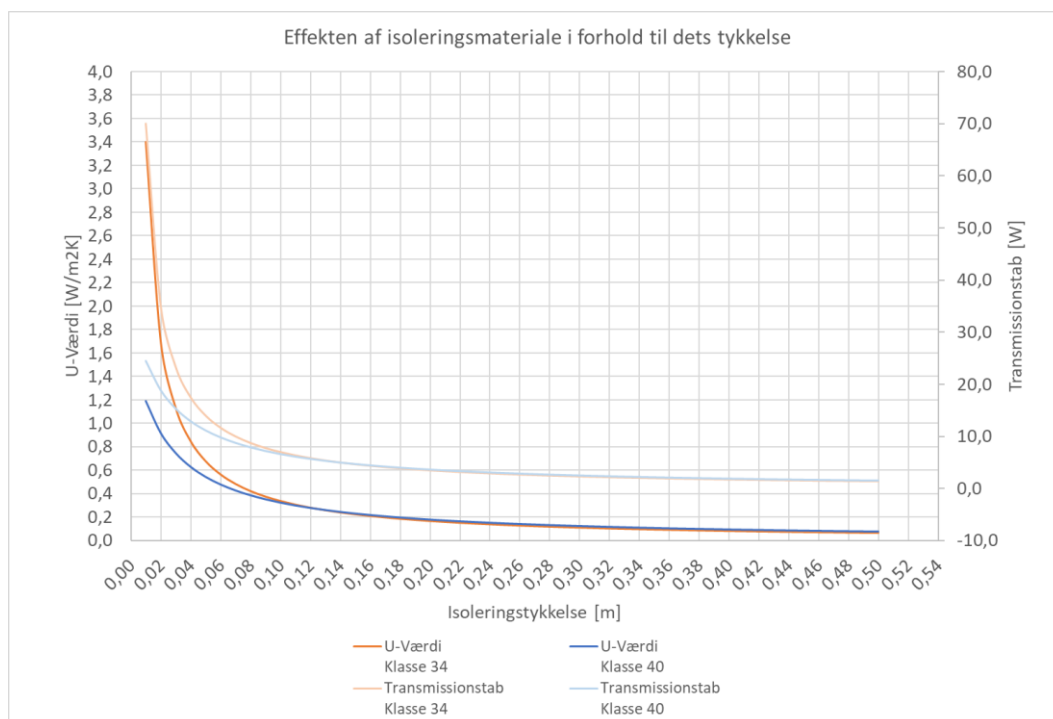
Konstruktionssamlingen mellem de to vægge skaber et ændret forløb i isothermerne, og kuldebroen opstår deraf. Som resultat ses en reduktion i overfladetemperaturerne på den tværgående teglvæg, da varmetabet igennem ydervæggen spredes til den varmere tværgående teglvæg.

I Figur 4 påmonteres en indvendig efterisolering til ydervæggene. Resultatet er et reduceret varmetilskud til ydervæggene. Grundet det reducerede varmetilskud, øges varmetabet igennem konstruktionssamlingen, og overfladetemperaturerne reduceres på den tværgående teglvæg. Den indvendige efterisolering resulterer derfor i en relativt større kuldebro. Reduktionen i overfladetemperaturen kan, hvis de

rigtige forhold er tilstede, resultere i skimmelvækst grundet kritiske fugtforhold samt kuldestråling.

Isolerende effekt kontra tykkelse

Det ønskede resultat af efterisoleringen er, at kunne opnå renoveringsklasse 2. Efterisoleringen skal udføres fugtteknisk forsvarligt, og det kan i den forbindelse være uhensigtsmæssigt bl.a. pga. ovenstående, at udføre efterisoleringen iht. de lovmæssige mindsteværdier i bygningsreglementet. Yderligere vil efterisoleringen reduceres det anvendelige etageareal. Det er derfor vigtigt at afstemme den benyttede isoleringsmængde, med de aktuelle forhold.



Figur 5: Isoleringsevne og transmissionstab afhængigt af tykkelsen på isoleringslag

Tykkelsen på isoleringsmaterialet er ikke nødvendigvis proportionel med effekten for reduktionen af konstruktionens U-værdi. I Figur 5 ses det, at effekten af en øget isoleringstykkelse aftager voldsomt ved tykkelser over 75-80 mm. Effekten af et tykkere isoleringslag begynder at have ganske lille betydning, hvorfor reduktionen i U-værdien og derfor også transmissionstabet reduceres ganske lidt.

Bygningsreglementet anviser, at ydervægge der renoveres, skal isoleres til en samlet mindste U-værdi på $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (se Bilag 1) hvis ikke renoveringsklasserne benyttes. Dette kan opnås med forskellige byggetekniske løsninger. Dog vil valget af isoleringsmateriale kombineret

med mængden af kuldebroer, være afgørende for den resulterende tykkelse på den nye forsatsvæg.

Den eksisterende ydervæg har som udgangspunkt en samlet U-værdi på 1,28 W/m²K iht. nedenstående beregning.

Materialelag	Tykkelse t [m]	Varmeledningsevne λ W/m·K	Isolans R [m ² ·K/W]
Udvendig overgangsisolans		0,000	0,040
Massiv 1,5-stens teglvæg	0,354	0,600	0,590
Indvendigt pudslag	0,02	0,83	0,024
Udvendig overgangsisolans		0	0,13
Summen af isolanser			0,78
U-værdi	1,28 W/m²K		

Tabel 3: Beregnet U-værdi for eksisterende 1,5-stensvæg

For at opnå bygningsreglementets mindstekrav til U-værdi på 0,15 W/m²K, skal efterisoleringen udføres med tykkelser iht. beregningerne i Tabel 4 og Tabel 5.

Materialelag	Tykkelse t [m]	Varmeledningsevne λ W/m·K	Isolans R [m ² ·K/W]
Udvendig overgangsisolans		0,000	0,040
Massiv 1,5-stens teglvæg	0,354	0,600	0,590
Kapillarakktiv isolering Kl. 40	0,23	0,04	5,750
Udvendig overgangsisolans		0	0,13
Summen af isolanser			6,51
U-værdi	0,15 W/m²K		

Tabel 4: Beregnet mindste isoleringstykkelse med kapillarakktiv isolering klasse 40.

Materialelag	Tykkelse t [m]	Varmeledningsevne λ W/m·K	Isolans R [m ² ·K/W]
Udvendig overgangsisolans		0,000	0,040
Massiv 1,5-stens teglvæg	0,354	0,600	0,590
Mineraluld Kl 34	0,2	0,034	5,882
Fibergipsplade	0,015	0,32	0,047
Udvendig overgangsisolans			0,13
Summen af isolanser			6,69
U-værdi	0,15 W/m²K		

Tabel 5: Beregnet mindste isoleringstykkelse med mineraluld klasse 34.

For at opnå mindstekravet til U-værdien er det, for begge isoleringstyper, nødvendigt med dobbelt så store isoleringstykkelser i forhold til anbefalingerne i BygErfA blad (31) 15 11 15. Anbefalingerne er her angivet til en isoleringstykkelse på 100mm ved klasse 37.

Beregningerne inkluderer ikke kuldebroerne i ydervæggen. Det er derfor nødvendigt yderligere at øge isoleringstykkelsen for at kompensere for disse.

2.4 Fugtteori

2.4.1 Hvorfor giver fugt i bygninger problemer?

Følgevirkningerne af længerevarende eksponering for fugt i byggematerialer kan være ganske forskelligartet afhængigt af materialetype. Fælles er dog, at fugt generelt har en væsentlig betydning for materialets levetid, og kan være en væsentlig årsag til skader i bygninger (Brandt, 2013). Fugten kan i sig selv være nedbrydende på et materiale, men kan også være katalysator for en nedbrydende proces.

Opfugtning alene kan resultere i deformationer af materialer som træ, der svulmer op eller stål, der begynder at ruste, hvis ikke det er korrosionsbeskyttet i nødvendigt omfang. Deformationerne resulterer normalt i dimensionsændringer, og de kan medføre sekundære skader på bygningsdele f.eks. revnedannelser i murværk. Skader kan desuden opstå pga. opfugtning af materialer, kombineret med andre fysiske påvirkninger som f.eks. frost eller varme.

Ved eksponering af kraftig frost kan der opstå problemer i opfugtede teglvægge, da tegl kan frostsprænge. Vand i tegl vil pga. eksponeringen af frost fryse til is, hvilket skaber interne spændinger i teglet. Spændingerne opstår pga. vandets evne til at udvide sig i forbindelse med faseskift fra flydende til fast form. Med tiden kan dette i nogle sten skabe mindre revnedannelser, som i første omgang ikke viser sig problematiske. Problemet opstår når situationen er gentagende grundet det danske klima, som har mange temperaturforløb over og under 0° C. Den gentagende proces svækker løbende teglstenen og vil efter en længere periode resultere i, at teglstenenes overflade afskaller (Teknologisk Institut, 1999).

Skimmelvækst er betinget af at fugt og varme er tilstede. Dette er nærmere beskrevet i afsnit 2.4.4.

Skimmelsvamp har i sig selv ikke nævneværdig nedbrydende effekt på konstruktionerne, men kan i de rette koncentrationer have en negativ indflydelse på bygningers indeklima. Hvis opfugtningen er kraftig nok, kan skimmelvækst være et forstadie til nedbrydende råd- eller svampedannelse, som kan have negativ indflydelse på konstruktionerne (Brandt, 2013).

Ovenfor nævnte eksempler er ikke udtømmende, men kun et meget lille udpluk af de forskellige nedbrydende processer, der kan opstå i materialer og konstruktioner som følge af fugt. Det er derfor vigtigt, at bygningers klimaskærm dimensioneres og udføres iht. omgivelsernes belastninger.

Opstår der kritiske fugtforhold, kan opfugtningen sprede sig inde i lukkede konstruktioner, med ganske store økonomiske og sundhedsmæssige konsekvenser (Brandt, 2013).

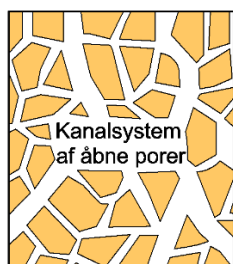
2.4.2 Fugttransport

Fugttransport kan enten foregå ved transport i luft ved konvektion, diffusion som er molekylærbevægelser eller ved kapillarsugning i materialers porestruktur.

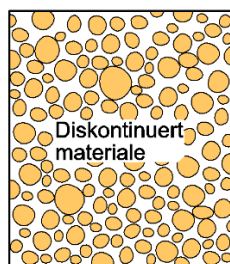
Porestruktur

Fugttransport i materialer er betinget af deres porestruktur. I indeværende rapport arbejdes der med efterisolering af teglydervægge med hhv. kapillaraktive plader af porebeton og mineral. Porestrukturen i tegl, porebeton og mineralulden er alle diffusionsåbne, og de tillader derfor alle tre transport af fugt igennem materialet. Forskellen på materialerne skal findes i hvordan deres porestrukturen er sammensat.

Porestrukturen i både teglsten og porebetonen er et sammenhængende åbent system af pore. Mineralulden består af mange lag af fibre, der ligger oven på hinanden lag for lag og skaber en diskontinuert porestruktur (Brandt, 2013).



Figur 6: Materiale med åbent og sammenhængende porersystem



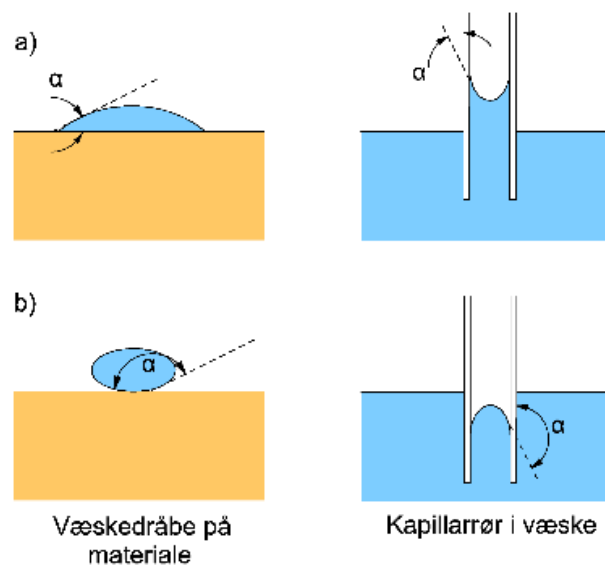
Figur 7: Diskontinuert materiale med stor andel af luft

Fugttransport kan i tegl og porebeton, der har et åbent og sammenhængende poresystem, foregå ved enten kapillarsugning eller diffusion. For mineralulden, der er et diskontinuert materiale, kan fugttransporten ske ved konvektion, diffusion og i meget ringe grad ved kapillarsugning ved eksponering vandtryk. Påvirkes alle materialer for et konstant vandtryk, vil alle tre typer af materialer, blive opfugtet i forskellig grad som følge af kapillarsugning.

Kapillarsugning

Kapillarsugning af fugt opstår i materialer med en porestruktur og fordeling, der tillader fugt i at trænge ind i materialet. Dette kunne eksempelvis være teglsten eller porebeton. For at kapillarsugning kan indtræde, skal materialet udsættes for et konstant vandtryk, eller være i direkte kontakt med et kraftigt opfugtet materiale.

Så længe dimensionen på et materiales porer er større end diameteren på et vandmolekyle, er det muligt for materialet at optage fugt. Opsugningen af fugten til materialet sker på baggrund af vandmolekylernes kohæsiions- og adhæsiionskræfter. Kohæsiionskræfter sikrer at vandmolekylerne internt hænger sammen, alt imens adhæsiionskræfterne sørger for kontakten mellem vandmolekylerne og materialet (Brandt, 2013).



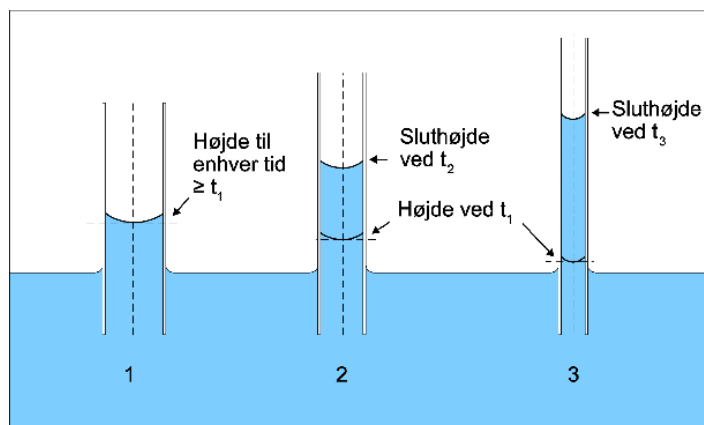
Figur 8: Kontaktflades størrelse for en dråbe vand afhængigt af kontaktvinklen. Kilde: (Brandt, 2013)

Grundet kohæsiionskræfterne, vil en vanddråbe med dårlig adhæsiion til et materiales overflade danne en dråbeform med en lille kontaktflade til materialet (Se Figur 8, pkt. b). Dette defineres også ved, at kontaktvinklen ” α ” er stor. Hvis der omvendt er god adhæsiion mellem vanddråben og materialet, vil kontaktfladen være stor og kontaktvinklen lille.

Både tegl og porebeton danner begge en lille kontaktvinkel til vand, jf. Figur 8 pkt. a, og er derfor begge gode til kapillarsugning af vand, pga. deres porestruktur. Omvendt er glas og metal ringe til kapillarsugning, pga. deres meget lukkede porestruktur, hvilket resulterer i en stor kontaktvinkel Figur 8 pkt. b.

Hvis vandoptaget i et materiale med gode kapillarsugende egenskaber, som teglsten, ønskes reduceret, kan dette gøres ved at udføre en imprægnering af murværket f.eks. med siloxan. Imprægneringen giver murværket hydrofobierende egenskaber, hvilket reducerer teglens egenskab til kapillaropsugning, da kontaktvinklen mellem tegl og vand øges markant. Fugttransport på teglvægens udvendige side er, efter en imprægnering, hovedsageligt reduceret til kun at ske via diffusion.

Det er derfor meget vigtigt at sikre facaden mod utætheder, da disse kan opfugte facade kraftigt, da affugtning af facaden hovedsageligt sker ved diffusion efter udført imprægnering.



Figur 9: Forskel i stighøjden afhængigt af dimensionen på materialets porestruktur. Kilde (Brandt, 2013)

Stighøjden for opfugtningen i et byggemateriale samt hastigheden for opfugtningen, er betinget af dimensionen af materialets porestruktur og fordeling (Brandt, 2013). Materialer med en grov porestruktur, som f.eks. tegl, vil inden for en kort tidsperiode blive kraftigt opfugtet ved nedsænkning i vand grundet den lille kontaktvinkel mellem vand og teglstenen (se Figur 9 pkt. 2). Stighøjden i materialet er betinget af tidsperioden materialet opfugtes, kombineret med finheden af porestrukturen (se Figur 9 pkt. 3). Adhæensionskræfterne mellem vand og materialet er mindre i grove porestrukturer end i fine, og derfor begrænses stighøjden. Forskellen på stighøjden betyder, at et materiale med en fin porestruktur har evnen til at suge fugten ud af de mere grove materiale. Eksempelvis vil en facadepuds kunne suge fugten ud af en opfugtet teglvæg. Den vil også, i et begrænset omfang, kunne beskytte den imod opfugtning pga. hastigheden for optagelsen af fugt i materialet.

Diffusion

For fugttransport ved diffusion er det forskellen i vanddamptrykket / vandindholdet i luften, der er den drivende faktor. Diffusion opstår, da molekyler i gas har evnen til at bevæge sig frit og uafhængigt af hinanden. Derved sker der automatisk en jævn fordeling af de forskellige gasmolekyler der er tilstede i luften. Områder med større koncentrationer vil drive molekylerne ud i områder med mindre koncentrationer. Det er denne automatiske opblanding, pga. potentialeudligning fra høje imod lave koncentrationer, der defineres som diffusion (Brandt, 2013).

Fugttransport igennem et materiale ved diffusion sker under forudsætning af, at materialet har en porestruktur og fordeling, der tillader vanddamp i at trænge igennem det. Mængden af vanddamp, der kan transporteres igennem et materiale, defineres ved vanddampdiffusionsmodstanden. Diffusionstætheden, også kaldet Z-værdien, er et udtryk for mængden af

vanddamp, der kan transporteres igennem et materiale med en given tykkelse (Brandt, 2013).

$Z_p = \frac{d}{\delta_p} \left[\frac{GPa \cdot s \cdot m^2}{kg} \right]$
Z_p = Z-værdi (vanddampdiffusionsmodstanden) d = Tykkelsen af materialelaget δ_p = Materialets vanddamppermeabilitet $\left[\frac{kg}{m \cdot s \cdot Pa} \right]$

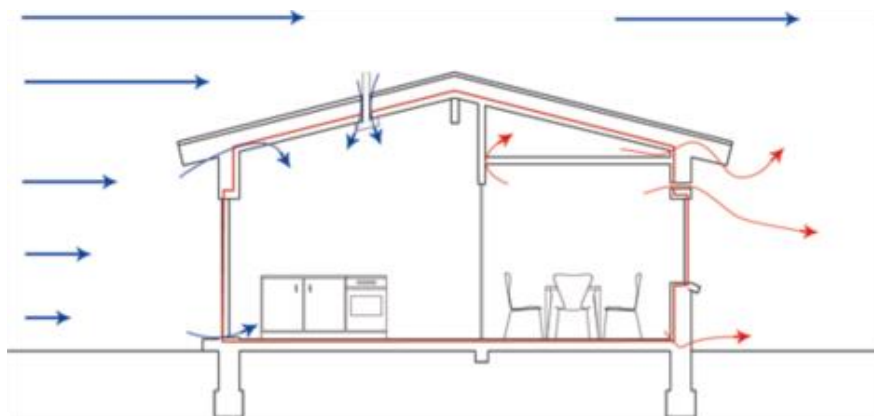
Det kan derfor i nogle tilfælde være vigtigt at udføre et diffusionstæt plan, som sikrer imod indtrængning af fugt i konstruktioner. Dette er specielt vigtigt ved brugen af en traditionel forsatsvæg. Da konstruktionen ikke har kapillaraktive egenskaber, vil en evt. opfugtning kun kunne fjernes ved diffusion, da konvention i konstruktionen ikke er ønskværdigt. Diffusion er drevet af potentiale udligning og transport væk fra konstruktionen, vil kun ske i perioder, hvor den udvendige damptryk er højere end den indvendige.

Konvektion

Ved konvektion er det forskelle i atmosfærisk tryk, der er den drivende faktor for fugttransporten (Brandt, 2013). Trykforskelle i bygninger kan være forårsaget af:

- Udvendigt vindtryk.
- Temperaturforskelle som giver termisk opdrift.
- Lufttryk fra bygningens ventilationssystem.

Konvektion opstår derfor pga. fysisk transport af luft fra et sted til et andet. Fugttransport ved konvektion kan blive problematisk, såfremt luften og dens fugtindhold drives ind gennem utætheder i konstruktioner, hvor det kan kondensere på kolde overflader, hvilket øger risikoen for at der opstår kritiske fugtforhold (se pkt. 2.4.4).

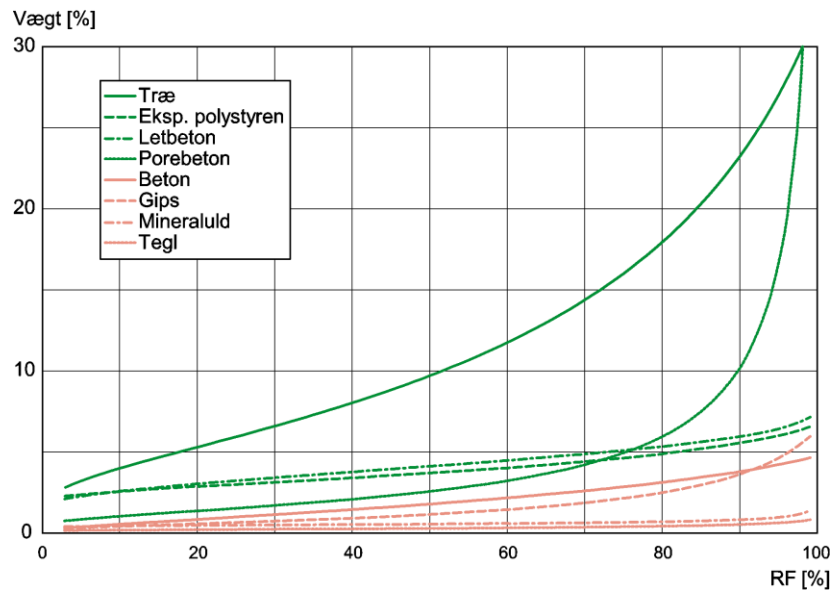


Figur 10: Vindpåvirkning af bygninger tillader fugttransport ved konvektion. Kilde (Rasmussen & Nicolajsen, 2013)

Det er derfor vigtigt, at der i konstruktioner sikres med et vindtæt plan. Efter dansk byggeskik, plejer dette at blive kombineret med det damptætte plan.

2.4.3 Fugt i materialer

Byggeteknisk er fugtindholdet i materialer normalt betinget af fugttransport ved enten konvektion, kapillarsugning eller diffusion. Mængden af fugt, som et materiale kan optage, er afhængigt af materialets type, porestruktur og fordeling samt omgivelsernes randbetingelserne. Medmindre materialet nedsænkes i vand og derved er udsat for et konstant vandtryk, er mængden af fugt, som materialet optager, afhængigt af den relative luftfugtighed (Brandt, 2013). Op- eller affugtningen af materialer sker afhængigt af ikke-stationære strømninger, som følge af skiftende temperatur og relativ fugtighed i både det ind- og udvendige klima. Både temperatur og relativ luftfugtighed i det omkringliggende klima ændres kontinuerligt, da disse ikke er stationære forhold. Materialer vil, i den forbindelse, løbende enten afgive eller optage fugt til og fra omgivelserne i forsøget på hele tiden at opnå fugtlige vægt med dets omgivelser (Brandt, 2013).



Figur 11: Skematiske sorptionskurver for almindelige byggematerialer. Kilde (Brandt, 2013)

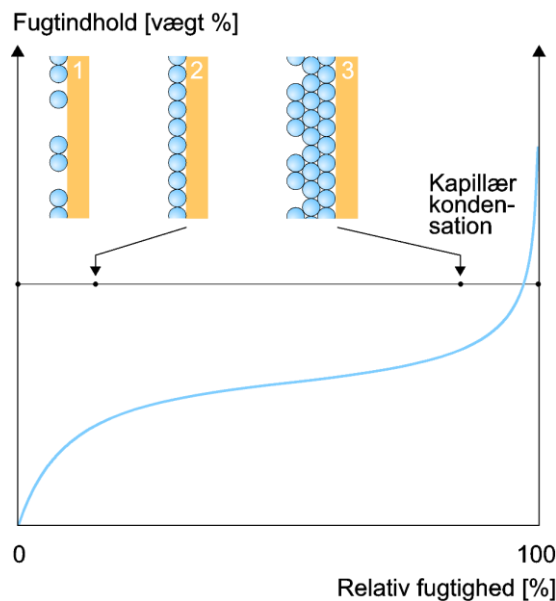
I Figur 11 ses sorptionskurverne for almindeligt benyttede byggematerialer. Som det ses på figuren, er der stor forskel på mængden af fugt, som et materiale kan optage ved en given relativ luftfugtighed. Forskellen på træ og beton ved 50% RF er specielt stor, da træ kan indeholde ca. 10 vægt %, hvor beton kun optager ca. 3-4 vægt %. I takt med at den relative luftfugtighed stiger, ses der en kraftig eksponentiel vækst i vægt % i specielt træ, men kun i begrænset omfang i beton. Dette er et udtryk for at effekten af adsorption og kapillarkondensation, som i bl.a. træ, kan have en væsentlig indflydelse på materialets fugtindhold, grundet dets poresystem og fordeling.

Fugt kan overordnet bindes i materialer ved enten kemiske- eller fysiske bindinger. Når der arbejdes med fugt i bygninger anses kemiske bindinger ikke som relevante, og der arbejdes derfor udelukkende med fysisk bundet fugt i materialer. Processerne for fysisk bundet fugt i byggematerialer kan inddeles i følgende to hovedgrupper:

1. Adsorption
2. Kapillarkondensation

Adsorption

Materialer med enten lukket- eller åben porestruktur samt diskontinuerte materialer, vil i en vis grad, afhængigt af type, have fugt bundet i sig. Mængden af fugt der bindes i materialet, er meget afhængig af materialets porestruktur og fordeling samt omgivelsernes relative luftfugtighed (RF). Ved adsorption bindes fugt naturligt til overfladen i materialets porestruktur. Fugten bindes i lag af vandmolekyler pga. adhæsiionskræfterne imellem vandmolekylet og materialeoverfladen.



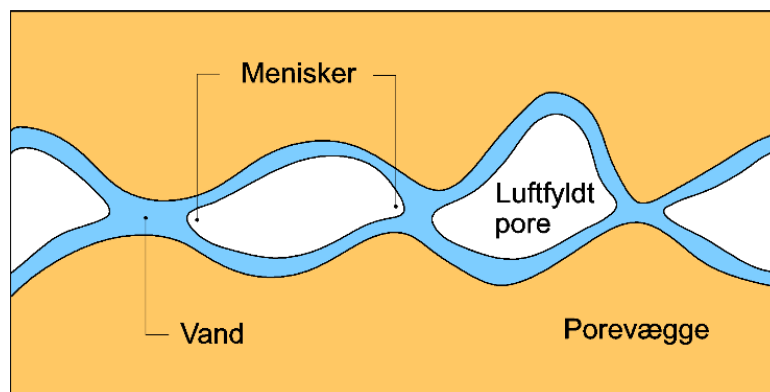
Figur 12: Materialet porestruktur fyldes med vand, i takt med at det relative fugtniveau stiger. Ved pkt. 3 opstår kapillærkondensation, hvilket kraftigt øger fugtoptaget i materialet. Kilde: (Brandt, 2013)

Figur 12 viser, at der ved en lav relativ fugtighed, kun bindes et tyndt lag af vandmolekyler. Dette vil, i takt med at den relative fugtighed stiger, øges med helt op til 30 molekylelag (Brandt, 2013).

Mængden af fugt der kan bindes i et materiale er afhængigt af materialets specifikke overfladeareal, hvilket er inkl. overfladerne af materialets porestruktur. Dette kan spænde vidt og kan derfor variere fra 0 til flere hundrede m^2 pr. kg materiale (Brandt, 2013). Der kan derfor ses en direkte forbindelse mellem et materiales specifikke overfladeareal og materialets fugt vægt%, som bl.a. kan aflæses i en materialespecifik sorptionskurve. Binding af fugt via adsorption er afhængigt størrelsen på kontaktvinklen " α ", da dette er et udtryk for adhæsiionskræften imellem en væske og materialets overfladeegenskaber (se Figur 8).

Kapillarkondensation

Kapillarkondensation er en følgevirkning af adsorption. Den opstår når lagene af vandmolekyler er blevet så tilpas tykke pga. stigende RF, at de rammer hinanden. Denne situation opstår fordi kapillarrørene i materialer varierer i både form og dimension (se Figur 13).



Figur 13: Kapilarkondensation pga. dannelse af menisker i materialets porestruktur. Kilde: (Brandt, 2013)

Opstår der kontakt imellem de to modsatrettede overflader, dannes en konkav form, også kaldet menisk, pga. overfladespændingen i vand. Vandmolekylerne tiltrækkes med større kraft omkring den konkave overflade, end hvis de ramte en plan overflade. De vil derfor kondensere nemmere. Denne situation kan opstå ved en relativ luftfugtighed, der er væsentligt under en relativ luftfugtighed på 100% (Brandt, 2013). Effekten af dette ses på sorptionskurven i pkt. 3 på Figur 13.

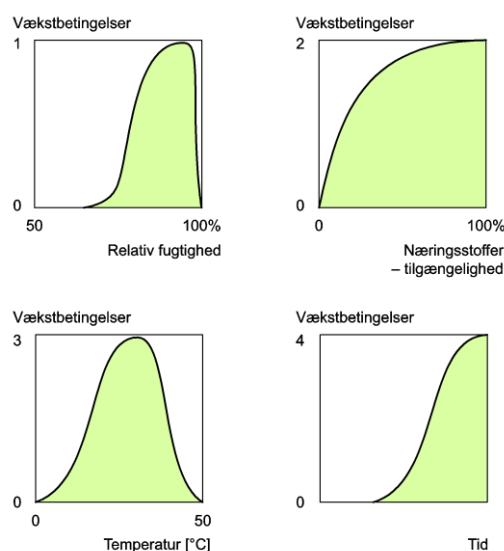
Osmotiske kræfter

Fugt kan yderligere kemisk bindes til et materiale vha. osmotiske kræfter. Osmotisk binding opstår i materialer pga. indhold af salte. Normalt er dette ikke et problem i byggematerialer, da det naturlige saltindhold i almindelige byggematerialer til brug i fugtige omgivelser er meget lavt. Koncentrationen af salte i materialer kan dog øges ved længere tid eksponering for salte og fugt. Dette kan f.eks. ske som en kombination af kapillarsugning (se pkt.2.4.2) af vand med højt saltindhold. Saltindholdet kunne eksempelvis stamme fra saltning af udearealer i vinterperioder eller ved en langvarig eksponering af urin, hvor salte udskilles som et affaldsstof fra kroppen.

Tøsalt der består af natriumklorid, benyttes normalt til at sænke vands frysetemperatur og derved ændre sne og is fra fast til flydende form. Når vandet skifter til flydende form, vil det være i stand til at optage saltet og overfører dette til f.eks. en teglfacade, hvis der er direkte kontakt mellem denne og terrænoverfladen. Over tid vil vandet fordampe og saltionet Cl^- efterlades og må binde sig til modsat ladede ioner inde i teglvæggen. Dette betyder, at den udfældes som et krystal (Parbo, Nyvad, & Mortensen, 2008). Processen kan blive selvforstærkende da en øget saltkoncentration øger fugtoptaget. Saltkoncentrationen i materialet vil stige i takt med at processen med opfugtning og udtørring gentages over en længere periode. Efter længere tids påvirkning, kan der i stenmaterialer opstå et krystaltryk som kan medføre afskalninger (Teknologisk Institut, 1999).

2.4.4 Kritiske fugtforhold

I denne rapport benyttes udtrykket kritisk fugtforhold for fugtniveauer, der kan give anledning til skimmelvækst. For at der kan opstå vækst af skimmelsvampe, skal flere parametre være tilstede. Vigtigst er det, at der er næringsstoffer og fugt tilstede. Yderligere har temperatur og tid også en væsentlig indflydelse på skimmelvækst.



Figur 14: Forudsætningen for skimmelvækst er bla. betinget af parametre som relativ fugtighed, næringsstoffer, temperatur og tid. Yderligere har skimmeltpe samt materialet hvor skimmelen vokser, også en indflydelse på risikoen for skimmelvækst.

Forudsætningerne for skimmelvækst vil variere alt efter skimmel- og materialetypen, det vokser på. Værdierne for parametrene fugt, næringsstof, temperatur og tid vist i Figur 14 som er nødvendige for vækst, varierer alt efter situation. Derfor anvendes der normalt en grænse for det tilladelige fugtniveau på maksimalt 75% relativ fugtighed, da dette erfaringsmæssigt er grænseværdien for, hvornår der opstår skimmelvækst i på et materiales overflad (Brandt, 2013).

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

Tabel 6: Eksperimentelt fastsatte kritiske niveauer for skimmelvækst afhængigt af materialeoverflade, ved lang tids påvirkning ved 20°C. Kilde: (Brandt, 2013)

Ved vurdering af risikoen for skimmelvækst, kan værdierne i Tabel 6 anvendes til at bestemme risikoen for skimmelvækst. Værdierne er dog defineret for rene materialer med undtagelse af det nederste. Derfor kan tabellen kun benyttes, såfremt der er kendskab til materialernes beskaffenhed samt risikoen for forurening, som følge af eksponering for næringsstoffer.

3 Beskrivelse af skolen

Katrinedals skole er tegnet af arkitekten Kaj Gottlob, og er opført i 1935. Kaj Gottlob er en fast del af det Københavnske bybillede, da han bl.a. har tegnet:

- Ørstedhus v. Åboulevarden (1934)
- De ikoniske Københavnske inderhavnsbroer Knippelsbro og Langebro (slut 1930erne)
- Universitetsparken v. Nørrefælled (1954-57) hvor han tegnede Tandlægeskolen, Zoologisk Museum og Egmont H. Petersen kollegiet.

Kaj Gottlob har foruden ovenstående også beskæftiget sig en del med det Københavnske skolebyggeri, da han foruden Katrinedals Skole (1935) har tegnet skolerne Højdevangens skole (1930), Skolen ved Sundet og Friluftsskolen (1937) (Slots- og Kulturstyrrelsen, 2018).

Katrinedals skole der ses på Figur 15, blev opført som Københavns første aulaskole og stod færdig i 1935. Den er sammen med Skolen ved Sundet på Figur 16 og Friluftsskolen på Figur 17 opført i funktionalistisk stil.

Mantraet i funktionalismen er lys og luft, som sammen skal danne grundlag for at skabe sundhed og velvære. Både Katrinedals Skole samt Skolen ved Sundet er opført som aulaskoler og er med deres funktionalistiske stil opbygget omkring en aula, som et opgør med den hidtidigt dominerende korridorskole.



Figur 15: Katrinedals Skolen, Kaj Gottlob 1935, Bevaringsværdigt byggeri 1995



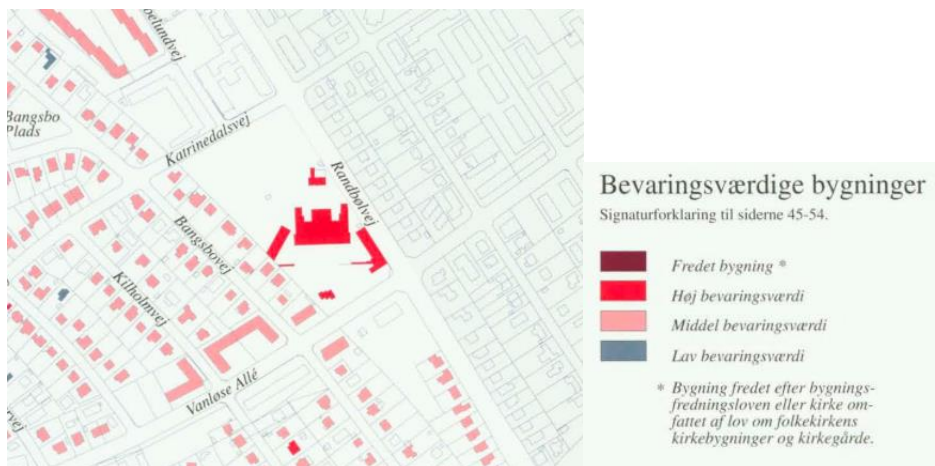
Figur 16: Skolen ved Sundet, Kaj Gottlob 1937-38, Fredet 1990



Figur 17: Friluftsskolen, Kaj Gottlob 1937-38, Fredet 1990

3.1 Bevaringsværdigt byggeri

På Figur 18 ses det, at hele den eksisterende bygningsmasse fra 1935 er, iht. bydelssatlasset for Vanløse og Grøndal, indekseret iht. SAVE-metoden, som byggeri af høj bevaringsværdi. På en skala fra 1 til 9, hvor 1 er udtryk for højeste bevaringsværdi, er hovedbygningen indekseret med bevaringsværdi 2 og de omkringliggende bygninger i bevaringsklasse 3 (Miljøforvaltningen, 2014).



Figur 18: Udklip af Bydelatlas Vanløse, 1995 (Kjærsgaard, 1995)

Bygningerne kan pga. deres arkitektoniske samt kulturhistoriske betydning enten udnævnes som fredet eller bevaringsværdigt byggeri. En bygning udnævnes som fredet, såfremt byggeriet har en speciel arkitektonisk eller kulturhistorisk kvalitet af national betydning. For bevaringsværdige bygninger er dette begrænset til regional eller lokal betydning.

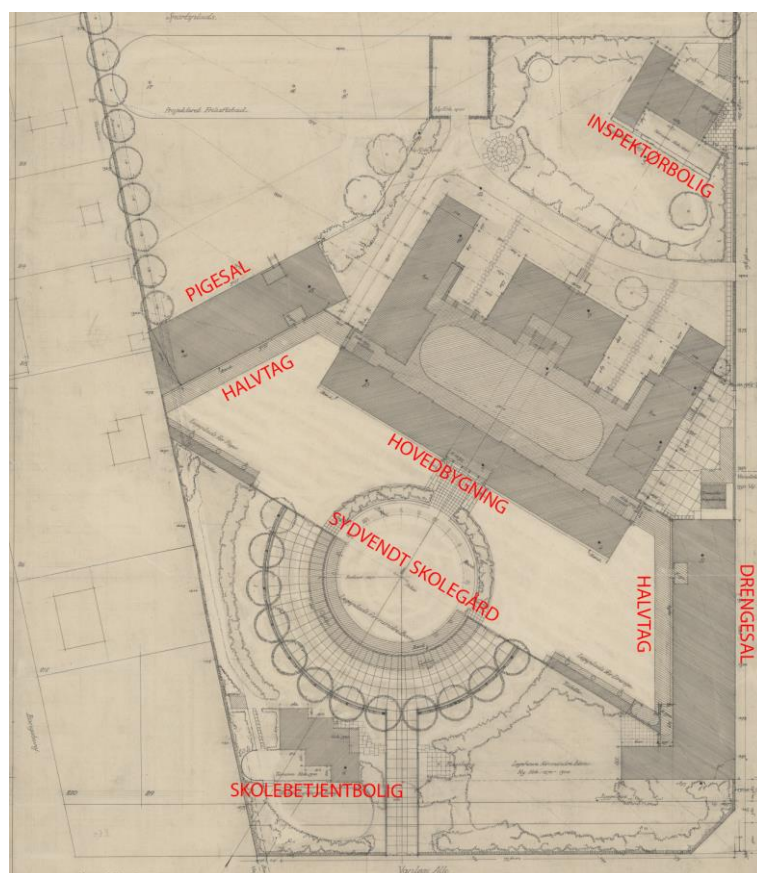
For betegnelsen fredet byggeri gælder fredningen for både den ind- og udvendige del af en bygning, og den bliver administreret af staten. Bevaringsværdige bygninger forvaltes af den kommune, bygningen er placeret i og er kun gældende for bygningens ydre (Slots- og Kulturstyrrelsen, 2018). Såfremt bygningsejeren ønsker at ændre på bygningens ydre, er det normalt muligt at indgå i en dialog med den

kommunale forvaltning. Chansen for at få en godkendelse til at ændre på bygningens ydre, reduceres dog normalt i takt med at indekseringen af bygningens bevaringsværdi stiger.

Katrinedals skole er indekseret som bevaringsværdig af høj karakter, iht. bydelsatlas for Vanløse og Grøndal. Dette er årsag til, at både kommune samt bygherren ikke ønsker at ændre på bygningens udvendige facadeudtryk. Derfor er det i forbindelse med renoveringen kun muligt at ændre på de indvendige konstruktioner samt de udvendige konstruktioner, som ikke er synlige, så bygningen ikke ændrer arkitektonisk udtryk.

3.2 Skolen generelt

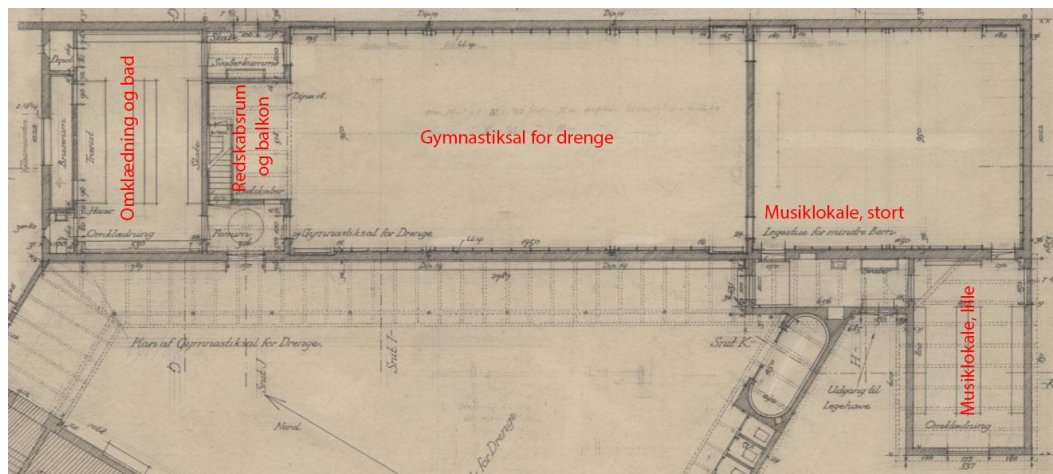
På Figur 19 ses placeringen af de forskellige bygninger som skolen består af. Hovedbygningen er med sine 5 etager skolens højeste punkt, og danner midtpunkt for en nedtrapning i bygningshøjden til de omkringliggende bygninger. De omkringliggende bygninger danner, sammen med hegnsmure, læ for og omkranser skolens sydvendte cirkulære skolegård. Skolen består oprindeligt af i alt fem bygninger; en hovedbygning, to kønsopdelte gymnastiksale, en tumlesal for mindre børn og to boliger til hhv. skoleinspektøren og skolebetjenten.



Figur 19: Situationsplan, Katrinedals Skole, Kilde: Scan af original tegning, hentet fra filarkiv.dk

Skolen er hovedsageligt opført i røde teglsten, men er enkelte steder som f.eks. ved trappekernerne udført med gule teglsten. Enkelte steder er der også udført pudsede overflader. Bygningernes facader er alle stramt optegnet af store kvadratiske vinduespartier, der tillader store mængder af lys i at strømme ind i både klasse- og faglokaler. Bygningernes tagkonstruktioner er udført med ensidigt fald med lav hældning og tagpapdækning.

Gymnastiksalene er oprindeligt opført som tre sale, hvor de to er kønsopdelte sale til ældre børn, og en fælles sal for de mindre børn som er udført i forlængelse af drengesalen (nu stort musiklokale, se Figur 20). Til de ældre børn er der i begge sale opført omklædningsrum med badefaciliteter, hvor der til de små børn udelukkende er omklædning (nu lille musiklokale). I salene til de store børn, er der redskabsrum i terrænplan med balkon ovenover.

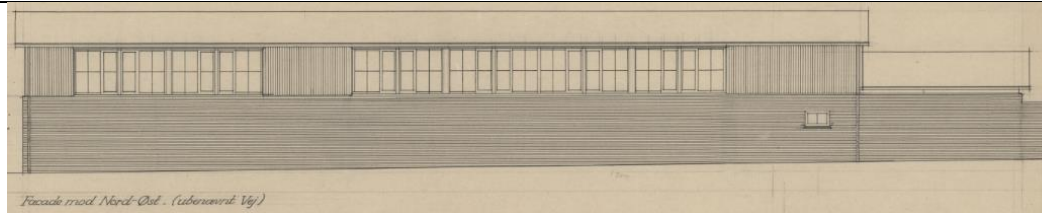


Figur 20: Plantegning af drengesal samt legestue for småbørn, Kilde: Scan af original tegning, hentet fra filarkiv.dk

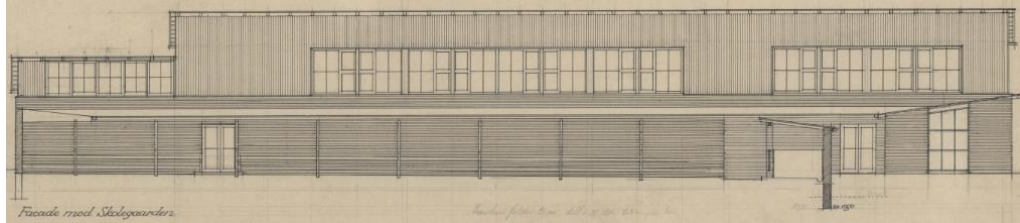
Figur 21 til Figur 24 viser bygningens facader. Facaderne er opdelt i to facadebånd, hvor det nederste er udført i røde håndstrøgne teglsten og den øvre del lodretstående eternitplader. Gymnastiksalenes store vinduespartier er placeret i det øvre facadebånd.

Gymnastiksalene er fritstående bygninger, der er forbundet med skolens hovedbygning gennem et halvtæg, der sikrer, at eleverne kan komme tørskoet til gymnastik.

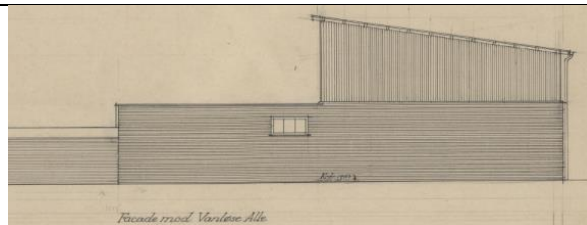
Eksisterende tegninger – Facadeopstalter



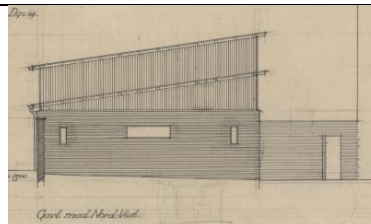
Figur 21: Facadeopstalt – Nordøst, Kilde: Scan af original tegning, hentet fra filarkiv.dk



Figur 22: Facadeopstalt – Sydvest, Kilde: Scan af original tegning, hentet fra filarkiv.dk



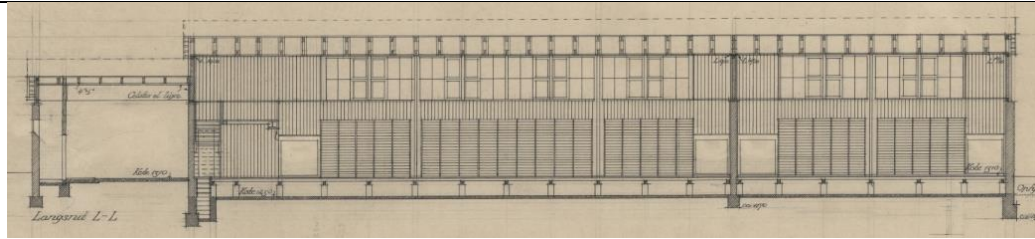
Figur 23: Facadeopstalt – Sydøst, Kilde: Scan af original tegning, hentet fra filarkiv.dk



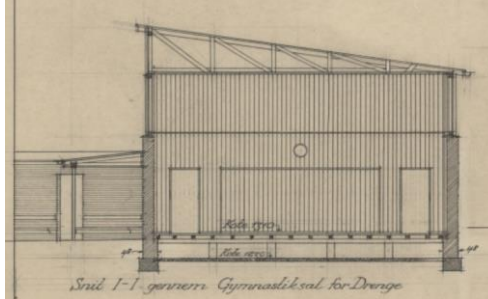
Figur 24: Gavl sydvest, Kilde: Scan af original tegning, hentet fra filarkiv.dk

Som det ses på facadetegningerne i Figur 21 til Figur 24 er bygningens teglfacader udført uden sokkel, så disse springer ubrudt op ad terrænet. Derfor er murværket i direkte kontakt med terrænets jordlag, og terrænets belægning af asfalt, er udført direkte op imod murværksfacaderne se også Figur 30.

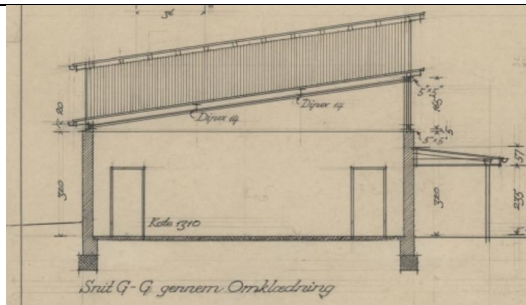
Eksisterende tegninger – Snittegninger



Figur 25: Længdesnit gennem drengesal, Kilde: Scan af original tegning, hentet fra filarkiv.dk



Figur 26: Breddesnit gennem gymnastiksal, Kilde: Scan af original tegning, hentet fra filarkiv.dk



Figur 27: Breddesnit gennem omklædningsrum, Kilde: Scan af original tegning, hentet fra filarkiv.dk

Figur 25 viser en forskel i konstruktionsopbygningen terrændækket mellem gymnastiksalen og omklædningsrummet. Sportsgulvet i gymnastiksalen er udført ovenpå en højt opklodset tømmerkonstruktion, som ligger på søjler af teglsten. Derved dannes der et mindre rum under sportsgulvet, som er uventileret.

Figur 26 viser breddesnippet igennem gymnastiksalen, hvor tagkonstruktionen er udført med halve spærfag med ensidigt fald væk fra skolegården. De indvendige overflader er i gymnastiksalen udført som træbeklædning på vægge og loft.

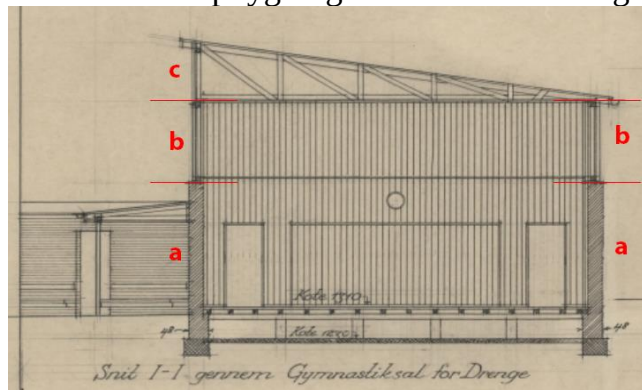
Figur 27 viser breddesnippet igennem omklædningsrummet, hvor tagkonstruktionen er udført som bjælkespær, der understøttes af to stk. stålbjælker, der spænder i gymnastiksalens længderetning. Vægge og lofter i omklædningsrummet er udført pudsede. Væggene i badet er flisebeklædte og gulvet er udført som et terrazzogulv på betonklaplag.

Da efterisoleringen vurderes at kunne udføres på bygningens konstruktioner uden større problemer, med undtagelse af ydervæggene, vil disse ikke

yderligere blive beskrevet i de efterfølgende afsnit Fokus vil fremadrettet være på ydervæggene, grundet deres komplekse byggeteknik og materialegenskaber ved indvendig efterisolering.

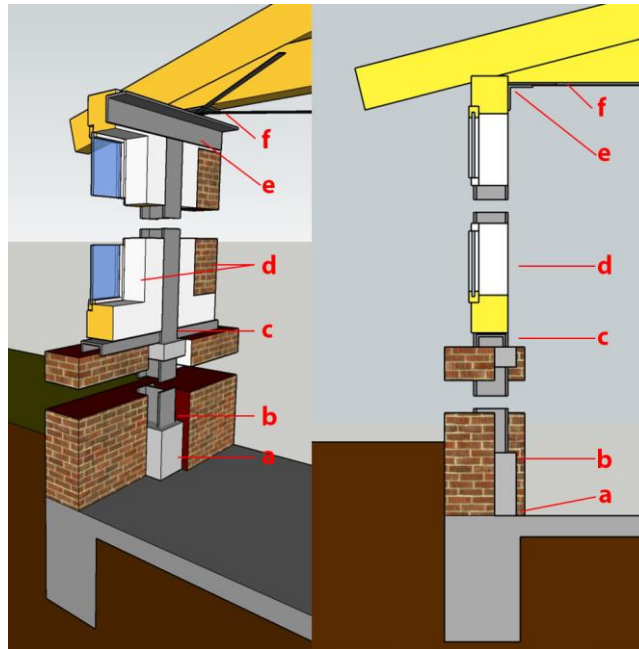
3.3 Eksisterende ydervægge

Facaderne i gymnastiksalen er som nævnt i forudgående afsnit, udført som to facadebånd af hhv. håndstrøgne mursten og lodretstående eternitplader. Figur 28 viser konstruktionsopbygningen af de to forskellige facadebånd.



Figur 28: Opdeling af gymnastiksalenes facader

- a) Facade af massivt murværk af røde håndstrøgne tegl
- b) Facadebånd af lodretstående eternitplader med bagvedliggende bindingsværk af 6x6" og 7x7" tømmer. Bindingsværket er udfyldt med tegltavl og vinduespartier. Bindingsværket beskyttes af de lodretstående eternitplader, som er monteret på en let trækonstruktion. Yderligere fungerer bindingsværket som karm for facadebåndets store vinduespartier. Der er i bindingsværket udfræset fals, hvori de faste glaspartier er monteret og de gående rammer har anslag.
- c) Facadebåndet af lodretstående eternitplader går op og dækker for tagrummet og tagkonstruktionen af saksespær.



Figur 29: Principskitse over det bærende stålsystem i facaden.

Kilde: egen illustration

Gymnastiksalenes ydervægge af tegl er yderligere suppleret med et indmuret konstruktivt system af stålprofiler, hvilket har flere funktioner:

- Bærende system for vinduer og tag
- Anker for tagkonstruktionen
- Stabiliserende system for vindpåvirkning i bygningernes længde- og bredderetning

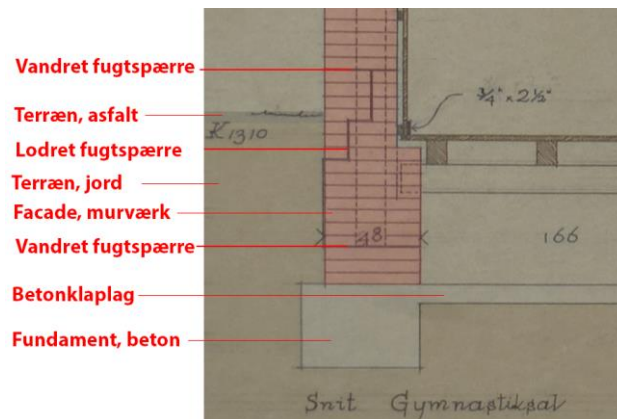
Principskitsen i Figur 29 viser opbygningen af det samlede byggetekniske system i ydervæggene.

- a) Stålsøjlerne lignende typen HEB140 profiler er nedstøbt i bygningens fundamenter. Herefter er facaden blevet muret op omkring.
- b) Stålsøjlerne er blevet indstøbt i en mørtel, der minder meget om mørteltypen, der er benyttet til at mure ydervæggene op.
- c) De vandrette bjælker, som spænder på oversiden af 1½-stensvæggen, er af lignende type som UNP-profiler. Disse er placeret i skellet mellem facadens to bånd, og ses i linjen mellem pkt. a og pkt. b i Figur 28. Bjælkerne er monteret til de lodrette HEB140 søjler ved påsvejsede vinkelkonsoller.
- d) De vandrette stålbjælker danner underlag for bindingsværket, som er den bærende del af det øvre facadebånd. Bindingsværket er enten udfyldt med tegltavl eller facadebåndets vinduespartier, og danner underlag for tagets spærkonstruktion.

- e) Hele vejen rundt langs den indvendige side af topremnen på bindingsværket, er det monteret en stringer af vinkelstål. Denne danner, sammen med de tværgående vindbånd (pkt. f), en afstivende skive i tagkonstruktionen
- f) Tværgående vindbånd af stål.

Facader er udført med det specielle arkitektoniske præg, så murværket uafbrudt vokser op af terrænet. Dette betyder at facaderne er udført uden sokkel. I Figur 30 ses samplingsdetaljen mellem murværket, fundamentet og terrændækket. Figuren gengiver de eksisterende forhold på nuværende tidspunkt. Her ses det, at bygningerne oprindeligt er udført med en fugtspærre som erstatning for sokkelen.

Fugtspærren er indmuret i en højde af i alt 14 skifter, og er placeret i niveau med terrænet. Højden formodes at være pga. det skrånende terræn, som skolen er placeret på. Fugtspærrens udførelse og placering bevirker, at murens nederste tre skifter ikke er beskyttet af fugtspærren.



Figur 30: Samplingsdetalje af ydervæg / fundament eksisterende forhold,
Kilde: Egen illustration på eksisterende tegning fra filarkiv.dk

4 Metode

4.1 Undersøgelsesmetoder af bygning

Inden der opstilles forslag til hvorledes facaderne på gymnastiksalene kan efterisoleres, er det nødvendigt at afklare omfanget af kilder, der fører til opfugtning samt nedbrydning af facaderne. I forbindelse med undersøgelsen er følgende undersøgelsesmetoder benyttet:

- Visuel inspektion og granskning af eksisterende tegningsmateriale.
- Kapacitive fugtmålinger af facadens udvendige side.
- Logning af klimadata, temperatur og relativ fugtighed på ud- og indvendig side af bygningen.
- Fugtindhold i konstruktionen efter samme princip som fugthætten.

Metode for udførelsen af registreringerne kan ses i nedenstående punkter. Resultatet af undersøgelserne kan ses i det efterfølgende afsnit **Fejl!**
Henvisningskilde ikke fundet..

4.1.1 Visuel inspektion og granskning

Den visuelle inspektion har til hensigt at afdække de mere åbenlyse tegn på svigt og opfugtning af bygningsdele. Hvad der specifikt kigges efter er afhængigt af bygningsdel. Ved inspektionen af gymnastiksalens facader kigges der specielt efter følgende (Eriksen, 2000):

- Fugtskjolder
- Forvitring af murværk
- Misfarvning af teglsten og saltudblomstringer
- Sætningsrevner
- Afskalninger af teglsten
- Udvaskning af mørtelfuger

Ud over den visuelle inspektion sammenholdes de registrerede forhold med tegningerne for de eksisterende konstruktioner.

4.1.2 Kapacitive fugtmålinger på facaden

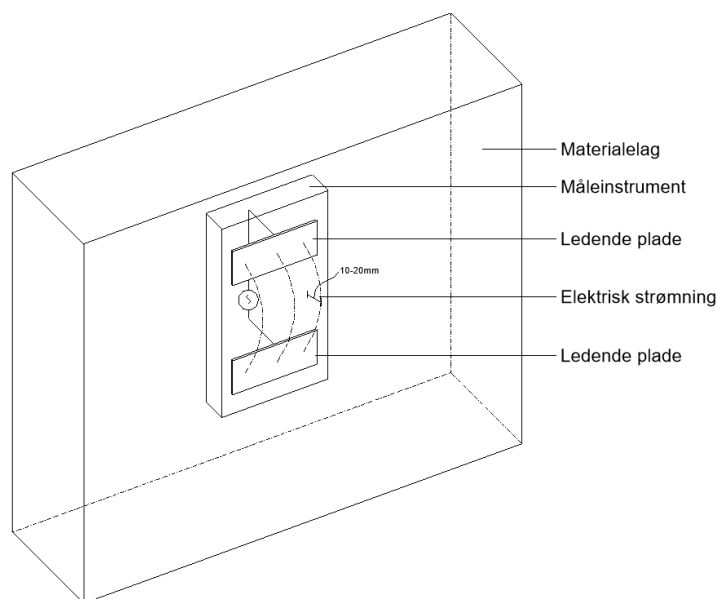
Da der kan konstateres et stort omfang af skjolder på facaden, begrundes mistanken om opstigende fugt via kapillarsugning i facaden (Teknologisk Institut, 1999). For at afdække omfanget af opfugtningen i facaderne, benyttes en kapacitiv fugtmåler med elektrisk ledende plader. Metoden kan ikke benyttes til at definere fugtindholdet i et givent materiale, men kan give nogle indikationer for, hvor en formodet opfugtning udspringer fra og dens udbredelse ud i konstruktionen. (Brandt, Erik, 1990)

Inden målingerne udføres deles konstruktionens flader op i et kvadratnet af målepunkter, med en fast afstand i hhv. x- og y- retningen (Eriksen, 2000). Afstanden definerer nøjagtigheden for variationerne i fugtkoncentrationen. Til denne fugtmåling er der benyttet en afstand på ca. 20 cm i både x- og y- retningen. Måleresultaterne noteres for derefter at blive plottet ind i et program til grafisk repræsentation af resultaterne.

Til målingerne benyttes en kapacitiv fugtmåler af model Hygrotest FM600, og til plotning af målingerne benyttes TrameX moisturemapping til Apple Ipad (TrameX, 2018).

En kapacitiv fugtmåling foregår ved at måle den elektriske ledningsevne igennem et materiale. Denne er høj i opfugtede materialer og lav i tørre. Målinger af denne type har dog visse begrænsninger i sin anvendelse da måleinstrumentet afhængigt af materialet, kun er i stand til at måle ledningsevnen i de yderste 10-20mm (Brandt, 2013). Det er derfor vigtigt

kun at udføre målinger på områder, der ikke har været udsat for opfugtning kort tid før målingerne udføres.

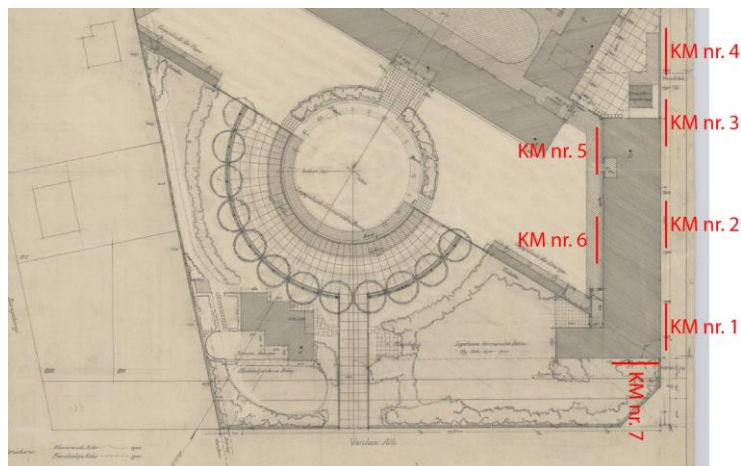


Figur 31: Princip for Kapacitiv fugtmåler, Kilde: Egen illustration

Måling på nyligt opfugtede materialer vil resultere i uforholdsmæssige høje udslag, hvilket med god sandsynlighed ikke er det reelle udtryk for fugtindholdet dybere inde i materialet. Fejlmålinger kan også opstå i forbindelse med målinger på materialer med høje koncentrationer af salte eller konstruktioner, der indeholder metal i det yderste lag. Dette kan også give uforholdsmæssige høje udslag, som ikke er et korrekt billede af de aktuelle fugtforhold i konstruktionen.

Kalibrering af måleinstrumentet udføres ved at placere det på en elektrisk ledende metalplade, hvorefter måleinstrumentet kalibreres til maksimalt udslag (Brandt, 2013).

Målingerne er blevet udført på gymnastiksalen for drenge og småbørn. Der er i forbindelse med målingerne blevet udset 7 forskellige steder, hvor der skal udføres målinger på ydervæggene se Figur 32.



Figur 32: Oversigt over kapacitive fugtmålinger – Drengesal, Kilde: Egen illustration på eksisterende tegning fra filarkiv.dk

Målinger er udført på flg. overflader:

- KM nr. 1 udført på Østvendt facade ved småbørns sal
- KM nr. 2 udført på Østvendt facade ved drengesal
- KM nr. 3 udført på Østvendt facade ved skellet mellem drengesal og omklædning
- KM nr. 4 udført på Østvendt facade på kold læmur
- KM nr. 5 udført på Vestvendt facade ved omklædning under halvtæg
- KM nr. 6 udført på Vestvendt facade ved drengesal
- KM nr. 7 udført på Sydvendt gavl ved småbørns sal

Alle målinger er vedlagt rapporten som bilag og kan ses i Bilag 3.

Inden de kapacitive fugtmålinger udføres, screenes facaden for tørre områder, hvorpå der udføres målinger for at finde den lavest mulige værdi. Dette benyttes som referenceværdi til de øvrige målinger, så det er muligt at vurdere forskellen på fugtindholdet. Reference værdi for laveste målte værdi: 15.

4.1.3 Logning af inde- og udeklimadata

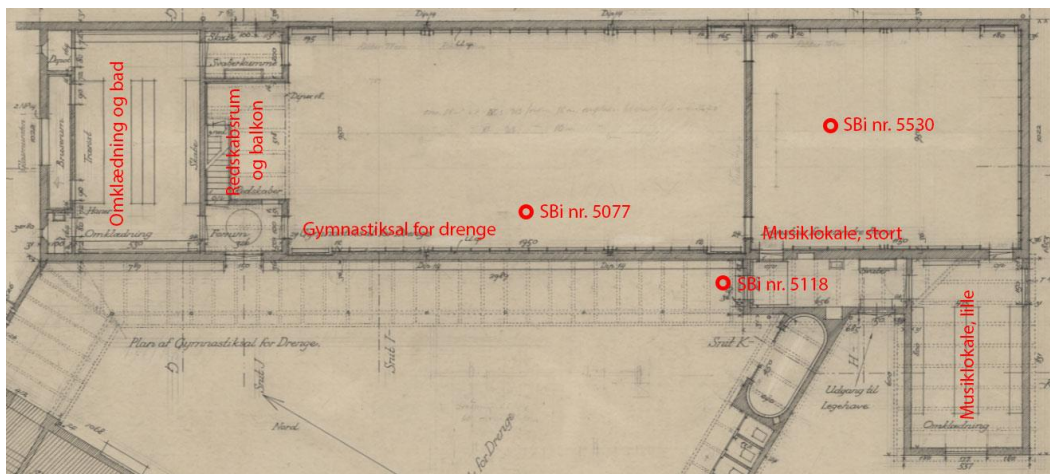
Som en del af registreringen af de eksisterende forhold, er der blevet udført en datalogning af temperatur og relative luftfugtighed for udvalgte rum i bygningen samt udeklimaet. Klimadata er blevet registreret med klimalogger fra Lascar Electronics af typen EL-USB-2⁺. Logningsfrekvens af data er indstillet til hvert 30. minut.

Normalt benyttes logning af klimadata til at identificere fugtbelastningen i bygningen fra indvendig side. Denne opstår i forbindelse med ophold fra personer samt ved brug af bygningen som fx badning, madlavning osv.

Fejl i datalogningen af klimaet kan bl.a. opstå pga. følgende:

- Placering af datalogger i nærheden af varmekilder, konstruktioner med høj varmeledningsevne, ventilations afkast og indtag.
- Eksposering for sol, hvilket kan give forhøjede temperaturer eller utætte facadekomponenter, der resulterer i reducerede temperaturer.

Klimaloggerne er blevet placeret iht. Figur 33:



Figur 33: Placering af klimamålere. Kilde: Egen illustration på eksisterende tegning fra filarkiv.dk

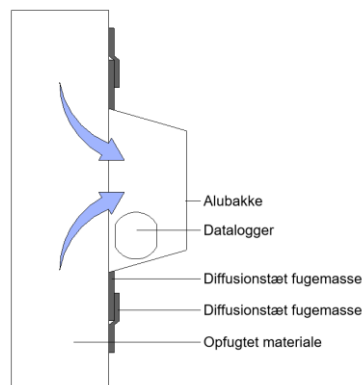
Måler nr.	Måling af	Placering
SBi nr. 5118	Udeklima	Udvendig side, ca. 8 meter over terræn under tagudhæng på drengesalen
SBi nr. 5077	Indeklima	Drengesal, ca. 2 meter over gulvet
SBi nr. 5530	Indeklima	Musiklokale stort, ca. 2 meter over gulvet

Datalogningen er blevet udført over en periode fra d. 05.01.18 til d. 14.02.18.

Resultaterne af klimamålingerne kan ses under afsnit 6.3.

4.1.4 Måling af fugt i konstruktioner med fugthætte

Til at måle fugtindholdet i ydervægge og gulvkonstruktion, benyttes princippet for fugthætten. Metoden er ganske simpel i dens udførelse, hvor en datalogger placeres under en damptæt "hætte", der med en lufttæt tilslutning, monteres til konstruktionens overflade.



Figur 34: Princip for fugthætte benyttet til at registrer fugtindhold i ydervæg og gulvkonstruktion, Kilde: Egen illustration

Luften der indkapsles i hættten, vil efter en kort periode opnå samme relative fugtighed som i materialet pga. princippet for fugtudligning. Emnet der benyttes som fugthætte er en simpel aluminiumsbakke til køkkenbrug. Denne er specielt velegnet grundet materialets høje diffusionsmodstand. Yderligere gør dens udformning med flanger den velegnet til at skabe en lufttæt forbindelse med konstruktionens overflade.



Figur 35: Aluminiumsbakke som benyttes som fugthætte til måling af fugt i materialelag.

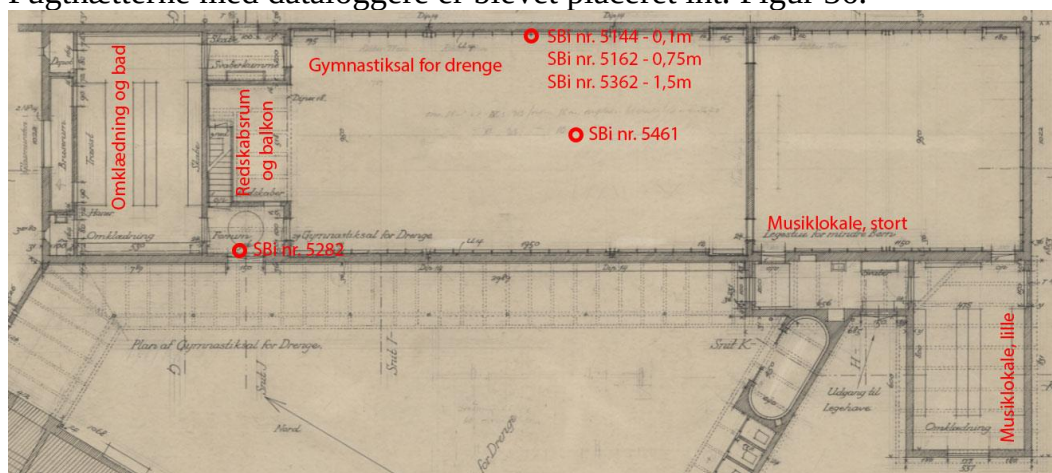
Aluminiumsbakken fastlimes til konstruktionens overflade med en diffusionstæt akrylmasse, hvilket både fastholder fugthætten samt sikrer en lufttæt forbindelse til materialets overflade. Under fugthætten placeres en datalogger (se Figur 34) af samme type som den, der benyttes til datalogning af klimadata (se afsnit 4.1.3).

Ved brugen af fugthætter kan der opstå misvisende målinger såfremt:

- Der opstår kraftig ventilering langs materialets overflade, hvilket kan give en hurtig udtørring af den yderste del af materialet uden at ændre nævneværdigt på fugtindholdet dybere inde i materialet.
- Fugthætten udsættes for solpåvirkning, hvilket kan få temperaturen i den indkapslede luft under fugthætten til at stige.
- Montagen med akrylmassen mellem fugthættens flange og konstruktionens overflade er ikke udført tæt. Dette vil drive fugten

ud af fugthætte pga. potentialeudligningen mellem højt damptryk under hættens til lavt i indeklimaet.

Fugthætterne med dataloggere er blevet placeret iht. Figur 36:



Figur 36: Placering af fugthætter med datalogger på indv. side af konstruktionerne, Kilde: Egen illustration på eksisterende tegning fra filarkiv.dk

Måler nr.	Måling af	Placering
SBI nr. 5461	Fugtindhold, konstruktion	Overkant betonklaplag
SBI nr. 5144	Fugtindhold, konstruktion	Indvendig side ydervæg mod nordøst Ca. 0,1m over betonklaplag, under terræn
SBI nr. 5162	Fugtindhold, konstruktion	Indvendig side ydervæg mod nordøst Ca. 0,75m over betonklaplag, over terræn
SBI nr. 5362	Fugtindhold, konstruktion	Indvendig side ydervæg mod nordøst Ca. 1,5m over betonklaplag, over terræn
SBI nr. 5282	Fugtindhold, konstruktion	Indvendig side ydervæg mod sydvest Ca. 7,5m over betonklaplag, over terræn

Datalogningen er blevet udført over en periode fra d. 05.01.18 til d. 14.02.18

Resultaterne af fugtmålingerne kan ses under afsnit 6.4

4.2 Metode for beregninger

Effekten af den indvendige efterisolering på de eksisterende teglydervægge afdækkes ved udførelse af teoretiske beregninger i beregningsprogrammerne WUFI, HEAT2 og BE15.

Der opstilles i alt seks konstruktioner til beregning; en for den eksisterende konstruktion, og fem løsningsforslag. Der tages udgangspunkt i eksisterende forhold og de valgte isoleringsmetoder med kapillaraktive

isoleringsplader samt en traditionel forsatsvæg med mineraluld. De forskellige konstruktionstyper oplystes i nedenstående afsnit.

4.2.1 Fugttekniske beregninger med WUFI Pro

Ved udarbejdelsen af forskellige forslag til den fremtidig konstruktionsopbygning, er det nødvendigt at vurdere, hvorvidt der er en fugtteknisk risiko forbundet med disse. For at vurdere risikoen benyttes WUFI Pro 6.2 til beregning af de hygrotermiske forhold. WUFI benyttes til at beregne dynamiske fugt- og varmetekniske 1-dimensionale beregninger baseret på kendt klimadata som f.eks. TRY. WUFI medregner fugttransport fra både diffusion, kapillarsugning samt konvektion i et begrænset omfang, da denne sjældent er 1-dimensional.

Da beregningerne baseres på kendt klimadata, medregnes indflydelsen fra nedbør, ud- og indvendig fugtbelastning, temperaturforløb og solstråling iht. orientering og koncentration i forhold til årsforløbet.

Beregningerne kan med WUFI udføres på sammensatte konstruktionstyper, hvor hvert materiales fugt- og varmetekniske egenskaber medregnes.

Derfor kan de enkelte materialelags påvirkning på konstruktionen, analyseres på baggrund af brugerdefinerede målepunkter.

Programmet kan derfor benyttes til at vurdere om der i en konstruktion, ud fra brugerdefinerede randbetingelser, er sandsynlighed for, at der opstår forhold, der giver anledning til skimmelvækst.

Randbetingelser

Randbetingelserne for beregningerne indstillet iht. nedenstående:

- Placering: Gymnastiksal.
- Fugtbelastningsklasse: Klasse 2 iht. DS/EN ISO13788 (Brandt, 2013).
- Indvendig gns. temp.: 20° C.
- Udvendige klima iht. klimadata fra Lund.
- Faktor for optagelse af regn på facaderne, reduceres fra 0,7 til 0,4 da det vurderes at tagudhænget, yder en væsentlig afskærmning for nedbør. (Schmidt, 2018).
- Beregningsperiode med start 01.01.18 og beregningsfrekvens sættes til 60 minutter.

Beregningerne udføres over en periode, indtil der opstår normaliserede fugtforhold i konstruktion og materialelag. Det første år mellem 18/19 benyttes ikke, da dette normalt benyttes til opnå fugtligevægt i konstruktionens materialelag. Perioden kan dog i nogle tilfælde variere, pga. længerevarende fugtafgivelse eller -optag.

Beregningerne for forslag til fremtidige konstruktionsløsninger udføres på facaden, hvor fugtbelastning er størst. Det forventes, at hvis referencefacaden med højest fugtbelastning fugtteknisk fungerer, vil der på de resterende facader ikke opstå problemer. Fugtpåvirkning fra indvendig fugtproduktion antages at være ensartet på alle bygningens facader, idet konstruktionsopbygningen af facaderne er ens.

Beregningsforudsætning for imprægnerede overflader

Ved beregning af imprægnerede overflader, er det nødvendigt at ændre opbygningen af konstruktionen i WUFI. Dette gøres for at tilgodese de ændrede materialeegenskaber der opstår, efter der udføres imprægnering af murværkets overflade.

Til beregningen af den imprægnerede overflade benyttes et siloxanbaseret imprægneringsprodukt kaldet ”StormDry”, som forhandles i Danmark af Vandex A/S. Materialets fugttekniske egenskaber er fundet i laboratorierapporten R&D 13 BBA af d. 29.06.2010 vedlagt denne rapport som Bilag 12. For at beregne effekten af det imprægnerede murværk, opdeles murværket i to dele. Metoden beskrives i WUFIs hjælpeforum af en supportmedarbejder (Bludau, 2018). Den ene del repræsenterer indtrængningsdybden af imprægneringen (1. lag) og er derfor den yderste. Den anden del er murværket med sine eksisterende egenskaber (2. lag). På indvendig side opbygges den indvendige efterisolering uden nogle ændringer (3. lag).

Imprægneringen forventes at have en indtrængningsdybde på ca. 10mm iht. resultater fra laboratorieundersøgelserne i Figur 37.

	Brick West Hoathley	Brick Fletton	Mortar New	Mortar Old	Blaxter sandstone	Sheffield sandstone	York sandstone	Limestone Portland	Concrete Paving	Granite Work top
Untreated	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stormdry 200g/m2	10	12	4	8	6	—	6	nv	4	0

Figur 37: Indtrængningsdybde for imprægneringsmaterialet StormDry. Kilde: (Safeguard Europe, 2010)

I de 10mm af murværket, hvori imprægneringen trænger ind i materialets porestruktur, skal de kappilarsugende egenskaber (materialets a-værdi) samt vanddampdiffusionsmodstanden (S_d -værdien) ændres i WUFI.

Materialets a-værdi er et udtryk for dets egenskab til vandoptag over tid.

Beregning af det imprægneret materiales a-værdi, bliver i laboratorierapporten udført efter standarden EN ISO 15148:2002.

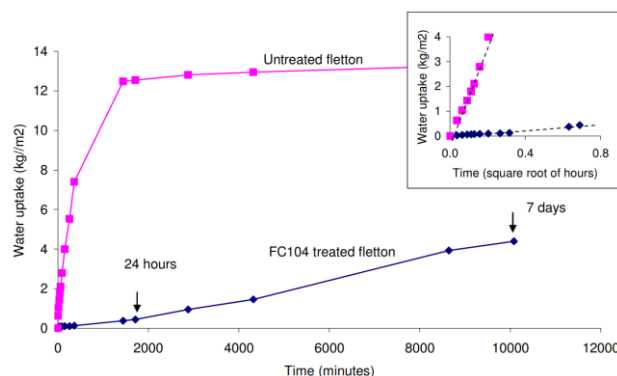
Materialet nedsænkes ubehandlet og imprægneres i vand over en periode på 24 timer, hvorefter resultaterne er blevet logget i Tabel 7.

	Brick West Hoathley	Brick Fletton	Mortar New	Mortar Old	Blaxter sandstone	Sheffield sandstone	York sandstone	Limestone Portland	Concrete Paving	Granite Work top
Untreated	6.1	12.9	5.4	5.0	2.6	2.7	2.2	3.8	2.2	0.06
Stormdry 200g/m2	0.5	1.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	3.5	0.1	0.02

Reduktion 91,8% 89,9% 94,4% 96,0% 92,3% 92,6% 90,9% 8,5% 95,5% 66,6%

Tabel 7: Vandoptag (kg/m2) i forskellige materialer imprægneret og ikke imprægneret, nedsænket i vand over en periode af 24 timer iht. EN ISO 15148:2002. Kilde: (Safeguard Europe, 2010, s. 3)

Generelt kan der ses en kraftig reduktion i materialernes egenskab til at optage vand, når overfladerne der nedsænkes i vand, er imprægneret. Reduktionen ligger omkring 90% over en periode på 24 timer, med enkelte undtagelser. Da a-værdien er et udtryk for materialets vandoptag over tid, skal denne omregnes iht. metoden angivet i standarden EN ISO 15148:2002.



Figur 38: Vandoptag i reference mursten "Brick Fletton" over en periode på 7 dage. Kilde: (Safeguard Europe, 2010, s. 2)

Som det ses i Figur 38 er vandoptaget størst i starten for den ubehandlede mursten, mens den for den imprægnerede sten er mere ensartet. A-værdien beregnes i rapporten for referencemurstenen "Brick Fletton" til:

- $19,0 \left[\frac{kg}{m^2 \sqrt{h}} \right]$ for en ubehandlet sten.
- $0,59 \left[\frac{kg}{m^2 \sqrt{h}} \right]$ for samme sten når den er imprægneret.

Imprægneringens reduktion på murstenens vandoptag:

$$\frac{0,59 \left[\frac{kg}{m^2 \sqrt{h}} \right] - 19,0 \left[\frac{kg}{m^2 \sqrt{h}} \right]}{19,0 \left[\frac{kg}{m^2 \sqrt{h}} \right]} \cdot 100 = -96,9\%$$

Reduktionen på 96,9% benyttes derfor i WUFI til at definere vandoptaget i den yderste del af murværket, ved beregning af imprægneret murværk.

Til angivelse af et materiales vanddampdiffusionsmodstand benytter WUFI S_d -værdien, som er standard i Tyskland, hvor programmet er udviklet. Vanddampdiffusionsmodstanden for StormDry materialet er ikke defineret i deres produktark. Ved en søgning i hjælpeforummet til Wufi angives en S_d -værdi for Siloxan på 0.28m (Ferraro, 2018) af en medarbejder fra Wufis supportteam. Dette anvendes i de efterfølgende beregninger af imprægneret murværk.

4.2.2 Kuldebrosberegninger i HEAT2

Beregningsprogrammet HEAT2 benyttes i indeværende rapport til at beregne kuldebroer og deres effekt på de omkringliggende konstruktioner. HEAT2 beregner varmestrømninger og temperaturforløb i 2-dimensionelle konstruktionsudsnit, på baggrund af materialers U-værdi, overgangsisolanser og randbetingelser. Beregningerne kan både udføres som statiske og dynamiske forløb, og er derfor anerkendt til beregning af kuldebroer iht. anvisningerne i DS418:2011. Beregningerne benyttes i indeværende rapport, både til definition af linjetab til energirammeberegningen i BE15, samt til vurdering om hvorvidt overfladetemperaturer langs kuldebroer, kan medføre kritiske fugtforhold.

Måned	θ_{li} °C	φ_{li}	P_{li} Pa	Δp Pa	P_{li} Pa	$P_{m,indv}$ Pa	φ_{li}	$P_{m}(\theta_{li,ind})$ Pa	θ_{krit} °C	θ_{li} °C	$f_{d,i}$	
Januar	-0,6	0,94	546		540	1086	2338	0,46	1448	12,5	20	0,636
Februar	-1,1	0,91	507		540	1047	2338	0,45	1396	11,9	20	0,618
Marts	2,6	0,91	670		483	1153	2338	0,49	1537	13,4	20	0,621
April	6,6	0,82	799		395	1194	2338	0,51	1591	13,9	20	0,548
Maj	10,6	0,78	996		307	1303	2338	0,56	1738	15,3	20	0,500
Juni	15,7	0,67	1194		195	1389	2643	0,53	1852	16,3	22	0,095
Juli	16,4	0,74	1380		179	1559	2809	0,55	2078	18,1	23	0,260
August	16,7	0,71	1349		173	1522	2809	0,54	2029	17,7	23	0,165
September	13,7	0,85	1332		239	1570	2643	0,59	2094	18,2	22	0,547
Oktober	9,2	0,87	1012		338	1349	2338	0,58	1799	15,8	20	0,615
November	5	0,91	793		430	1223	2338	0,52	1631	14,3	20	0,621
December	1,6	0,88	603		505	1108	2338	0,47	1477	12,8	20	0,609
Fugtbelastningsklasse:				2		Udv. Overgangsisolans		0,04				
Damptryk ved 0° C udendørstemperatur iht. fugtbelastningsklasse			540			Indv. Overgangsisolans		0,13				
Kritisk fugtniveau				75 %								

Tabel 8: Beregning af kritisk overfladetemperatur ved fugtbelastningsklasse 2, og et kritisk fugtniveau på 75%.

Beregningerne udføres med randbetingelser iht. referenceåret TRY, hvor januar kan defineres som den kritiske måned ved fugtbelastningsklasse 2 (Brandt, 2013).

Udvendig temperatur: -0,6°C

Indvendig temperatur: 20°C

Kritisk overflade temperatur: 12,5°C

I forbindelse med den indvendige efterisolering af facaderne, laves der energitekniske beregninger på fire udvalgte kuldebroer. Beregningerne har til hensigt at afdække hvorvidt de forskellige løsningsforslag, har en negativ eller positiv indflydelse på samlingsdetaljen, og om efterisoleringen giver anledning til fugtmæssige risikable forhold.

De fire udvalgte detaljer er:

1. Lodret detalje – Skel i væg ved skift i facadebånd
2. Lodret detalje – Fundament
3. Vandret detalje – Indvendig bærende væg
4. Vandret detalje – Stålsøjle i ydervæg

4.2.3 Energirammeberegninger i BE15

For at eftervise om gymnastiksalen kan overholde bygherrens ønske til renoveringsklasse 2, benyttes BE15 til at beregne energirammen før og efter energioptimeringen.

Beregningsprogrammet fungerer ved indtastning af inddata for div. parametre, der har indflydelse på bygningens energiramme. Inddata udfyldes iht. SBI-anvisning 213 og geometri er opgjort på baggrund af måleregner defineret i DS418:2011 afsnit 3.6 – 3.7.

Randbetingelserne for dimensionerende temperaturer opsættes iht. DS418:2011 afsnit 2.

Inddata for tekniske installationer fastsættes iht. bekendtgørelse om Håndbog for Energikonsulenter (HB2016).

For ventilationssystemer anvendes værdierne fra tabel:

- 9.7.4 Standard ventilationsanlæg
 - Storrumskontor, undervisningslokaler og børneinstitutioner.
 - Mekanisk ventilation fra efter 2015.

For belysning anvendes værdierne fra tabel:

- 9.21 Belysning i flerfamiliehuse og erhvervsbygninger.
 - Undervisning.
 - 2016 belysningsanlæg, LED panel, M reg + bev. - meld.

Der angives ikke inddata for forsyning eller pumper, da dette kommer fra fjernvarmecentral under hovedbygningen.

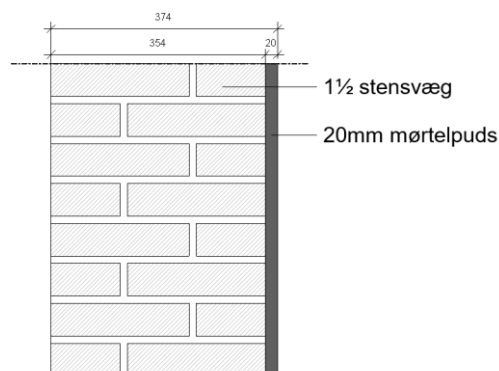
Varmt brugsvand sættes til 100 ltr./år pr m² til trods for badefaciliteter, da det aktuelle forbrug er ukendt. Det vurderes, at den resterende del af skolens forbrug ikke når op på 100 ltr./år pr m². Det formodes dermed, at dette udlignes ved et øget forbrug i gymnastiksalene.

5 Beregninger

5.1 Løsningsforslag til indvendig efterisolering

Type 0.0 - Eksisterende konstruktion

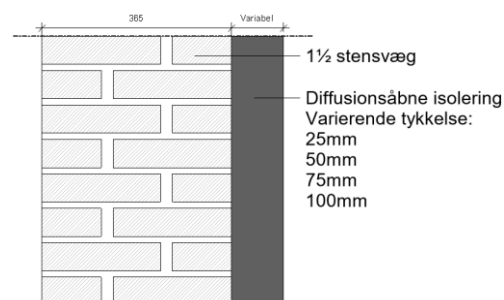
Der udføres en referenceberegning på den eksisterende konstruktionsopbygning af to årsager. Dels for at klarlægge om der er forskel på fugtbelastningerne af bygningens facader og dels for både fugt- og energiteknisk, at have et sammenligningsgrundlag til efterfølgende beregninger af nye konstruktionsforslag.



Figur 39: Illustration af eksisterende konstruktion, kilde: Egen illustration

Bygningens eksisterende facader er opbygget som en massiv 1,5 stens væg med 20mm indvendige pudsede overflader. Der ønskes, i forbindelse med beregningerne, undersøgt om der opstår kritiske fugtforhold, der resulterer i gunstige forhold for vækst af skimmel, eller situationer, der kan føre til mekanisk nedbrydning af facadens materialer.

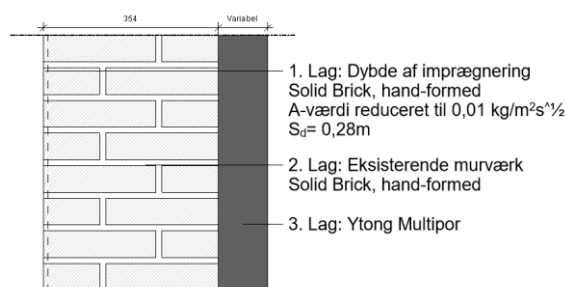
Type 1.0 - Indvendig efterisolering med kapillaraktive isoleringsplader



Figur 40: Illustration af eksisterende konstruktion m. indvendig efterisolering med diffusionsåben isolering, kilde: Egen illustration

Indvendig efterisolering ved brug af kappilaraktive isoleringsplader af porebeton med en λ -værdi på 0,040 W/mK. Der udføres beregninger for isoleringstykkelserne 25mm, 50mm, 75mm og 100mm.

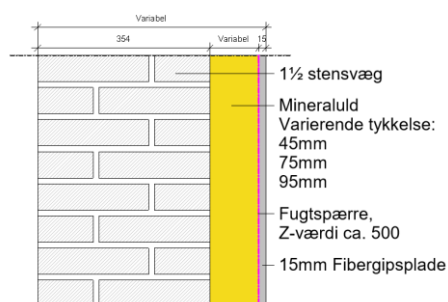
Type 1.1 - Kapillaraktive isoleringsplader og imprægneret murværk



Figur 41: Opbygning af beregningsmodel ved imprægnering af bygningens eksisterende murværk. Kilde: Egen illustration.

Som konstruktionstype 1.0, men hvor den udvendige side af eksisterende murværk imprægneres med et hydrofoberende middel for at afdække effekten af et reduceret vandoptag i murværket.

Type 2.0 - Traditionel forsatsvæg med dampspærre og mineraluld



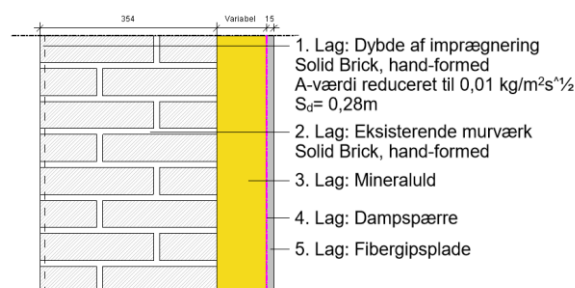
Figur 42: Illustration af eksisterende konstruktion m. indvendig efterisolering med diffusionsåben isolering. kilde: Egen illustration

Traditionel stålskellet konstruktion med isoleringsmateriale af mineraluld med en λ -værdi på 0,034 W/mK, dampspærre og færdig overflade af fibergips. Der udføres beregninger for isoleringstykkelserne 45mm, 75mm og 95mm.

Type 2.1 - Traditionel forsatsvæg med mineraluld og uden dampspærre

Som type 2.0, men uden dampspærre i materialeskellet mellem fibergipsplade og stålskellet med mineraluld. Der udføres beregninger for isoleringstykkelserne 45mm, 75mm og 95mm.

Type 2.2 - Traditionel forsatsvæg med imprægneret murværk



Figur 43: Opbygning af beregningsmodel i Wufi, for imprægneret murværk med indvendig efterisolering af mineraluld.

Som type 2.0, men hvor den udvendige side af eksisterende murværk imprægneres med et hydrofoberende middel for at afdække effekten af et reduceret vandoptag i murværket.

6 Resultater

6.1 Visuel inspektion og granskning

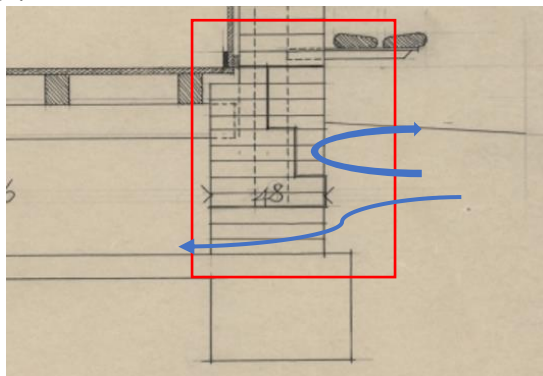
På gymnastiksalens facader er flg. svigt registreret:

Registreringer	Billede dokumentation
Store skjolder langs facaden pga. opfugtning	Bilag 2 – Del 1
Kraftig misfarvning og afskalling af de nederste skifter mod terræn.	Bilag 2 – Del 2
Udvaskede facadefuger	Bilag 2 – Del 3
Utætte og ødelagte inddækninger og sålbænke	Bilag 2 – Del 4
Nedbrydning af træ i vægge af bindingsværk	Bilag 2 – Del 5
Vandrette revnedannelser i mørtelfuger	Bilag 2 – Del 6
Delaminering af stålsøjler	Bilag 2 – Del 7

Ydervæggene er generelt medtagne, som følge af flere funktionssvigt pga. manglende vedligeholdelse. Ud over funktionssvigt i facaden er der også benyttet byggetekniske løsninger, der ikke egner sig til de gældende forhold. Kombinationen bevirker at facaderne holdes opfugt frem for at fjerne fugten. Dette er medvirkende til at accelerere den mekaniske nedbrydning. Det er specielt det arkitektoniske præg, hvor teglfacaderne er ført ned under terræn til fundamentets overkant, der anses som problematisk (Figur 30).

Iht. Figur 44 burde facaderne oprindeligt være udført med en fugtspærre. Som det ses er fugtspærren tænkt udført fra færdig overkant indvendigt gulv og ni skifter ned. Dette har formodentligt været for at beskytte det

indmurede træbjælkelag i facaden. Årsagen til at den dækker ni skifter, skal formentlig findes i at terrænet langs drengesalens facade imod Randbølvej falder ca. 0,8 meter.



Figur 44: Detalje fugtspærre, eksisterende forhold

Overfladen på terrænet omkring gymnastiksalene er, med enkelte undtagelser, udført som en asfalt- eller flisebelægning afsluttet direkte op til teglfacaderne. Terrænet er flere steder udført uden et effektivt fald væk fra bygningen på 1:50, over de første tre meter fra facaden (Brandt, 2013). Derfor kan der opstå et konstant vandtryk på murværket i skellet til terrænet, da vandet ikke bliver effektivt ledt væk fra facaderne.

I facadens nederste 4-6 skifter kan der konstateres kraftig misfarvning og afskalling af teglstenene. Dette tyder på, at der sker en opsugning af salte i teglstenene, som over tid har medført et internt krystaltryk i teglstenene, hvilket fører til afskalningerne (se afsnit 2.4.3).

Inddækninger og sålbænke af zink og beton må generelt betegnes utætte. Det kan flere steder konstateres at zinkinddækningerne er gået op i lodninger og er ikke længere mekanisk fastgjort til underlaget. Yderligere er inddækningerne af både zink og beton blevet ødelagt pga. mekanisk belastning. De fleste sålbænke af beton er revnet eller afskallet som følge af, at armering svulmer op pga. kraftige korrosion. Dette betyder, at bindingsværket flere steder er medtaget pga. kontinuerlig opfugtning, da hverken trævinduer eller inddækninger løbende er blevet vedligeholdt.

Udvaskning af murværkets mørtelfuger er et generelt problem i de 4-5 nederste skifter af gymnastiksalenes facader. Udover bunden af facaderne kan der registreres områder af varierende størrelse med samme problem. Dette er specielt udtalt omkring tagnedløbene, hvor det må formodes at samlingen mellem tagrende og nedløb er, eller har været, utæt.

De store fugtpåvirkninger har resulteret i kraftige rustdannelser i både de indmurede lodrette stålsøjler, samt de vandretliggende stålbjælker under bindingsværket. På baggrund af flere destruktive undersøgelser omkring stålsøjler og -bjælker, kan det konstateres, at søjlerne er begyndt at

delaminere. Delaminering af stålprofilet vil resultere i en kraftig reduktion af stålets konstruktive bæreevne (DanSteel, 2018).

Den vandretliggende stålbjælke, der understøtter bindingsværket, er pga. korrosionen begyndt at svulme op. Dette betyder, at murværket flere steder slår vandrette revner i de øverste 2-3 skifter, hvilket tillader vand i at trænge ind i konstruktionen.

Afledningen af vand fra tagnedløb sker til render i fortov, der bortleder til vejanlæg på den nordøstvendte facade. På bygningens tre andre facader bortledes der til afløb i jord.

6.2 Kapacitive fugtmålinger

Facade orienteret mod nordøst

Kapacitive fugtmålinger		
Måling:	Figur / bilag	Placering
KM nr. 1	Figur 55 / Bilag 3	Stort musiklokale, facade mod nordøst
KM nr. 2	Figur 56 / Bilag 3	Drengesal, facade mod nordøst
KM nr. 3	Figur 57 / Bilag 3	Skel mellem drengesal og omklædning, facade mod nordøst
KM nr. 4	Figur 58 / Bilag 3	Kold læmur, facade mod nordøst

På den varme del af facaden ses generelt høje udslag, hvor der specielt på murens 7-9 nederste skifter, måles høje værdier på 85. Enkelte steder langs facaden ses en øget stighøjde, hvor værdien på 85 lokalt strækker sig helt op til 19 skifter (se Figur 55-Figur 57). Generelt reduceres værdierne i takt med at målinger flyttes højere op på facaden, hvor der i området under øverste facadebånd, måles lave værdier omkring referenceværdien. På læmuren, der er facadens kolde del, måles generelt høje værdier over hele det udvalgte måle-område. Der måles, som i den varme del af væggen, værdier på 85 i væggens nederste 7-9 skifter. I den resterende del af væggen, måles generelt en værdi på 75.

Facade orienteret mod sydvest

Kapacitive fugtmålinger		
Måling:	Figur / bilag	Placering
KM nr. 5	Figur 59 / Bilag 3	Omkledning / gang, facade mod sydvest
KM nr. 6	Figur 60 / Bilag 3	Drengesal, facade mod sydvest

På facaden mod sydvest (se Figur 59-Figur 60) kan der i facadens 7-9 nederste skifter, måles værdier varierende mellem 70-80. Værdierne aftager gradvist desto højere målingerne udføres. På den sydvest vendte facade reduceres de målte værdier hurtigere end på facaden mod nordøst, hvilket giver større områder med lave værdier.

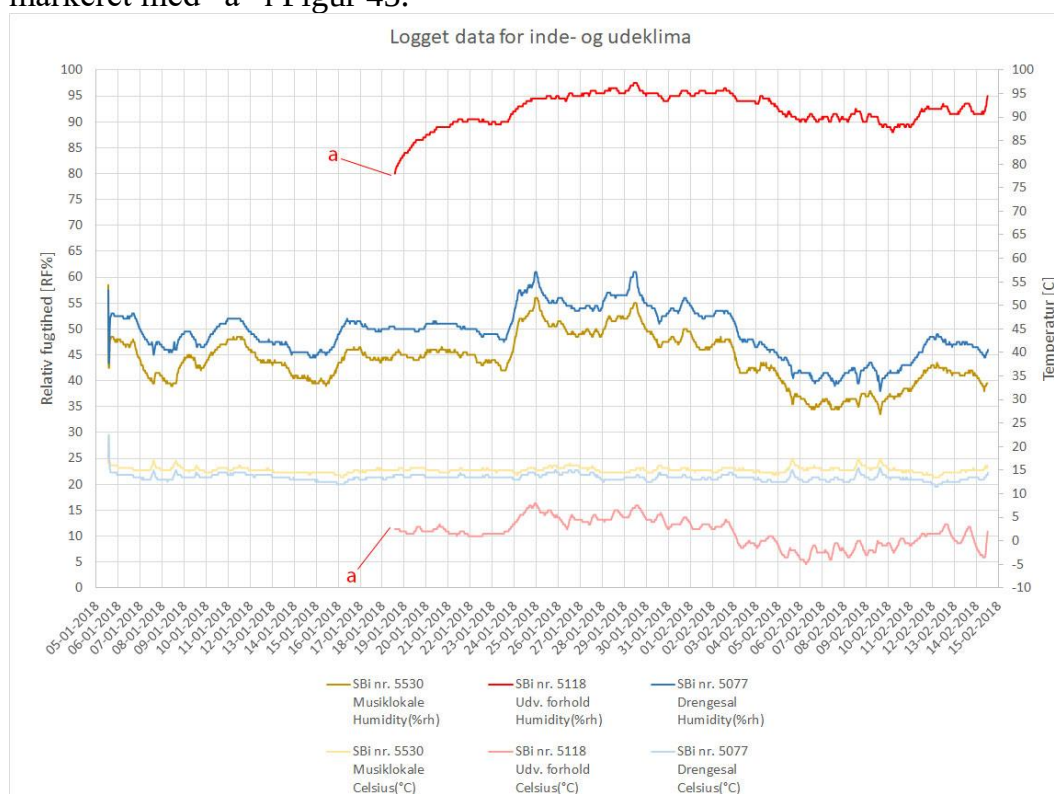
Facade orienteret mod sydøst

Kapacitive fugtmålinger		
Måling:	Figur / bilag	Placering
KM nr. 7	Figur 61 / Bilag 3	Stort musiklokale, facade mod sydøst

På facaden orienteret mod sydøst måles der, som på de to andre facader, høje værdier på 85 i de 7-9 nederste skifter. På den resterende del af facaden, viser målingerne en reduktion desto højere der måles på facaden. Der måles ikke værdier svarende til referencemålingen, som på de to andre facader. Den lavest målte værdi er 40.

6.3 Inde- og udeklimadata

Da gymnastiksalene ikke har været i brug i en længere periode, er det ikke muligt at registrere fugtbelastningen i forbindelse med brugen af bygningen. Den indsamlede klimadata kan derimod benyttes sammen med fugtmålinger på konstruktionerne, samt udsving i indeklimaet i forbindelse med ændringer i udeklimaet. Ved datalogningen af udeklimaet blev det opdaget, at datalogningen ikke var blevet igangsat korrekt, hvorfor data for udeklima kun er blevet logget for perioden 18.01.18 – 14.02.18. Dette ses markeret med "a" i Figur 45.



Figur 45: Resultat af logning af inde- og udeklima

Musiklokale – SBI nr. 5530

Musiklokalet har generelt et meget jævnt temperaturforløb mellem 15-16°C over hele måleperioden. Det relative fugtindhold svinger mellem 34% og

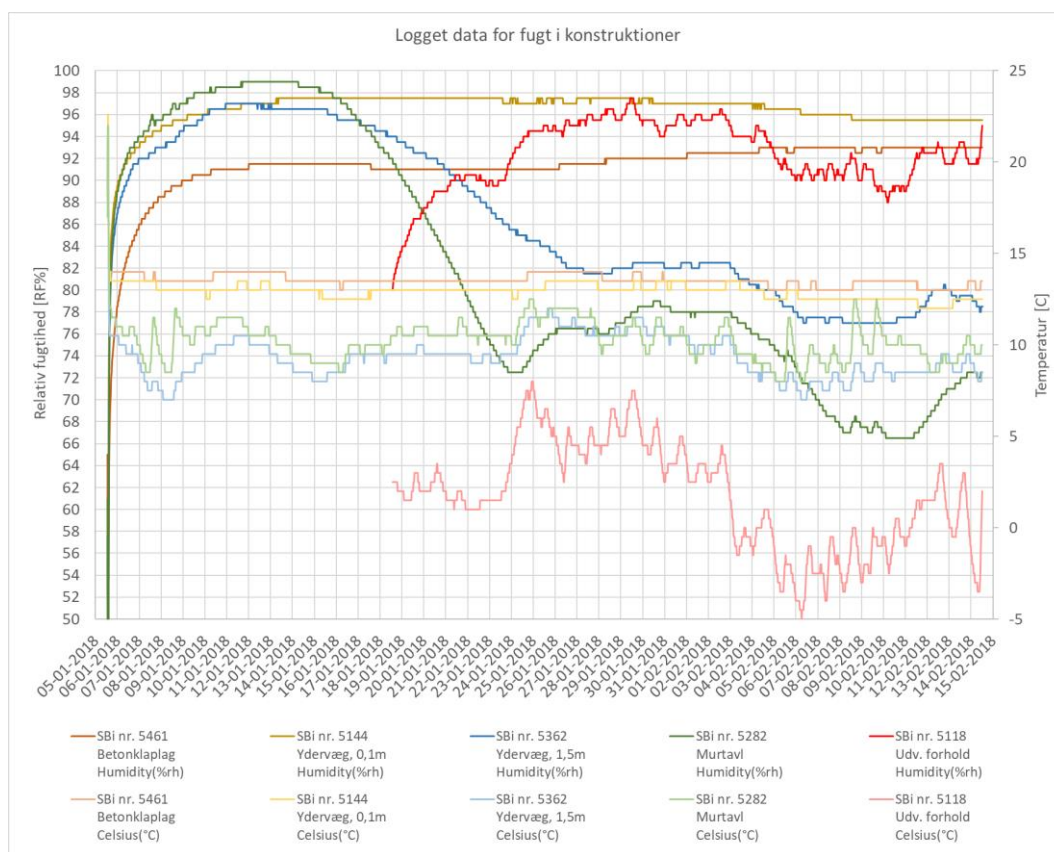
56%, og der kan ses en direkte sammenhæng til udeluftens fugtforløb. Dette ses i stigningen i perioden fra d. 24.01 til d. 04.02 og et efterfølgende fald i perioden 04.02 til 11.02.

Drengesal – SBI nr. 5077

Drengesalen har, som musiklokalet, generelt et meget jævnt temperaturforløb mellem 14-15° C over hele måleperioden. Det relative fugtindhold svinger mellem 38,5% og 61%, og der kan ses en direkte sammenhæng til udeluftens fugtforløb. Dette ses i stigningen i perioden fra d. 24.01 til d. 04.02, og et efterfølgende fald i perioden 04.02 til 11.02.

6.4 Måling af fugt i konstruktioner med fugthætte

I forbindelse med logning af fugt i konstruktioner er der, grundet en fejl på logger SBI nr. 5162, kun foretaget én datalogning, og der mangler derfor data for dette målpunkt i diagrammet.



Figur 46: Resultat af måling af fugt i konstruktionen med datalogger

Betonklaplag – SBI nr. 5461

Fugtindholdet stiger stødt over størstedelen af måleperioden, og luften i fugthætten normaliseres ved en relative fugtighed på 93% d. 09.02. Den ligger i samme niveau uden større udsving frem til d. 14.02.

Der ses ingen sammenhæng mellem forløbet for fugtindholdet i udvendige luft- og betonklaplaget.

Ydervæg 0,1m – SBI nr. 5144

Den relative fugtighed i luften under fugthætten i målepunktet for ydervæggen 0,1m over betonklaplaget, normaliseres omkring 95,5% RF d. 09.02, og er uændret frem til d. 14.02, hvor målingerne afsluttes.

Der ses ingen sammenhæng mellem forløbet for fugtindholdet i udvendige luft og målepunktet i ydervæggen.

Ydervæg 1,5m – SBI nr. 5362

Den relative fugtighed stiger stødt til 99% d. 13.01, hvorefter niveauet begynder at falde til 81,5% d. 28.01. Herefter ligger det relative fugtniveau og svinger mellem 77% og 82,5% frem til afslutningen af måleperioden d. 14.02.

Der ses en direkte sammenhæng mellem den relative fugtighed i konstruktionen og den udvendige luft.

Murtavl – SBI nr. 5282

Den relative fugtighed stiger stødt til 97% frem til den 14.01, hvorefter niveauet begynder at falde til 72,5% d. 24.01. Herefter ligger det relative fugtniveau og svinger mellem 66,5% og 78% frem til afslutningen af måleperioden d. 14.02.

Der ses en direkte sammenhæng mellem den relative fugtighed i konstruktionen og den udvendige luft.

6.5 Fugttekniske beregninger i WUFI

Resultatet af beregningerne oplystes i de efterfølgende afsnit i tabeller, med reference til beregningerne der repræsenteres i diagramformat.

Diagrammerne for alle beregningerne kan ses under

Fremtidige forhold

Beregningsforudsætninger

Bygning

Navn

Andet

Fritliggende bolig (fritliggende enfamiliehus)
Sammenbyggede boliger (fx dobbel-, række- og kædehuse)
Etagebolig, Lager mv eller Andet (ikke bolig)

1	Antal boligenheder	59	Rotation, °
436,3	Opvarmet etageareal, m²	436,3	Bruttoareal, m²
0	Opvarmet kælder, m²	0	Andet, m²
160	Varmekapacitet, Wh/K m²	Start, kl.	Slut, kl.
40	Normal brugstid, timer/uge	8	16

Beregningsbetingelser

BR: Aktuelle Se beregningsvejledningen

Tillæg til energirammen for særlige betingelser, kWh/m² år

0

Kun mulig for andre bygninger end boliger og beregningsbetingelser: BR: Aktuelle forhold.
OBS: Ny reference for belysning i BR15: 300 lux.

Varmeforsyning

Fjernvarr Basis: Kedel, Fjernvarme, Blokvarme eller El

☐ Varmefordelinganlæg (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 16,9 kW 38,7 W/m²

Ventilationstab uden vgv 32,6 kW 74,7 W/m² (om vinteren)

I alt 49,5 kW 113,4 W/m²

Ventilationstab med vgv 9,8 kW 22,5 W/m² (om vinteren)

I alt 26,7 kW 61,2 W/m²

Transmissionstab

For klimaskærmen ekskl. vinduer og døre

8,8 W/m²

Klimaskærm – Ydervægge

	Ydervægge, tage og gulve	Areal (m²)	U (W/m²K)	b	Ht (W/K)	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)	Tab (W)
		1459,9		CtrlClick	358,339			11466,8
+1	Ydervægge murværk 1½-sten	371,2	0,5	1,00	185,6			5939,2
2	Ydervægge, bindingsværk, 1-sten	161,59	0,61	1,00	98,5699			3154,24
3	Tagkonstruktion, omklædning og musiklokale småt	129,63	0,08	1,00	10,3704			331,853
4	Tagkonstruktion, gymnastiskal og musiklokale stort	361,175	0,08	1,00	28,894			924,608
5	Terrændæk, betonklaplag	349,353	0,08	1,00	27,9482			894,344
6	Terrændæk, Terrazzo	86,956	0,08	1,00	6,95648			222,607
7								

Klimaskærm – Fundamenter mv.

	Fundamenter og samlinger ved vinduer	l (m)	Tab (W/mK)	b	Ht (W/K)	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)	Tab (W)
		286,52		CtrlClick	44,9705			1439,06
+1	Fundamenter	121,78	0,234	1,00	28,4965			911,889
2	Samling v. vindue i bindingsværk	125,56	0,1	1,00	12,556			401,792
3	Samling v. hoveddøre	13,8	0,1	1,00	1,38			44,16
4	Samling v vinduer	25,38	0,1	1,00	2,538			81,216
5								

Klimaskærm - Vinduer og yderdøre

	Vinduer og yderdøre	Antal	Orient	Hældn.	Areal (m²)	U (W/m²K)	b	Ht (W/K)	Ff (-)	g (-)	Skygger	Fc (-)	Dim.Inde	Dim.Ude	Tab (W)	Ot
		7			112,958		CtrlClick	124,254			CtrlClick				3976,12	0/1
+1	Vinduesbånd, gymnastiksal Nordøst	1	NØ	90	48,6	1,1	1,00	53,46	0,7	0,35	Vinduesb	1			1710,72	0
2	Vinduesbånd, gymnastiksal Sydvest	1	SV	90	48,6	1,1	1,00	53,46	0,7	0,35	Vinduesb	1			1710,72	0
3	Vinduesbånd, omklædning	1	SV	90	9,183	1,1	1,00	10,1013	0,7	0,35	Vinduesb	1			323,242	0
4	Vinduer Nordøst	1	NØ	90	0,455	1,1	1,00	0,5005	0,7	0,35	Vindue N	1			16,016	0
5	Vinduer Sydøst	1	SØ	90	1,12	1,1	1,00	1,232	0,7	0,35	Vinduer S	1			39,424	0
6	Vinduer Sydvest	1	SV	90	3,3	1,1	1,00	3,63	0,7	0,35	Vinduer S	1			116,16	0
7	Vinduer Nordvest	1	NV	90	1,7	1,1	1,00	1,87	0,7	0,35	Vinduer N	1			59,84	0

Værdier fastsat iht. bekendtgørelse om Håndbog for Energikonsulenter (HB2016) tabel

For vinduer anvendes værdierne fra tabel:

- 9.5.2 Inddata for forskellige vinduestyper
 - Vinduer med flere oplukkelige rammer og evt. sprosser
 - 3-lags energirude (BR20 vindue, hvor $E_{ref} > 0$ kWh/m²)

Klimaskærm - Skygger

	Skygger	Horisont (°)	Udhæng (°)	Venstre (°)	Højre (°)	Vindueshul (%)
+1	Vinduesbånd gymnastiksal, Nordøst	0	34,5	0	0	6,7
2	Vinduesbånd gymnastiksal, Sydvest	15	10	0	0	6,7
3	Vinduesbånd omklædning, Sydvest	50	34,5	0	25	6,7
4	Vindue Nordøst	15	0	0	0	114
5	Vinduer Sydøst	15	0	0	0	71
6	Vinduer Sydvest	15	0	0	0	31
7	Vinduer Nordvest	15	0	0	0	114

Ventilation

	Ventilation	Areal (m²)	Fo, -	qm (l/s m²)	n vg (-)	ti (°C)	El-VF	qn (l/s m²)	qi,n (l/s m²)	SEL (kJ/m³)	qm,s (l/s m²)	qn,s (l/s m²)	qm,n (l/s m²)	qn,n (l/s m²)
	Zone	436,309		Vinter			0/1	Vinter	Vinter		Sommer	Sommer	Nat	Nat
+1	Omklædning	61,049	1	1,8	0,75	18	0	0,13	0,09	2,1	1,8	2,4	0	0
2	Gymnastiksal	204,068	1	1,8	0,75	18	0	0,13	0,09	2,1	1,8	2,4	0	0
3	Musiklokale, småt	37,365	1	1,8	0,75	18	0	0,13	0,09	2,1	1,8	2,4	0	0
4	Musiklokale, stort	107,92	1	1,8	0,75	18	0	0,13	0,09	2,1	1,8	2,4	0	0
5	Gangarealer	25,907	1	1,8	0,75	18	0	0,13	0,09	2,1	1,8	2,4	0	0
6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Internt varmetilskud

	Internt varmetilskud	Areal (m²)	Personer (W/m²)	App. (W/m²)	App.nat (W/m²)
	Zone	436,3	2992,6 W	773,6 W	72,6 W
+1	Gymnastiksal og omklædning	265,117	8	1	0
2	Musiklokale stort og småt	145,285	6	3,5	0,5
3	Gangarealer	25,907	0	0	0

Belysning

	Belysning	Areal (m²)	Almen (W/m²)	Almen (W/m²)	Belys. (lux)	DF (%)	Styring (U, M, A)	Fo (-)	Arb. (W/m²)	Andet (W/m²)	Stand-by (W)	Nat (W/m²)
	Belysningszone	436,309	Min.	Inst.			U,M,A,K					
+1	Omklædning	61,049	1	4	200	1,5	K	0,7	0	2	0,1	0
2	Gymnastiksal	204,068	1	4	200	1,5	K	0,7	0	2	0,1	0
3	Musiklokale, stort	37,365	1	4	200	1,5	K	0,7	0	2	0,1	0
4	Musiklokale, småt	107,92	0	4	200	1,5	K	0,7	0	2	0,1	0
5	Gangarealer	25,907	0	4	200	1,5	K	0,7	0	2	0,1	0
6												

Varmefordelingsanlæg

	Rørstrækninger i fremløb og returløb	l (m)	Tab (W/mK)	b	Udekomp (J/N)	Afb. sommer (J/N)
		20				
+1	Fordelingsrør, 22mm pex	20	0,08	1	N	N
2						

Varmt brugsvand

Beskrivelse

Varmt brugsvand

☐
Varmtvandsforbrug (vand af 55 °C, koldt vand 10 °C)

100

Gennemsnit for bygningen, liter/år pr. m²-etageareal

☐
Brugsvandssystem

55

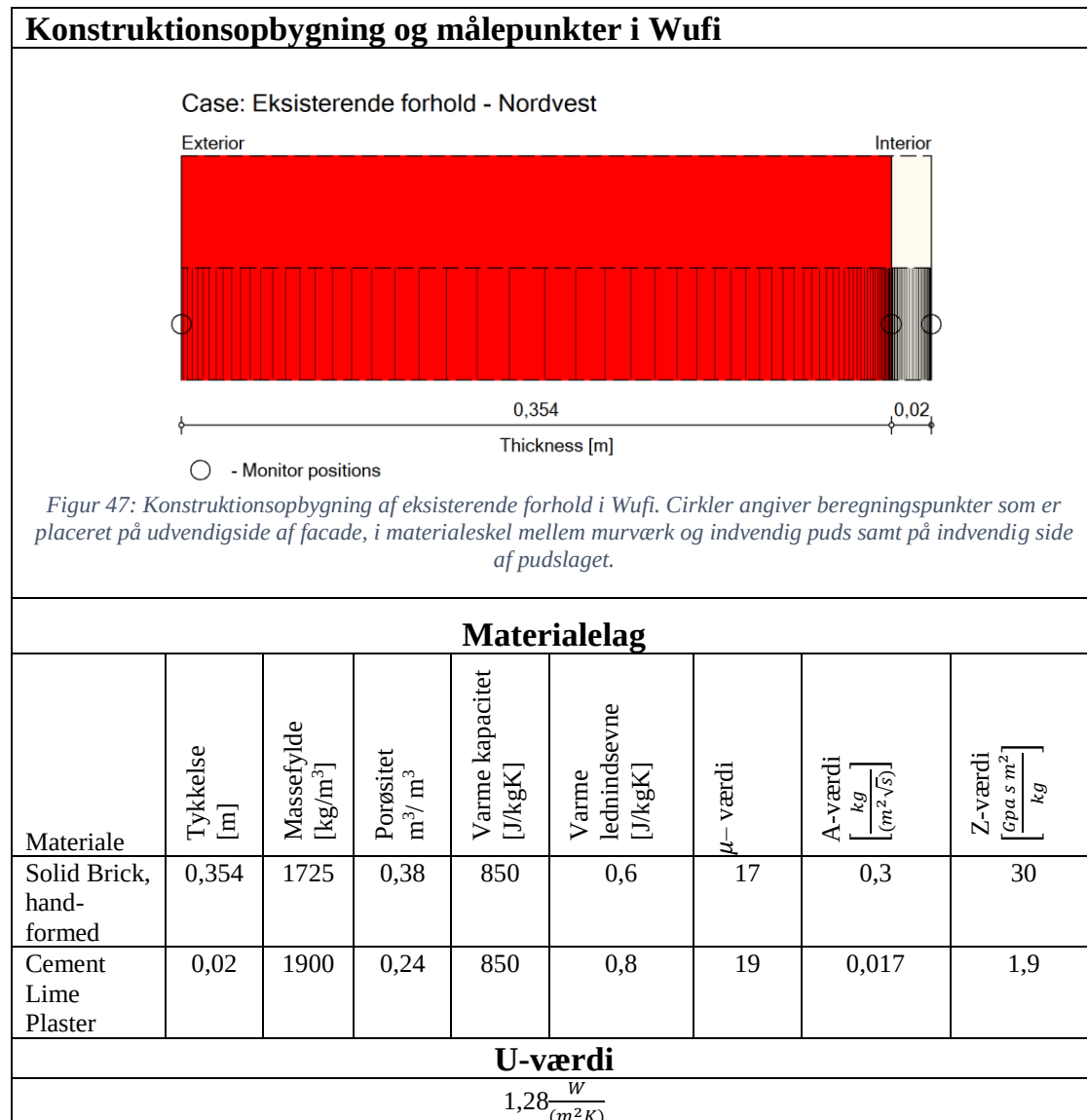
Varmt brugsvand temperatur, °C

Tilføj en varmtvandsbeholder ved højreklik på Varmt brugsvand i oversigten til venstre

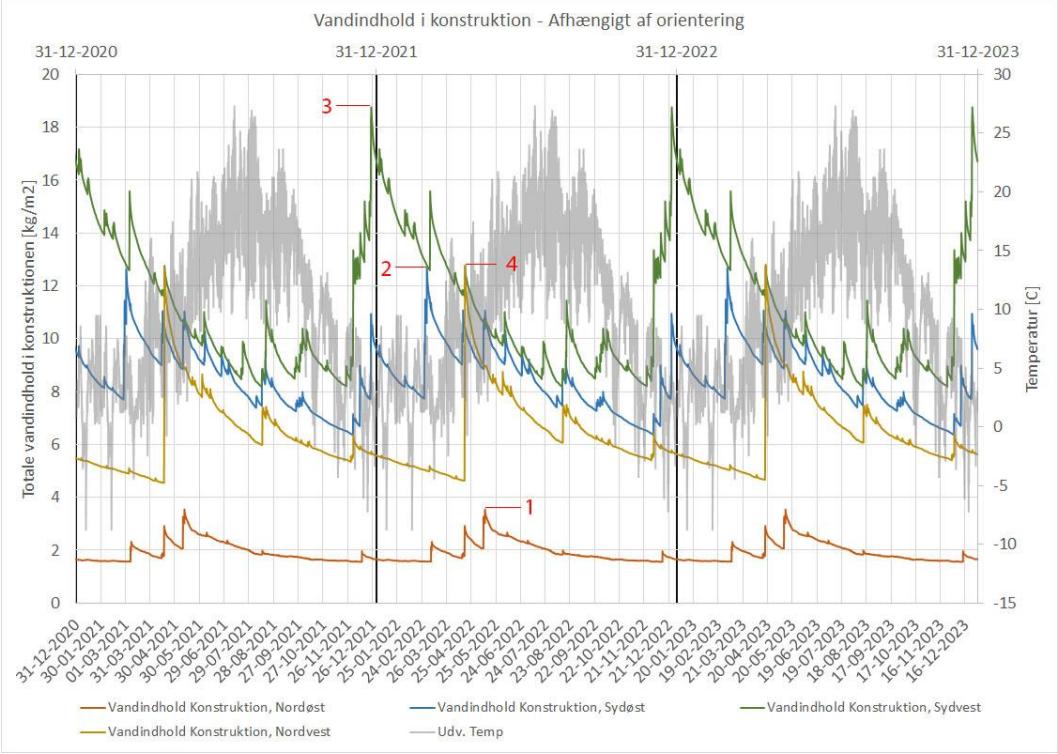
Bilag 5. Som et eksempel benyttes resultatet for det totale vandindhold i den eksisterende konstruktion, for at vise sammenhængen mellem tabeller og diagrammer.

I tabellerne oplistes resultaterne for de maksimalt registrerede værdier, efter der er opstået normaliserede forhold i konstruktionerne.

Type 0.0 - Eksisterende konstruktion



Vandindhold i konstruktionen



Figur 48: Beregning af vandindholdet i den samlede konstruktion

Vandindhold i konstruktionen

Orientering	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m²]	Pkt.	Forøgelse [%]
Nordøst	3,5	1	0
Sydøst	12,6	2	260
Sydvest	18,7	3	434
Nordvest	12,8	4	265

Tabel 9: Maksimalt vandindhold i den samlede konstruktion, efter normaliserede forhold og procentuel forøgelse i forhold til facade med laveste vandindhold.

Se beregningerne for vandindholdet i konstruktionen i Figur 48.

Vandindhold i mursten

Orientering	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m³]	Pkt.	Forøgelse [%]
Nordøst	8,1	1	0
Sydøst	33,8	2	317
Sydvest	50,7	3	525
Nordvest	34,2	4	322

Tabel 10: Maksimalt vandindhold i murværket, efter normaliserede forhold samt procentuel forøgelse i forhold til facade med laveste vandindhold.

Se beregningerne for vandindholdet i murværket i Figur 62 under Bilag 5.

Vandindhold i pudslaget

Orientering	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m³]	Pkt.	Forøgelse [%]
Nordøst	41,1	1	0
Sydøst	42,8	2	4,1
Sydvest	43,5	3	5,8
Nordvest	42,2	4	2,6

Tabel 11: Maksimalt vandindhold i pudslag, efter normaliserede forhold samt procentuel forøgelse i forhold til facade med laveste vandindhold.

RF i skel murværk / puds

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
Nordøst	72,6	1	0
Sydøst	77,7	2	Ca. 3
Sydvest	88,5	3	Ca. 9
Nordvest	75,7	4	Ca. 0,5

Tabel 12: Maksimalt relativt fugtindhold i materialeskellet mellem murværk/pudslag, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for den relative fugt- og temperaturforløb i Figur 64 under Bilag 5.

RF indvendig side

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
Nordøst	73,5	1	0
Sydøst	74,6	2	0
Sydvest	74,8	3	0
Nordvest	74,2	4	0

Tabel 13: Maksimalt relativt fugtindhold på indvendig side af pudslag, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for den relative fugt- og temperaturforløb i Figur 65 under Bilag 5.

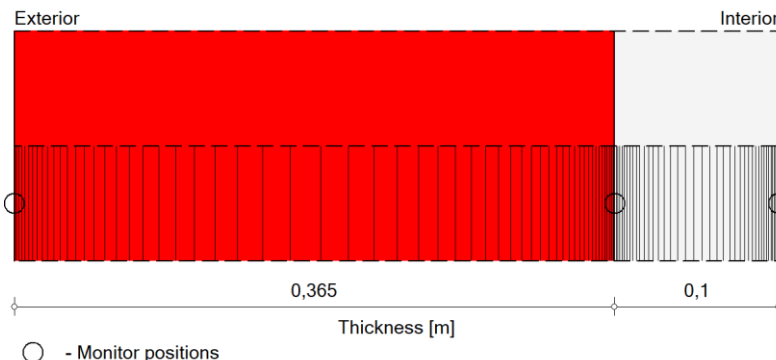
Beregningerne viser, at det er facaden orienteret imod sydvest, der fugtteknisk, er under størst belastning.

Ifølge Tabel 9-Tabel 11 er det denne facade, der opnår størst vandindhold, og derfor også de højeste niveauer med relativ fugtighed i materialeskel. Se Tabel 12 og på indvendig side af pudslaget se Tabel 13.

Type 1.0 - Indvendig efterisolering med kapillaraktive isoleringsplader

Konstruktionsopbygning og målepunkter i Wufi

Case: Ytong Multipor, 100mm - Medium fugtbelastning



Figur 49: Konstruktionsopbygning i Wufi. Cirkler angiver beregningspunkter.

Materialelag

Materiale	Tykkelse [m]	Massefylde [kg/m ³]	Porøsitet m ³ /m ³	Varme kapacitet [J/kgK]	Varme ledningsevne [J/kgK]	μ -værdi	A-værdi [$\frac{kg}{m^2 \sqrt{s}}$]	Z-værdi [$\frac{GPa \cdot s \cdot m^2}{kg}$]
Solid Brick, hand-formed	0,354	1725	0,38	850	0,6	17	0,3	30
Ytong multipor	0,025 0,050 0,075 0,100	115	0,96	850	0,04	4,1	0,013	0,51 1,02 1,53 2,05

U-værdi

25mm Ytong multipor	$0,76 \frac{W}{(m^2 K)}$
50mm Ytong multipor	$0,53 \frac{W}{(m^2 K)}$
75mm Ytong multipor	$0,41 \frac{W}{(m^2 K)}$
100mm Ytong multipor	$0,33 \frac{W}{(m^2 K)}$

Vandindhold i konstruktionen

Isoleringsstykkelse	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m ²]	Pkt.	Forøgelse ift. eks. konstruktion [%]
25mm	20,1	1	7,5
50mm	21,3	2	13,9
75mm	22,3	3	19,2
100mm	23,4	4	25,1

Tabel 14: Maksimalt vandindhold i den samlede konstruktion, efter normaliserede forhold for sydvest vendt facade samt procentuel forøgelse i forhold til eksisterende konstruktion.

Se beregningerne for vandindholdet i murværket i Figur 66 under Bilag 6.

Vandindhold i mursten

Isoleringsstykkelse	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m ³]	Pkt.	Forøgelse ift. eks. konstruktion [%]
25mm	56,0	1	10,4
50mm	58,6	2	15,5
75mm	60,5	3	19,3
100mm	62,5	4	23,2

Tabel 15: Maksimalt vandindhold i murværk, efter normaliserede forhold for sydvest vendt facade samt procentuel forøgelse i forhold til eksisterende konstruktion.

Se beregningerne for vandindholdet i murværket i Figur 67 under Bilag 6.

Vandindhold i isolering

Isoleringsstykkelse	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m ³]	Pkt.
25mm	12,6	1
50mm	15,4	2
75mm	18,1	3
100mm	20,8	4

Tabel 16: Maksimalt vandindhold i isolering, efter normaliserede forhold for sydvest vendt facade.

Se beregningerne for vandindholdet i isoleringen i Figur 68 under Bilag 6.

RF i materialeskellet murværk / isolering

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
25mm	91,1	1	12
50mm	95,1	2	12
75mm	95,8	2	12
100mm	98,6	2	12

Tabel 17: Maksimalt relativt fugtindhold i materialeskellet murværk/isolering, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for RF i materialeskellet mellem murværk/isolering i Figur 69 under Bilag 6.

RF indvendig side

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
25mm	75,8	1	Ca. 0,2
50mm	71,4	2	0
75mm	71,3	2	0
100mm	71,3	2	0

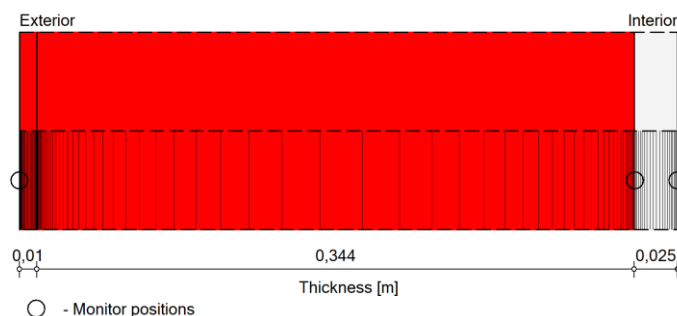
Tabel 18: Maksimalt relativt fugtindhold indvendig side af isolering, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for RF på indvendig side i Figur 70 under Bilag 6.

Type 1.1 - Kapillaraktive isoleringsplader og imprægneret murværk

Konstruktionsopbygning og målepunkter i Wufi

Case: Hydrofobering - Ytong Multipor, 25mm - Medium fugtbelastning



Figur 50: Konstruktionsopbygning i Wufi. Cirkler angiver beregningspunkter.

Materialelag

Materiale	Tykkelse [m]	Massefylde [kg/m ³]	Porøsitet m ³ /m ³	Varme kapacitet [J/kgK]	Varme ledningsevne [J/kgK]	μ -værdi	A-værdi $\left[\frac{\text{kg}}{(\text{m}^2\sqrt{s})}\right]$	Z-værdi $\left[\frac{\text{GPa s m}^2}{\text{kg}}\right]$
Solid Brick, hand-formed, imprægneret	0,01	1725	0,38	850	0,6	28	0,01	1,4
Solid Brick, hand-formed	0,344	1725	0,38	850	0,6	17	0,3	29,2
Ytong multipor	0,025 0,050 0,075 0,100	115	0,96	850	0,04	4,1	0,013	0,51 1,02 1,53 2,05

U-værdi

25mm Ytog multipor	$0,76 \frac{W}{(m^2 K)}$
50mm Ytog multipor	$0,53 \frac{W}{(m^2 K)}$
75mm Ytog multipor	$0,41 \frac{W}{(m^2 K)}$
100mm Ytog multipor	$0,33 \frac{W}{(m^2 K)}$

Vandindhold i konstruktionen

Isoleringsstykkelse	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m ²]	Pkt.	Reduktion ift. type 1.0 [%]	Reduktion ift. eks. konstruktion [%]
25mm	2,8	1	86,0	85,0
50mm	3,2	2	84,9	82,8
75mm	3,6	3	83,8	80,7
100mm	3,8	4	83,7	79,6

Tabel 19: Maksimalt vandindhold i den samlede konstruktion, efter normaliserede forhold for sydvest vendt facade samt procentuel forøgelse i forhold til eksisterende konstruktion.

Se beregningerne for vandindholdet i konstruktionen i Figur 72 under Bilag 7.

Vandindhold i mursten

Isoleringstykkel	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m ³]	Pkt.	Reduktion ift. type 1.0 [%]	Reduktion ift. eks. konstruktion [%]
25mm	4,7	1	91,6	90,7
50mm	5,1	2	91,2	89,9
75mm	5,4	3	91,0	89,3
100mm	5,6	4	91,0	88,9

Tabel 20: Maksimalt vandindhold i murværk, efter normaliserede forhold for sydvest vendt facade samt procentuel forøgelse i forhold til eksisterende konstruktion.

Se beregningerne for vandindholdet i murværket i Figur 73 under Bilag 7.

Vandindhold i isolering

Isoleringstykkel	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m ³]	Pkt.	Reduktion ift. type 2.0 [%]
25mm	8,0	1	34,9
50mm	8,3	2	46,1
75mm	9,0	3	50,2
100mm	9,2	4	55,7

Tabel 21: Maksimalt vandindhold i isolering, efter normaliserede forhold for sydvest vendt facade.

Se beregningerne for vandindholdet i isoleringen i Figur 74 under Bilag 7.

RF i materialeskellet murværk / isolering

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
25mm	92,8	1	Ca. 10
50mm	94,1	2	Ca. 11
75mm	94,6	3	Ca. 11,5
100mm	94,9	4	12

Tabel 22: Maksimalt relativt fugtindhold i materialeskellet murværk/isolering, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for RF i materialeskellet mellem murværk/isolering i Figur 75 under Bilag 7.

RF indvendig side

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
25mm	75,1	1	0,01
50mm	70,8	2	0
75mm	70,6	2	0
100mm	70,5	2	0

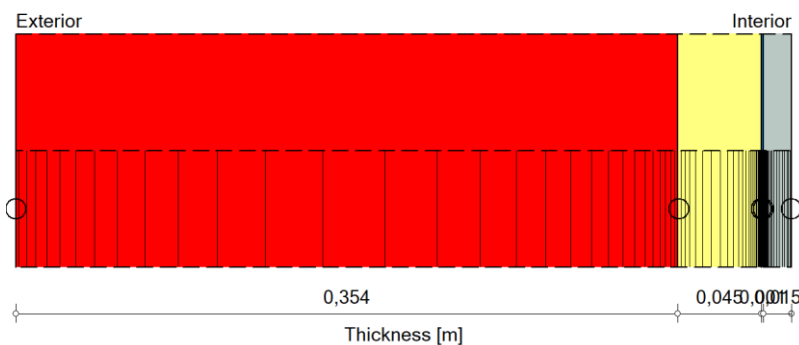
Tabel 23: Maksimalt relativt fugtindhold indvendig side af isolering, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for RF på indvendig side i Figur 76 under Bilag 7.

Type 2.0 - Traditionel forsatsvæg med dampspærre og mineraluld

Konstruktionsopbygning og målepunkter i Wufi

Case: Mineraluld, 45mm - Fugtblastningsklasse 2



○ - Monitor positions

Figur 51: Konstruktionsopbygning i Wufi. Cirkler angiver beregningspunkter.

Materialelag

Materiale	Tykkelse [m]	Massefylde [kg/m ³]	Porøsitet m ³ /m ³	Varme kapacitet [J/kgK]	Varme lednindsevne [J/kgK]	μ- værdi	A-værdi $\left[\frac{kg}{m^2 \cdot \sqrt{s}} \right]$	Z-værdi $\left[\frac{Gpa \cdot s \cdot m^2}{kg} \right]$
Solid Brick, hand-formed	0,354	1725	0,38	850	0,6	17	0,3	30
ISOVER ULTIMATE	0,045	25,2	0,95	1000	0,035	1	Ukendt	0,225
Klemmfilz – 035	0,075							0,375
	0,095							0,475
vapour retarder (sd=100m)	0.001	130	0,001	2300	2,3	100000	Ukendt	500
FERMACELL Gypsum-Fibreboard	0.015	1153	0.52	1200	0.32	16	Ukendt	1,2

U-værdi

45mm mineraluld	$0,48 \frac{W}{(m^2 K)}$
75mm mineraluld	$0,34 \frac{W}{(m^2 K)}$
95mm mineraluld	$0,28 \frac{W}{(m^2 K)}$

Totalt vandindhold i konstruktionen

Isoleringstykkelse	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m ²]	Pkt.	Forøgelse ift. eks. konstruktion [%]
45mm	27,5	1	47,0
75mm	28,3	2	51,3
95mm	28,7	2	53,4

Tabel 24: Normalisering af maksimalt vandindhold i den samlede konstruktion for sydvest vendt facade og procentuel forøgelse i forhold til eksisterende konstruktion.

Se beregningerne for vandindholdet i konstruktionen i Figur 77 under Bilag 8.

Vandindhold i mursten

Isoleringstykkelse	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m ³]	Pkt.	Forøgelse ift. eks. konstruktion [%]
45mm	77,3	1	52,4
75mm	79,5	2	56,8
95mm	81,0	2	59,7

Tabel 25: Maksimalt vandindhold i murværk, efter normaliserede forhold for sydvest vendt facade samt procentuel forøgelse i forhold til eksisterende konstruktion.

Se beregningerne for vandindholdet i murværk i Figur 78 under Bilag 8.

Vandindhold i isolering

Isoleringstykkelse	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m ³]	Pkt.
45mm	1,7	1
75mm	1,4	2
95mm	1,3	3

Tabel 26: Maksimalt vandindhold i isoleringen, efter normaliserede forhold for sydvest vendt facade samt procentuel forøgelse i forhold til eksisterende konstruktion.

Se beregningerne for vandindholdet i isolering i Figur 79 under Bilag 8.

RF i materialeskellet murværk / isolering

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
45mm	99,6	1	12
75mm	99,6	1	12
95mm	99,6	1	12

Tabel 27: Maksimalt relativt fugtindhold i materialeskellet murværk/isolering, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for det relative fugtindhold i materialeskellet mellem murværk / isolering i Figur 80 under Bilag 8.

RF i materialeskellet isolering / dampspærre

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
45mm	97,6	1	Ca. 4,5
75mm	97,2	1	Ca. 4,0
95mm	96,8	1	Ca. 3,5

Tabel 28: Maksimalt relativt fugtindhold i materialeskellet isolering/dampspærre, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for det relative fugtindhold i materialeskellet mellem isolering / dampspærre i Figur 81 under Bilag 8.

RF i materialeskellet dampspærre / gipsplade

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
45mm	71,2	1	0
75mm	70,8	1	0
95mm	70,6	1	0

Tabel 29: Maksimalt relativt fugtindhold i materialeskellet dampspærre/gipsplade, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for det relative fugtindhold i materialeskellet mellem dampspærre / gips i Figur 82 under Bilag 8.

RF i materialeskellet indvendig side

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
45mm	70,9	1	0
75mm	70,7	1	0
95mm	70,5	1	0

Tabel 30: Maksimalt relativt fugtindhold på indvendig side af gipsplade, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for det relative fugtindhold i på indvendig side af gips i Figur 83 under Bilag 8.

Type 2.1 - Traditionel forsatsvæg med mineraluld og uden dampspærre
Som konstruktionstype 2.0 men uden dampspærre.

RF i materialeskellet murværk / isolering

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75 % RF [mdr./år]
45mm	100	1	12
75mm	100	1	12
95mm	100	1	12

Tabel 31: Maksimalt relativt fugtindhold i materialeskellet murværk/isolering, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for det relative fugtindhold i materialeskellet mellem murværk / isolering i Figur 85 under Bilag 9.

RF i materialeskellet isolering / gipsplade

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75 % RF [mdr./år]
45mm	90,2	1	Ca. 4,5
75mm	88,1	2	Ca. 4,0
95mm	86,4	3	Ca. 3,5

Tabel 32: Maksimalt relativt fugtindhold i materialeskellet isolering/gipsplade, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for det relative fugtindhold i materialeskellet mellem murværk / isolering i Figur 86 under Bilag 9.

RF i indvendig side af gipsplade

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75 % RF [mdr./år]
45mm	71,6	1	0
75mm	71,1	1	0
95mm	70,9	1	0

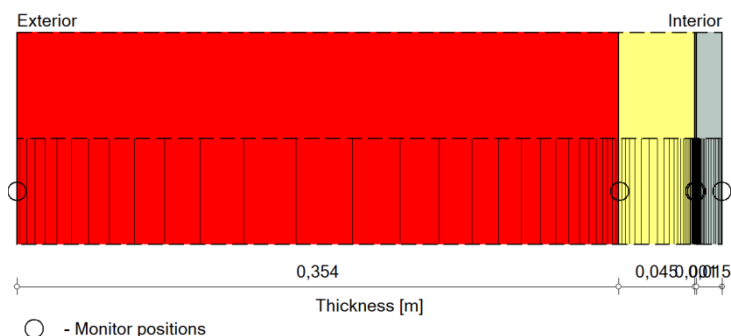
Tabel 33: Maksimalt relativt fugtindhold i materialeskellet isolering/gipsplade, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for det relative fugtindhold i materialeskellet mellem murværk / isolering i Figur 87 under Bilag 9.

Type 2.2- Traditionel forsatsvæg med imprægneret murværk

Konstruktionsopbygning og målepunkter i Wufi

Case: Mineraluld, 45mm - Fugtbelastningsklasse 2



Figur 52: Konstruktionsopbygning i Wufi. Cirkler angiver beregningspunkter.

Materialelag

Materiale	Tykkelse [m]	Massefylde [kg/m ³]	Porøsitet m ³ /m ³	Varme kapacitet [J/kgK]	Varme ledningsevne [J/kgK]	μ -værdi	A-værdi [$\frac{kg}{m^2 \cdot \sqrt{s}}$]	Z-værdi [$\frac{GPa \cdot s \cdot m^2}{kg}$]
Solid Brick, hand-formed, imprægneret	0,01	1725	0,38	850	0,6	28	0,01	1,4
Solid Brick, hand-formed	0,344	1725	0,38	850	0,6	17	0,3	30
ISOVER ULTIMATE	0,045	25,2	0,95	1000	0,035	1	Ukendt	0,225
Klemmfilz – 035	0,075							0,375
	0,095							0,475
vapour retarder (sd=100m)	0,001	130	0,001	2300	2,3	100000	Ukendt	500
FERMACELL Gypsum-Fibreboard	0,015	1153	0,52	1200	0,32	16	Ukendt	1,2

U-værdi

45mm mineraluld	$0,48 \frac{W}{(m^2 K)}$
75mm mineraluld	$0,34 \frac{W}{(m^2 K)}$
95mm mineraluld	$0,28 \frac{W}{(m^2 K)}$

Vandindhold i konstruktionen

Isoleringstykkel	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m ²]	Pkt.	Reduktion ift. type 2.0 [%]	Reduktion ift. eks. konstruktion [%]
45mm	2,9	1	89,4	84,4
75mm	3,0	1	89,3	89,9
95mm	3,1	1	89,1	83,4

Tabel 34: Maksimalt vandindhold i den samlede konstruktion, efter normaliserede forhold for sydvest vendt facade samt procentuel forøgelse i forhold til eksisterende konstruktion.

Se beregningerne for vandindholdet i konstruktionen i Figur 88 under Bilag 10.

Vandindhold i mursten

Isoleringstykkelse	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m ³]	Pkt.	Reduktion ift. type 2.0 [%]	Reduktion ift. eks. konstruktion [%]
45mm	4,7	1	93,9	90,7
75mm	5,0	1	93,7	90,1
95mm	5,2	1	93,5	89,7

Tabel 35: Maksimalt vandindhold i murværk, efter normaliserede forhold for sydvest vendt facade samt procentuel forøgelse i forhold til eksisterende konstruktion.

Se beregningerne for vandindholdet i konstruktionen i Figur 89 under Bilag 10.

Vandindhold i isolering

Isoleringstykkelse	Højeste normaliseret vandindhold [Kg/m ³]	Pkt.	Reduktion ift. type 2.0 [%]
45mm	0,43	1	74,7
75mm	0,44	2	68,5
95mm	0,45	3	65,3

Tabel 36: Maksimalt vandindhold i isoleringen, efter normaliserede forhold for sydvest vendt facade samt procentuel forøgelse i forhold til eksisterende konstruktion.

Se beregningerne for vandindholdet i konstruktionen i Figur 90 under Bilag 10.

RF i materialeskellet murværk / isolering

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
45mm	71,5	1	0,0
75mm	78,5	2	Ca. 2,5
95mm	80,1	3	Ca. 4,5

Tabel 37: Maksimalt relativt fugtindhold i materialeskellet murværk/isolering, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for det relative fugtindhold i materialeskellet mellem murværk / isolering i Figur 91 under Bilag 10.

RF i materialeskellet isolering / dampspærre

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
45mm	70,2	1	0,0
75mm	74,8	2	0,0
95mm	77,6	3	Ca. 0,05

Tabel 38: Maksimalt relativt fugtindhold i materialeskellet isolering/dampspærre, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for det relative fugtindhold i materialeskellet mellem isolering / dampspærre i Figur 92 under Bilag 10.

RF i materialeskellet dampspærre / gipsplade

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
45mm	70,9	1	0,0
75mm	70,6	1	0,0
95mm	70,5	1	0,0

Tabel 39: Maksimalt relativt fugtindhold i materialeskellet dampspærre/gipsplade, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for det relative fugtindhold i materialeskellet mellem dampspærre / gips i Figur 93 under Bilag 10.

RF i materialeskellet indvendig side

Orientering	Højeste RF [%]	Pkt.	Periode over 75% RF [mdr./år]
45mm	70,8	1	0,0
75mm	70,7	1	0,0
95mm	70,5	1	0,0

Tabel 40: Maksimalt relativt fugtindhold på indvendig side af gipsplade, efter normaliserede forhold samt periode med RF over 75%.

Se beregningerne for det relative fugtindhold i materialeskellet mellem dampspærre / gips i Figur 94 under Bilag 10.

6.6 HEAT 2 beregninger af linjetab og overfladetemperaturer

6.6.1 Lodret detalje – Skel i væg ved skift i facadebånd

Linjetabsberegninger

Konstruktionstype	Linjetab [W/mK]	Reduktion [%]
Eksisterende forhold	0,727	
Ytong, 25mm	0,166	77,1
Ytong, 50mm	0,112	84,5
Ytong, 75mm	0,087	88,0
Ytong, 100mm	0,071	90,2
Mineraluld, 45mm	0,107	85,2
Mineraluld, 75mm	0,066	90,9
Mineraluld, 95mm	0,063	91,2

Tabel 41: Beregning af linjetab ved forskellige isoleringsmetoder og -tykkelser for detaljen: Skel i væg ved skift i facadebånd.

Overfladetemperaturer

Konstruktionstype	Temp. a [°C]	Temp. b [°C]	Temp. c [°C]	Temp. d [°C]	Temp. e [°C]	Temp. f [°C]	Temp. g [°C]
Eksisterende forhold	15,8	X	16,49	X	13,7	X	
Ytong, 25mm	7,3	17,6	4,0	18,8	3,9	16,7	
Ytong, 50mm	4,7	18,4	2,8	19,2	2,1	18,2	
Ytong, 75mm	3,4	18,8	2,2	19,2	1,3	18,7	
Ytong, 100mm	3,3	19,6	2,3	19,7	1,5	19,6	
Mineraluld, 45mm	4,3	18,6	2,5	19,2	1,8	18,4	-0,2
Mineraluld, 75mm	2,2	19,1	1,4	19,5	1,0	19,1	-0,2
Mineraluld, 95mm	2,5	19,1	1,5	19,6	0,8	19,1	-0,3

Tabel 42: Beregning af overfladetemperaturer ved forskellige isoleringsmetoder og -tykkelser for detaljen: Skel i væg ved skift i facadebånd.

6.6.2 Lodret detalje – Fundament

Linjetabsberegninger

Konstruktionstype	Linjetab [W/mK]	Reduktion [%]
Eksisterende forhold	2,294	
Ytong, 25mm	0,321	86,0
Ytong, 50mm	0,274	88,0
Ytong, 75mm	0,252	89,0
Ytong, 100mm	0,239	89,5
Mineraluld, 45mm	0,268	88,3
Mineraluld, 75mm	0,243	89,4
Mineraluld, 95mm	0,234	89,8

Tabel 43: Beregning af linjetab ved forskellige isoleringsmetoder og -tykkelser for detaljen: Fundament.

Overfladetemperaturer

Konstruktionstype	Temp. a [°C]	Temp. b [°C]	Temp. c [°C]	Temp. d [°C]	Temp. e [°C]
Eksisterende forhold	17,9	16,0	X	15,8	X
Ytong, 25mm	5,8	6,2	17,4	7,8	17,5
Ytong, 50mm	5,1	4,5	16,9	5,4	18,5
Ytong, 75mm	4,9	5,1	16,8	3,9	18,9
Ytong, 100mm	4,9	4,9	16,7	2,8	19,0
Mineraluld, 45mm	5,0	5,4	17,1	4,6	18,6
Mineraluld, 75mm	4,5	4,6	16,9	2,4	19,2
Mineraluld, 95mm	4,3	4,6	18,3	2,3	19,3

Tabel 44: Beregning af overfladetemperaturer ved forskellige isoleringsmetoder og -tykkelser for detaljen: Fundament

6.6.3 Vandret detalje – Indvendig bærende væg

Linjetabsberegninger

Konstruktionstype	Linjetab [W/mK]	Forøgelse [%]	Linjetab [W/mK]	Reduktion [%]
Eksisterende forhold	0,474			
Ytong, 25mm	0,489	3,1	0,375	20,7
Ytong, 50mm	0,484	2,0	0,339	28,4
Ytong, 75mm	0,479	1,0	0,314	33,7
Ytong, 100mm	0,479	1,0	0,296	37,4
Mineraluld, 45mm	0,503	6,0	0,338	28,5
Mineraluld, 75mm	0,495	4,4	0,306	35,3
Mineraluld, 95mm	0,483	1,9	0,292	38,3

Tabel 45: Beregning af linjetab ved forskellige isoleringsmetoder og -tykkelser for detaljen: Indvendig bærende væg.

Overfladetemperaturer

Konstruktionstype	Temp. a [°C]	Temp. b [°C]	Temp. c [°C]	Temp. d [°C]	Temp. e [°C]
Eksisterende forhold	19,5	X	15,6	15,7	X
Ytong, 25mm	18,4	14,2	11,1	7,9	17,7
Ytong, 50mm	18,0	14,3	9,9	5,1	18,5
Ytong, 75mm	17,8	14,6	8,8	3,9	18,9
Ytong, 100mm	17,2	15,0	7,8	3,0	19,1
Mineraluld, 45mm	18,0	15,0	9,0	4,7	18,5
Mineraluld, 75mm	17,7	15,3	8,5	3,1	18,8
Mineraluld, 95mm	17,5	15,4	7,8	2,7	19,2

Tabel 46: Beregning af overfladetemperaturer ved forskellige isoleringsmetoder og -tykkelser for detaljen: Indvendig bærende væg

6.6.4 Vandret detalje – Stålsøjle i ydervæg

Linjetabsberegninger

Konstruktionstype	Linjetab [W/mK]	Reduktion [%]
Eksisterende forhold	0,2	x
Ytong, 25mm	0,124	38,0
Ytong, 50mm	0,090	54,9
Ytong, 75mm	0,071	64,7
Ytong, 100mm	0,058	71,1
Mineraluld, 45mm	0,085	57,7
Mineraluld, 75mm	0,062	69,1
Mineraluld, 95mm	0,052	73,8

Tabel 47: Beregning af linjetab ved forskellige isoleringsmetoder og -tykkelser for detaljen: Stålsøjle i ydervæg.

Overfladetemperaturer

Konstruktionstype	Temp. a [°C]	Temp. b [°C]	Temp. c [°C]	Temp. d [°C]	Temp. e [°C]
Eksisterende forhold	14,9	17,5	X	15,8	X
Ytong, 25mm	8,2	9,9	18,2	8,0	17,8
Ytong, 50mm	5,5	6,8	18,7	5,0	18,5
Ytong, 75mm	4,0	4,9	18,9	3,7	18,8
Ytong, 100mm	3,1	3,9	19,1	2,8	19,1
Mineraluld, 45mm	5,0	6,2	18,8	4,7	18,6
Mineraluld, 75mm	3,4	4,2	19,1	3,1	19,0
Mineraluld, 95mm	2,7	3,4	19,2	2,4	19,2

Tabel 48: Beregning af overfladetemperaturer ved forskellige isoleringsmetoder og -tykkelser for detaljen: Stålsøjle i væg

6.7 BE15 beregninger

Eksisterende forhold

Nøgletal, kWh/m² år		
Renoveringsklasse 2		
Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
142,3	0,0	142,3
Samlet energibehov		791,9
Renoveringsklasse 1		
Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
75,1	0,0	75,1
Samlet energibehov		791,9
Energiramme BR 2015		
Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
43,3	0,0	43,3
Samlet energibehov		648,3
Energiramme Byggen 2020		
Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
25,0	0,0	25,0
Samlet energibehov		484,0

Bidrag til energibehovet		Netto behov	
Varme	718,1	Rumopvarmning	545,3
El til bygningsdrift	29,5	Varmt brugsvand	5,3
Overtemp. i rum	0,0	Køling	0,0
Udvalgte elbehov		Varmetab fra installationer	
Belysning	29,5	Rumopvarmning	172,8
Opvarmning af rum	0,0	Varmt brugsvand	0,0
Opvarmning af vbv	0,0		
Varmpumpe	0,0	Ydelse fra særlige kilder	
Ventilatorer	0,0	Solvarme	0,0
Pumper	0,0	Varmpumpe	0,0
Køling	0,0	Solceller	0,0
Totalt elforbrug	44,8	Vindmøller	0,0

Energirammen ved eksisterende forhold kan ikke overholde kravet til renoveringsklasse 2. Det samlede energiforbrug er beregnet til 791,9 kWh/m² pr. år.

Inddata til energirammeberegningen for eksisterende forhold, er vedlagt under Bilag 4.

Fremtidige forhold

Nøgletal, kWh/m² år		
Renoveringsklasse 2		
Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
142,3	0,0	142,3
Samlet energibehov		135,0
Renoveringsklasse 1		
Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
75,1	0,0	75,1
Samlet energibehov		135,0
Energiramme BR 2015		
Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
43,3	0,0	43,3
Samlet energibehov		113,5
Energiramme Byggeni 2020		
Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
25,0	0,0	25,0
Samlet energibehov		84,3

Bidrag til energibehovet		Netto behov	
Varme	107,1	Rumopvarmning	106,6
El til bygningsdrift	11,1	Varmt brugsvand	5,3
Overtemp. i rum	0,0	Køling	0,0
Udvalgte elbehov		Varmetab fra installationer	
Belysning	3,3	Rumopvarmning	0,5
Opvarmning af rum	0,0	Varmt brugsvand	0,0
Opvarmning af vbv	0,0		
Varmpumpe	0,0	Ydelse fra særlige kilder	
Ventilatorer	7,9	Solvarme	0,0
Pumper	0,0	Varmpumpe	0,0
Køling	0,0	Solceller	0,0
Totalt elforbrug	20,1	Vindmøller	0,0

Kravet til energirammen for renoveringsklasse 2 kan iht. BE15 overholdes iht. nedenstående tabel:

Konstruktion	Energiramme [kWh/m² år]
Ytong 25mm	172,0
Ytong 50mm	139,7
Ytong 75mm	123,9
Ytong 100mm	114,1
Mineraluld – 45mm	137,3
Mineraluld – 75mm	116,4
Mineraluld – 95mm	108,7

Det samlede energiforbrug er beregnet til 135,0 kWh/m² pr. år ved indvendig efterisolering med 45mm mineraluld.

Kravene i BR18 opfyldes ved en reduktion på 656,9 kWh/m² år.

Energirammen er udregnet iht. SBI-anvisning 213, med beregningsprogrammet BE15.

Bygningens energiforbrug forsynes hovedsageligt fra fjernvarme, hvilket anses som en vedvarende energikilde.

Inddata til energirammeberegningen for eksisterende forhold, er vedlagt under Bilag 4.

7 Diskussion

7.1 Eksisterende forhold

Opstigende fugt i bygningernes udvendige facader vurderes som et stort problem, såfremt der skal udføres en indvendig efterisolering af bygningens facader. Den opstigende fugt vil være medvirkende til, at der opstår uforholdsmæssigt høje niveauer af fugt på indvendig side pga. den konstante fugtpåvirkning og det reducerede varmetilskud. Opfugtningen vurderes at være betinget af nedenstående kilder, som hver især gør sig gældende i forbindelse med opfugtning af facaderne.

1. Opstigende grundfugt
2. Vandtryk
3. Funktionssvigt i facaden

Opstigende grundfugt

Som det ses på Figur 30 under afsnit 3.3 af Eksisterende ydervægge, er ydervæggens murværk udført som blank teglvæg til fundament. Dette tillader derfor en direkte forbindelse mellem teglvæg, jordlag og terrænbelægning af asfalt. Arkitekten må have været opmærksom på, at løsningen potentielt kan give fugtproblemer. Derfor er der også indtegnet en fugtspærre i både vandret og lodret plan i den del af væggen, der er nedsænket under jordlaget.

Såfremt fugtspærren hindrer fugttransporten igennem facaden, vurderes løsningen med stor sandsynlighed, at fungere effektivt i den første del af bygningens levetid. Det må dog forventes med en alder på 83 år, at fugtspærren ikke længere fungerer efter hensigten. Den lange tidsperiode med konstante påvirkninger fra fugt, salte (se afsnit 6.1), temperatursvingninger omkring frysepunktet kombineret med mekanisk påvirkning, fra vindbelastning af bygningens facader. Der må derfor kunne forventes en naturlig nedbrydning af fugtspærren.

Det er ikke muligt, at identificere hvilken type materiale der er benyttet som fugtspærre. Med udgangspunkt i datidens benyttede materialer, formodes det at være udført som en form for asfalt- tjæreimprægneret membran (Justitsministeriet, 1912). Materialer af denne type og tidsperiode er erfaringsmæssigt kendt for med tiden at blive sprød og derfor miste sin elasticitet eller helt opløst (Slots- og Kulturstyrrelsen, 2012).

Gennembryder fugtspærren ikke forbindelsen mellem fuge og mursten på begge sider af facaden, er det muligt for fugten at blive suget længere op i facaden udenom fugtspærren.

Der er i forbindelse med de indledende undersøgelser af bygningens facader, udført målinger på både udvendig og indvendig side af facaden, og resultatet er entydigt. På udvendig side er der foretaget kapacitive målinger, som alle viser tegn på opfugtning med koncentrationer størst omkring

terræn. Der opnås generelt høje værdier i facadens nederste 7-9 skifter på mellem 70-85, hvilket vurderes højt i forhold til referenceværdien målt til 15 for tørt murværk.

Det er specielt bemærkelsesværdigt, at der på bygningens sydvest vendte facade kan måles så høje værdier, da facaden er afskærmet for nedbør pga. halvtaget mellem skolens hovedbygning og gymnastiksalen.

Målingerne af fugtindholdet i ydervæggene er foretaget på indvendig side efter princippet for fugthætten, og de viser et lignende billede.

Fugtmålingen på den del af ydervæggen, der er ført under jordlaget (SBI nr. 5144) viser et normaliseret relativt fugtindhold på 93%, og der ses ingen sammenhæng med den udvendige luft fugtforløb. Opfugtningen af facaden vurderes derfor at ske fra det omkringliggende jordlag og ind i murstenene via kapilarsugning.

Sammenlignes resultatet med fugtprofilet for målepunktet 1,5 meter over betonklaplaget (SBI nr. 5362), ses et markant anderledes forløb. Efter fugtmålingen er normaliseret, ligger den relative fugtighed for måleperioden mellem 77-82,5%. Sammenlignes fugtprofilet med de udvendige forhold, ses der en direkte sammenhæng, da ændringer i udeklimaet fører til ændringer på indvendig side efter ca. 1-2 dages varighed. Fugtniveauet vurderes at være i den høje ende af skalaen, hvilket svarer godt overens med de kapacitive fugtmålinger i Bilag 3, Figur 56, udført på samme område på udvendig side. Placeringen af fugtmåleren (SBI nr. 5362) stemmer overens med 22,5 skifter overbetonklaplaget, hvilket er i bræmmen med værdier mellem 70-85%.

Vandtryk

Opfugtningen af teglvæggen kan yderligere ske som følge af vandtryk på facaden. Terrænbelægningen af asfalt er ført direkte op til facaden uden at sikre effektivt fald væk fra bygningen. Afledningen af nedbør fra tagfladerne sker til render i terræn på nordøst vendt facade. Dette vurderes som en uhensigtsmæssig løsning. Både på baggrund af, at der ikke er sikret tilstrækkeligt fald væk fra bygningen, men også fordi løsningen ikke er dimensioneret iht. den øgede nedbørsmængde.

Funktionssvigt i facaden

Udvaskede fuger er et fugtteknisk problem på murede facader. Det er medvirkende til, at nedbør ikke kan bortledes effektivt, og dermed tilbageholdes da den ikke frit kan løbe ned over facaden. I stedet bliver den tilbageholdt i de små recesser, der opstår mellem murstenene, når mørtelfugerne udvaskes, hvorefter den kan opsuges i murværket.

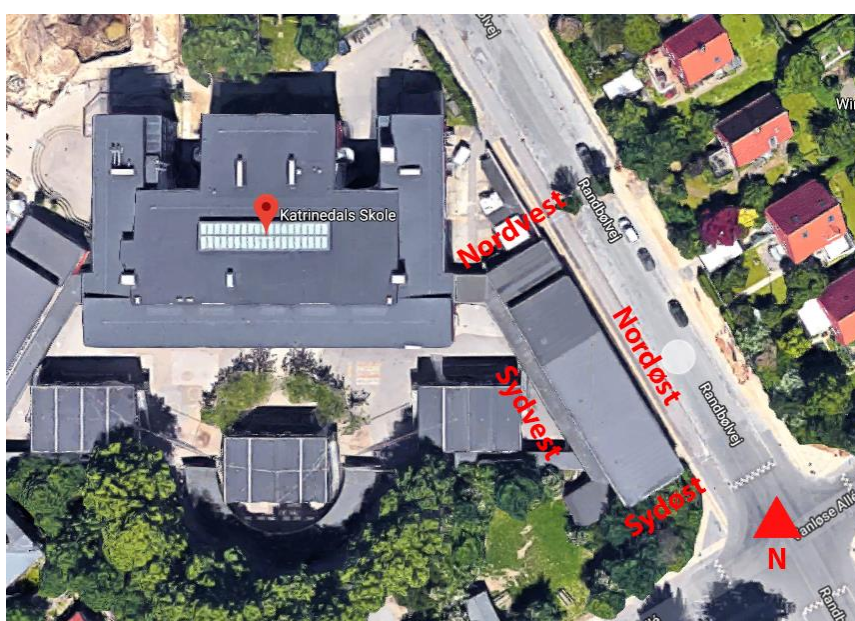
Da inddækningernes funktion er at sikre tætte konstruktionssamlinger mellem de forskellige bygningsdele, opstår der stor risiko for opfugtning af de bagvedliggende konstruktioner, hvis ikke de er udført tætte.

Dette gælder specielt for træet i bindingsværket langs facadebåndet rundt om bygningerne samt det konstruktive stålsystem, der udsættes for unødige fugtpåvirkninger.

7.2 Eksisterende konstruktion

Beregning af fugtpåvirkningen af eksisterende facader, benyttes til at definere facaden med størst fugtpåvirkning. Såfremt der måtte opstå en uensartet fugtpåvirkning, forventes denne at opstå pga. de udvendige forhold kombineret med facadernes orientering.

Beregningerne er blevet udført på drengesalen for facader med orientering imod nordøst, sydøst, sydvest og nordvest se Figur 53.



Figur 53: Geografisk orientering af drengesalens facader, Kilde Google Maps

For at finde frem til, hvilken af facaderne, der udsættes for den største fugtpåvirkning, gennemgås de fugttekniske beregninger udført i WUFI.

Iht. værdierne i Tabel 9, er det totale vandoptag i den samlede konstruktion størst i den sydvest vendte facade med et vandoptag, der er 434% større end den nordøstvendte facade. Ca. 48% større end facaden orienteret imod sydøst og nordvest. Tidspunktet for hvornår vandoptaget er størst, er en smule forskelligartet alt efter facadens orientering. Det sker hovedsageligt i den kolde del af året fra midt november og frem til midten af april, med det største vandindhold omkring årsskiftet. Opfugtningen af teglfacaderne pga. nedbør, anses som en væsentlig risiko, som kan forårsage kritiske fugtforhold ved en indvendig efterisolering. Det er derfor vigtigt at undersøge, hvorvidt nedbørsmængden er så stor, at murværket ikke kan

betragtes som tæt, grundet dets evne til kapillaropsugning af den nedbør, der rammer facaden.

Som beskrevet under afsnit 2.4.2, indeholder teglen et sammenhængende åbent system af pore. Dette er et miks af både fine og grove pore.

Indtrængningsdybden for fugten i teglvæggen er derfor betinget af to parametre; mængden af nedbør samt tidsperioden opfugtningen af facaden pågår. Med udgangspunkt i Figur 9 under afsnit 2.4.2, vil grove pore fyldes og tømmes med vand hurtigere end fine pore. Indtrængningsdybden er derfor begrænset for de grove, men langt større for de fine. Det er derfor nødvendigt, at afdække om nedbørsmængden er så stor, og sker over en så lang periode, at hele teglvæggen bliver opfugtet.

Såfremt dette er tilfældet, vil der kunne tilføres betragtelige mængder fugt til den indvendige side af teglvæggen.

Ved udførelse af en indvendig efterisolering, er det essentielt at holde fugtindholdet på den indvendige side af regnskærmen på et minimum, da dette reducerer risikoen skimmelvækst.

For at afdække om der sker et fugttilskud til det bagvedliggende pudslag, som følge af vandpåvirkning af facadens udvendige side, kigges der på forløbet over årets koldeste periode. Her er fugtbelastningen fra indvendig side lavest, mens fugtbelastningen iht. Figur 62 er størst på udvendig side. Forløbet for vandindholdet i det indvendige pudslag er for facaderne med orientering imod nordøst, sydøst og nordvest (Figur 63 pkt. 1, 2 og 4) nogenlunde ensartet. Facaden orienteret imod nordøst har lavest vandindhold, mens vandindholdet stiger i facaderne mod nordvest og sydøst. Der kan dog ses en mindre forskydelse i vandindholdet afhængigt af facadens orientering.

Forløbet for vandindholdet i den sydvestvendte facade er markant anderledes, og her kan der konstateres et højt vandindhold i både den kolde - (Figur 63 pkt. a) og den varme del af året. Årsagen til denne markante forskel til de andre facader, forventes at opstå både pga. øget fugtpåvirkning over årets kolde periode samt sandsynligheden for kapillarkondensation i murværkets porestruktur (se pkt. 2.4.3 Fugt i materialer).

Kapillarkondensation skaber en menisk mellem de to vandlag i materialets porestruktur, og udtørringen af facaden forsinkes pga. hysteres (Brandt, 2013), da kohæisionskræften imellem vandmolekylerne forsinker udtørringen. Dette kombineret med øget fugtpåvirkning, vurderes at være årsag til det kontinuerlige høje fugtindhold i pudslaget.

Da den indvendige fugtbelastning er ens på alle facader, er der en god sandsynlighed for, at forskydningen skyldes et fugttilskud til pudslaget fra murværket.

Fugttilskuddet til konstruktionen fra nedbør, kan derfor ikke kun isoleres til murværket, men vil også have indflydelse på de bagvedliggende materialelag. Murværket kan derfor ikke betragtes som vandtæt. At murværket ikke kan betragtes som tæt, kan være vise sig problematisk ved indvendig efterisolering, da varmetilskuddet til teglydervæggen reduceres.

For at afdække om der opstår kritiske fugtforhold, som følge af denne opfugtning, er det nødvendigt at kigge på den relative fugtighed i udsatte områder. Det er normalt på materialeoverflader i f.eks. materialeskel, hvor materialer af forskellige typer mødes, at der opstår problemer med skimmel. Generelt er sandsynligheden for at der opstår skimmelvækst i materialeskellet mellem murværk/puds minimalt, da skimmel kun vokser på materialeoverflader (Møller, 2013), hvor skimmelsvampens spore har adgang til at sætte sig og blomstre. Yderligere kræves der erfaringsmæssigt en meget høj relativ fugtighed på 95% eller derover, for at det er sandsynligt, at skimmel kan leve af de begrænsede næringsstoffer, der er til rådighed på puds (Gravesen, Nielsen, & Valbjørn, 2002).

Iht. Tabel 12 er den maksimalt registrerede relative fugtighed i materialeskellet mellem murværk/puds forskelligt alt efter orienteringen af facade. Det er igen facaden imod sydvest, der opnår højeste niveau på 88,5%. Forløbet for facaden mod sydvest i Figur 64, er meget ensartet med forløbet i Figur 62, og det kan derfor konstateres, at opfugtningen af pudslaget gennem murværket, har en væsentlig indflydelse for den relative fugtighed.

På den indvendige overflade af pudslaget, opstår der iht. Tabel 13 ikke kritiske fugtforhold. Beregningen viser forløb i små perioder ind over sommeren, med niveauer i nærheden af 75% RF (Figur 65 pkt. 1). Perioderne er dog så korte, at det ikke giver grund til bekymring. Resultatet af beregningen i Tabel 13 er en smule overraskende, grundet den høje RF i Tabel 12, specielt for den sydvest vendte facade. Det indvendige pudslag må grundet sin fine porestruktur tilbageholde tilpas nok vand i murværket, så der ikke opstår kritiske forhold indover sommerperiode, hvor den relative fugtighed er højest.

De beregnede overfladetemperaturer fra HEAT2 (se afsnit 0), giver ikke anledning til bekymring, da den kritiske overfladetemperatur er fastsat til 12,5.

7.3 Indvendig efterisolering – Type 1.0

Første forslag til en indvendig efterisolering vil være, at der anvendes en diffusionsåben og kapillaraktiv mineralsk isoleringsplade af porebeton. Valget er motiveret af det høje vandindhold i den sydvest vendte facade, der medfører et fugttilskud fra murværket. Materialet har med sin λ -værdi på 0,04 W/mK ikke de bedste isolerende egenskaber, sammenlignet med mineraluld opskummede plastmaterialer som PU-skum.

Det kan dog pga. sine kapillaraktive egenskaber, være en optimal løsning, da fugttilskuddet fra murværket kan opsuges i materialet og bortventileres på indvendig side. Varmetabet igennem konstruktionen reduceres derfor i mindre grad, end hvis der benyttes en traditionel løsning, som en forsatsvæg med mineraluld og dampspærre.

Isoleringsmaterialet er 100% uorganisk og har en høj PH-værdi, hvilket minimerer risikoen for skimmeldannelse på materialets overflader (Pia & Nielsen, 2003).

Da der ønskes højest mulig isolerende effekt, uden at det bliver fugtteknisk uforsvarligt, afdækkes effekten af forskellige isoleringstykkelser, da varmetilskuddet til konstruktionen reduceres ved indvendig isolering. Der kan pga. efterisoleringen opstå situationer med kritiske fugtforhold, da fugten i luft omdannes til kondens ved kontakt til kolde overflader.

Yderligere kan det reducerede varmetilskud betyde en større vandophobning i konstruktionens materialeglag, da dette ikke længere fjernes ligeså effektivt.

Derfor udføres der beregninger for isoleringstykkelserne 25mm, 50mm, 75mm og 100mm.

Udover at afdække effekten af reduceret varmetilskud, ønskes det også afdækket, hvorvidt tykkelsen af isoleringsmaterialet har en effekt på materialets transportegenskaber af fugt. Det forventes, at jo tykkere isoleringsmaterialet er, desto længere tid vil materialet være om at transportere fugten fra den ene side til den anden. Kombineres den reducerede evne til fugttransport med en øget relativ fugt, forventes det at der opstår periodevis kraftig opfugtning af materialet, hvilket kan være u hensigtsmæssig.

Vandindholdet øges iht. Tabel 14 generelt i konstruktionen, hvilket giver god mening, da der introduceres nye materialer i konstruktionen.

Forløbet for op- og affugtning af konstruktionen er iht. Figur 66 ens for alle isoleringstykkelser, dog med mindre forskydelser i mængden af vandoptag. Desto tykkere isolering desto større vandmængde optages der i konstruktionen.

Det øgede vandindhold i konstruktionen kan give anledning til bekymring, såfremt dette har indflydelse på den relative fugtighed på overflader og i materialeskel.

Figur 68 viser vandindholdet i isoleringsmaterialet, og det fremgår tydeligt

at der er en væsentlig forskel, på vandindhold og udtørringstid afhængigt af isoleringstykkelse (pkt. a, b, c og d).

Kigges der på vandindholdet i isoleringsmaterialet i Figur 68, ses der som forventet en hurtig op- og affugtning af det tynde isoleringsmateriale, hvorfor perioden med højt vandindhold er meget kortere end i øget isoleringstykkelse.

Generelt sker opfugtningen af materialet i den kolde periode af året omkring årsskiftet, hvor isoleringsmaterialet når det maksimale vandoptag forskudt af hinanden. Forskydningen skyldes isoleringsmaterialets egenskab for øget vandoptag alt afhængigt af tykkelsen.

Da isoleringsmaterialets vandindhold øges over årets kolde periode, må det forventes at fugttilskuddet sker gennem murværket.

Figur 71 viser den beregnede flux for fugttransporten i materialeskellet mellem murværk/isolering. Positive værdier er et udtryk for fugttransport fra udvendig side mod indvendig, altså fra murværk til isolering. Negative værdier er omvendt et udtryk for fugttransport fra isolering til murværk. Fluxen er et udtryk for den samlede fugttransport, ved både kapillarsugning og diffusion.

Mængden af fugt, der kan transporteres, er nogenlunde ens over tid. Derfor er forskellen på perioden hvor isoleringsmaterialet affugtningen altså betinget af vandmængden i materialet. Fugttransporten fra murværket til isoleringen starter med at stige omkring december og fortsætter frem til omkring start juni for isoleringstykkelserne 50-100mm. Herefter begynder mængden af fugt, der transporteres, at aftage.

Omkring august måned opstår der situationer, hvor transportretningen ændrer retning da fluxværdien bliver negativ. Dette vurderes at være fordi murværket nu er så tørt, at det begynder at kunne optage fugt fra isoleringsmaterialet. Fra august og frem til april ses et forløb, hvor retningen af fugttransport regelmæssigt skifter grundet hyppigheden af nedbør, som her aftager.

I Tabel 17 ses de maksimalt opnåede værdier for den relative fugtighed i skellet mellem murværk og isoleringen. Niveauet er generelt meget højt og der opnås værdier på over 90% relative fugtindhold for alle isoleringstyperne. Niveauet stiger ind over årets kolde periode og falder igen i årets varme periode.

Ved 25-50mm isolering ses der på kurverne i Figur 69 overordnet en årsvariation. Kurven for det relative fugtindhold svinger, da der sker en forholdsvis effektiv op- og affugtning. Temperaturen reduceres mindst ved disse isoleringstykkelser og medvirker yderligere til hurtigere affugtning. For isoleringstykkelserne på 75-100mm ses et mere jævnt og længerevarende forløb, hvorfor årsvariationen bliver meget lille.

Det høje relative fugtindhold er langt over grænsen på 75% RF, som normalt er retningsgivende for et sundt fugtniveau i en konstruktion. Pladerne er godt nok 100% uorganiske og har en høj PH-værdi, hvilket under normale omstændigheder vil modvirke vækstbetingelserne for skimmelvækst og nedbryde svampe i materialet.

Da efterisoleringen af ydervæggene også foretages indover bindingsværket i det øvre facadebånd, er der dog grund til bekymring.

Det vurderes, at hvis alle materialer var uorganiske, ville fugtindholdet ikke give anledning til bekymring. Fugtniveauet er meget højt over det meste af året, hvilket antages at kunne medføre, at træet opfugtes i en sådan grad, at det kan medføre nedbrydende råddannelser.

På trods af, at de beregnede overfladetemperaturer for detaljen omkring bindingsværket i Tabel 41, pkt. a, c og e er lave, så anses det som uhensigtsmæssigt, at udsætte organisk materiale for så kraftig en opfugtning. Overfladetemperaturen er kun et øjebliksbillede for januar, og da de fugttekniske beregninger viser høje fugtniveauer over hele året, ved brug af kapillaraktive isolering plader, vurderes løsningen for uhensigtsmæssig pga. årsvariationen i temperaturen.

Den indvendige overflade af isoleringsmaterialet er eksponeret for almindeligt atmosfærisk luft. Det er derfor nødvendigt at afdække om der opstår forhold, som kan danne grundlag for skimmelvækst.

I materialeskellet er den relative fugtighed størst i den kolde del af året og omvendt, er den højest i årets varme periode på den indvendige side af isoleringspladerne. Selvom isoleringsmaterialet er uorganisk og yderligere har en høj PH-værdi, så er der en reel risiko for, at der med tiden kan gro skimmel på overfladen.

Støv som transporteres i luften, vil med tiden bindes til overfladen, hvilket i kombination med en høj relativ fugtighed på materialets overflade, kan være årsag til skimmeldannelser.

Beregningerne viser dog i Tabel 18 fugttekniske forhold, som vurderes forsvarlige ved valg af alle isoleringstykkelser. Den relative fugtighed når i en meget kort periode lige op over 75%, men perioden vurderes at være for kort til, at der opstår en reel risiko for skimmel.

7.4 Indvendig efterisolering – Type 1.1

Grundet det høje fugtniveau omkring bindingsværket, ønskes det at undersøges, hvorvidt en imprægnering af murværkets facader, vil have en gavnlig reducerende effekt på fugtindholdet i konstruktionen og materialeskel.

Ved imprægnering af facadens murværk sker der en tydelig reduktion af vandindholdet i den samlede konstruktion på ca. 82,5% +/- 2,5%.

Vandindholdet er fortsat højest omkring årsskiftet, hvor nedbørsmængden

og fugtpåvirkningen er størst. Med udgangspunkt i resultatet fra laboratorieprøverne i Figur 38, bør imprægneringen modvirke det momentane vandoptag i murstenene. Det var derfor forventet, at beregningerne viste et generelt mere jævnt forløb dog med mindre momentane udsving grundet imprægneringens hæmmende effekt for hurtigt vandoptag.

Vandindholdet i isoleringspladerne er som forventet en del lavere end i den uimprægnerede konstruktion. Reduktionen er mellem 34,9 til 55,7%, alt afhængigt af isoleringstykkelsen.

Ved sammenligning af den relative fugtighed i materialeskellet mellem murværket og isoleringen, kan det konstateres, at imprægneringen af murværket har en reducerende effekt for perioden med relativ fugtighed over 75% (se Tabel 22). Fugtindholdet når stadig høje niveauer, men det er tydeligt at se i Figur 75, at isoleringen i alle tykkelser formår ganske kortvarigt, at komme under grænsen på 75%. Til trods for reduktionen af den relative fugtighed, er perioden med niveauer over 75%, stadig gældende for det meste af året. Det vurderes derfor, at effekten af et imprægneret murværk kombineret med kapillaraktive isoleringsplader, ikke er hensigtsmæssig, når der er organisk materiale i konstruktionen.

Imprægneringen af murværket har en meget ringe indflydelse på den relative fugtighed på indvendige side af isoleringspladen. Situationen er stort set uændret for alle isoleringstyper, og den yder kun en lille reduktion for det relative fugtindhold ved isoleringstykkelsen på 25mm. Den opnår stadig niveauer på 75% RF, men overstiger dog ikke denne grænse.

7.5 Indvendig efterisolering – Type 2.0

Andet forslag til isoleringsmetode for den indvendige efterisolering, er en løsning med mineraluld monteret i stålskelet. På indvendig side af mineralulden monteres en dampspærre af PE-folie, og konstruktionen afsluttes med en uorganisk fibergipsplade.

Konstruktionstypen er valgt for at afdække om materialernes forskelligartede egenskaber i forhold til den kapillaraktive plade har en gavnlig effekt. Det reducerede varmetab igennem konstruktionen betyder, at overfladerne i materialeskellet ikke længere får tilført samme mængde varme iht. teoriafsnittet pkt. 2.3.

Konstruktionen er, modsat isoleringsmetoden i type 1, ikke kapillaraktiv, da mineraluld er et diskontinuert materiale uden kapillarsugende egenskaber. Grundet konstruktionens manglende kapillaraktive egenskaber, vil fugttransport væk fra materialeskel, kun kunne foregå via diffusion mod indvendig side.

Fugttransport ved diffusion er som beskrevet i teoriafsnittet under afsnit 2.4.2, drevet af potentialeudligning i vanddampstryk. Derfor er transportretningen i opvarmede bygninger fra indvendig mod udvendig side i størstedelen af året pga. den indvendige fugtbelastning og temperatur. Da både mineraluld og gipspladen begge er diffusionsåbne materialer, vil der kunne ske en transport af fugt igennem dem begge, hvorfor der kan opstå fugtproblemer ved de kolde overflader i konstruktionen.

Fugttransport kan også ske ved konvektion, og kan have en væsentlig indflydelse på fugtindholdet. Denne er betinget af en forskel i det atmosfærisk tryk, som kan opstå pga. utætheder i konstruktionerne. Frugttransporten kunne f.eks. ske som i Figur 10 ved vindpåvirkning af en bygningsfacade, hvilket presser fugtig luft igennem konstruktionen.

Der benyttes derfor en dampspærre med en Z-værdi, som er tilstrækkelig høj til at bremse fugttransport ved diffusion. Dampspærren benyttes yderligere som et vindtæt plan, der forhindrer frugttransport ved konvektion.

Grundet det konstaterede vandtilskud, der sker igennem det eksisterende murværk, er det nødvendigt at beregne om dette vil give anledning til fugtproblemer, der kan medføre skimmelvækst eller mekanisk nedbrydning af facaden. Der udføres derfor beregninger for følgende tre isoleringstykkelse 45mm 75mm og 95mm, for at vurdere effekten af det reducerede varmetab.

Det kan iht. Tabel 24 konstateres, at der opstår et højt vandindhold i konstruktion med en forøgelse på ca. 50% sammenlignet med den eksisterende facade. Sammenlignes værdierne i Tabel 25 med Tabel 26 kan det konstateres, at langt størstedelen, ca. 98%, af det øgede vandindhold i

konstruktionen, ligger koncentreret i murværket. Dette er et godt billede af mineraluldens ringe kapillarsugende egenskaber, hvorfor ophobning af vand i isoleringsmaterialet kun sker i en meget ringe grad.

Det er dog bemærkelsesværdigt, at vandindholdet i isoleringen opnår sit maksimum ind over sommerperioden. Det var forventet, at isoleringen ville have et forløb nogenlunde ens med murværket. Det kan dog konstateres ud fra Figur 79, at vandindholdet opnår maksimale værdier omkring juli og august måned. Sammenlignes forløbet i Figur 79 med den beregnede flux for fugttransport i Figur 84 for målepunktet mellem murværk og mineraluld, kan det konstateres, at det momentant høje vandindhold skyldes stor transport af fugt fra murværket til isoleringen i juli og august måned. Det øgede vandindhold må derfor formodes at opstå som følge af sommerkondens.

Iht. Figur 80 er fugtniveauet i materialeskellet så højt, at det befinder sig i det overhydrokroskopiske område. Murværket er derfor meget kraftigt opfugtet, og alle dets pore står væskefyldte. Bliver facaden udsat for høje temperaturpåvirkninger kombineret med kraftig solståling grundet facadens orientering, vil der i juli og august måned opstå så stort et internt damptryk, at fugten forceres ind i isoleringsmaterialet.

I skellet mellem murværk og isolering ligger det relative fugtindhold efter normalisering konstant mellem 99-100% RF. Der opstår derfor en situation med mættet vanddamp, og det må forventes, at området er konstant udsat for kapillarkondensering.

Der er ingen reel forskel på isoleringstykkelserne, så det kan konstateres, at situationen opstår pga. en kombination af reduceret varmetilskud, kraftig udvendig fugtpåvirkning, ringe kapillarsugning fra mineralulden og det damptætte plan mellem isolering og gipsplade. Reduceres varmetilskuddet til konstruktionen, reduceres affugtningen. Dampspærren reducerer konstruktionens mulighed for affugtning til den indvendige side. Affugtning kan derved kun ske fra udvendig side af murværket.

På den indvendige side af dampspærren, ses der ikke problemer. Fugttilskuddet er stort set kun fra den indvendige fugtbelastning, men grundet det reducerede varmetab, kommer den relative fugtighed iht. Figur 30 maksimalt op på 71,2% RF på begge sider af gipspladen.

Isoleringsmetoden giver gode forhold på indvendig side af konstruktionen, men resulterer omvendt i meget u hensigtsmæssige forhold i både materialeskel mellem isolering og murværk, og i murværket alene.

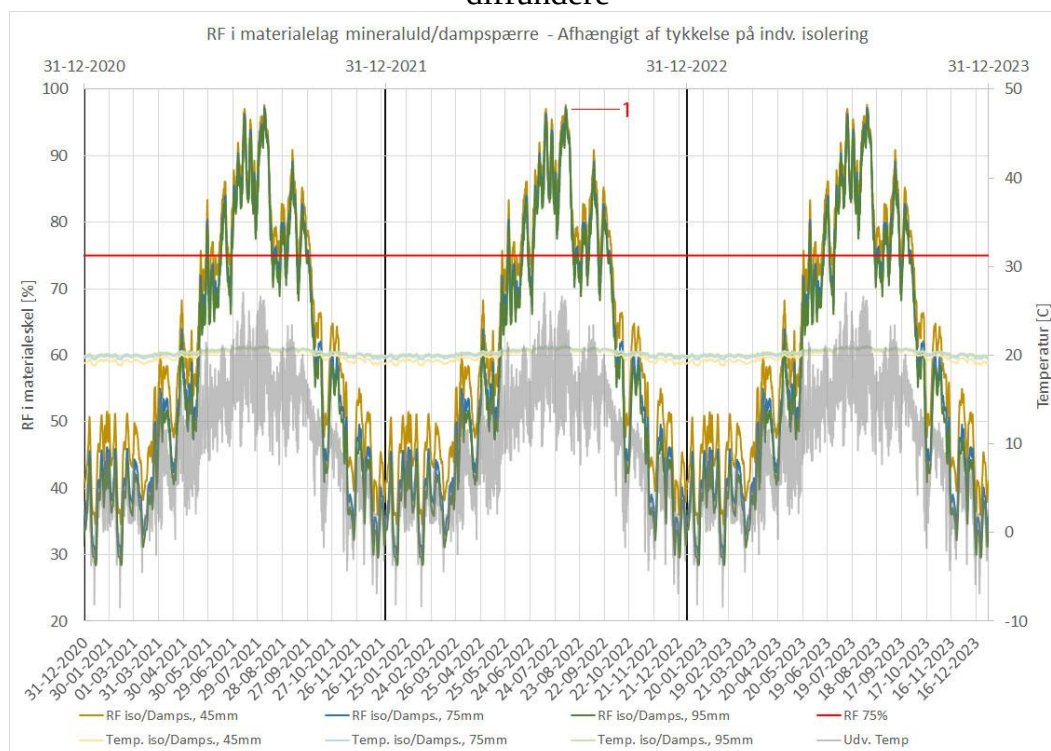
7.6 Indvendig efterisolering – Type 2.1

Som forsøg fjernes dampspærren for at undersøge om det har en effekt på den relative fugtighed i materialeskellet, hvis der tillades fugttransport ved diffusion til indvendig side. Forløbet med vandoptag og sommerkondens er stort set identisk med type 2.0 og beskrives derfor ikke nærmere. Det interessante er fugtniveauerne i materialeskellene..

Sammenlignes resultaterne i Tabel 27 med Tabel 31, så er forskellen mellem de to konstruktioner næsten ikke til at få øje på. Det mest bemærkelsesværdige er, at den relative fugtighed når op på 100% i Figur 85 pkt. 1, hvilket opnås i årets kolde periode, hvor der både er en udvendig fugtpåvirkning samt kondensering af indvendig luft på murværkets kolde overflade.

Der sker en meget lille affugtning i konstruktionen med en isoleringstykkelse på 45mm Figur 85 pkt. a, mens der ikke sker nogen ændring i fugtprofilet for isoleringstykkelserne 75mm og 95mm. Da der ikke sker en reel affugtning, må det konstateres at damptrykket fra indvendig side, er større end i materialeskellet over størstedelen af året.

Fjernes dampspærren fra konstruktionen, vil fugten have mulighed for at diffundere



Figur 81: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed i materialeskellet mellem mineraluld og dampspærre efter normaliserede forhold.

gennem materialerne til fibergipspladens indvendige side og ind i bygningen. Derfor ses der også et øget niveau for den relative fugtighed i Figur 86 sammenlignet med Figur 82, der nu er over grænsen på de 75%. Selvom fibergipspladen er af uorganisk materiale, vil den været eksponeret for organisk materiale og sandsynligheden for, at der opstår skimmelvækst på overfladen, er ganske stor. Vækstforholdene er optimale, da opfugtningen sker over en periode på ca. 5 måneder og temperaturen er oppe på ca. 20° C.

På den indvendige side ses der dog ikke en relativ fugtighed, der giver anledning til bekymring. Derfor er der god sandsynlighed for at der opstår skjult skimmelvækst på bagsiden af gipspladen.

7.7 Indvendig efterisolering – Type 2.2

Grundet det høje vandindhold i konstruktion og niveauet for den relative fugtighed i materialeskellene, forsøges der med en imprægnering af murværkets overflade. Konstruktionsopbygningen er helt identisk med type 2.0. Beregningen for det imprægnerede murværk er udført efter samme metode som beskrevet i afsnit 4.2.1

Vandindholdet i hele konstruktionen er iht. Tabel 34 reduceret markant i forhold til type 2.0 og eksisterende konstruktion pga. imprægneringen af den udvendige side på murværket. Vandindholdet i selve murværket er også kraftigt reduceret som følge af imprægneringen. Der ses derfor i Figur 90 ikke længere den momentane opfugtning i isoleringslaget i juli og august måned, som ved type 2.0 og 2.1 pga. sommerkondens. Opfugtningen af isoleringen er dog stadig højest over sommermånederne.

Fluxen for fugttransporten over materialerskellene i murværk/isolering (se Figur 95) og isolering/dampspærre (se Figur 96) viser, at det øgede fugttilskud til materialeskellet murværk/isolering opstår som en kombination.

Fugttransporten mellem murværk/isolering er lavest over sommerperioden, og der ses et meget varierende forløb over X-aksen. Dette er et udtryk for, at retningen for fugttransporten næsten veksler på dagsbasis. Derfor opstår der ikke store fugtkoncentrationer i målepunktet, da fugttransport fra udvendig side både optages og afgives til isoleringen.

Situationen fra konstruktionstype 2.0, hvor der opstår sommerkondens, er derfor ikke aktuel længere.

Fugttransporten fra indvendig side er stort set ensrettet fra indvendig side mod isoleringen over dampspærren. Dog med undtagelse af en kort periode omkring juni og juli. Her ses der for isoleringstykkelserne på 75 og 95mm en mindre transport af fugt fra isoleringen mod indvendig side, pga. det reducerede varmetilskud.

Det relative fugtindhold i materialeskellet murværk/isoleringen er iht. Tabel 37 aftaget markant sammenlignet med Tabel 27 for konstruktionstype 2.0. Der opnås en maksimal relativ fugtighed på 80,1% ved brug af isoleringstykkelsen på 95mm. Fugtniveauet er dog stadig i den høje ende af skalaen, og vurderes derfor ikke hensigtsmæssig når der er organisk materiale til stede i konstruktionen. Ved en isoleringstykkelse på 45mm opnås der en maksimal relativ fugtighed på 71,5% og ved 75mm 78,5%.

Efterisolering med 45mm isolering vurderes som et forsvarligt valg, da fugtniveauet er under grænsen på 75% hele året. Sammenlignes de beregnede overfladetemperaturer i afsnit 0 med de fugttekniske beregninger i afsnit 0, ses der en god sammenhæng til temperaturforløbet i WUFI for januar måned.

Det er dog ikke de kolde måneder, der vurderes at give fugtproblemer, da både fugtniveau og temperaturen i denne periode er lavest, og vækstbetingelserne derfor er ringe. Det er derimod perioden omkring maj-juli der kan registreres det højeste fugtniveau og temperaturer i materialeskellet omkring bindingsværket. Begge er parametre, som er udslagsgivende for skimmelvækst.

Iht. Figur 5 opnås en den mest effektive reduktion på varmetabet ved isoleringstykkelse på ca. 75mm. Derfor ville det være optimalt, hvis der kunne opnås en isoleringstykkelse på 75mm.

Ved en isoleringstykkelse på 75mm opnås der iht. Tabel 37 acceptable forhold i ca. 9,5 måneder af året, da den relative fugtighed er under 75%. I perioden fra maj-juli ses dog et niveau på maksimalt 78,5%, og temperaturer omkring 20°C. Fugtniveauet er lige over grænsen af de normale anbefalinger for acceptabelt fugtniveau, og perioden er forholdsvis kort.

Grundet den lave overskridelse, kunne der argumenteres for, at løsningen kan benyttes, såfremt at der på træet bliver udført en forebyggende behandling – eventuelt med Protox Svamp, som ifølge producenten, forebygger både skimmel- og svampeangreb. Producenten har desværre ikke kunne fremvise laboratorietest, der underbygger løsningen, og det er derfor kun efter udsagn fra producenten at det er en muligløsning. I såfald bør bygherren underrettes om, at det vil være en risiko forbundet med denne løsning.

En anden løsning kunne være at udføre en bræmme langs kuldebroen med en reduceret isoleringsmængde, hvilket lokalt tillader et større varmetilskud til kuldebroen, og derfor en reduceret relativ fugtighed. Dette medfører dog

behovet for en 2-dimensionel fugt beregning i WUFI 2D, for at afdække effekten, hvilket ikke er medtaget i denne rapport.

Den relative fugtighed i skellet mellem mineraluld / dampspærre er generelt inden for et acceptabelt niveau for alle isoleringstykkelser. Det er kun ved isoleringstykkelsen på 95mm, der ses fugtindhold, der krydser grænsen på 75% RF. Perioden er dog begrænset til et par dage ca. tre gange på et år, så det vurderes ikke, at være noget der giver anledning til problemer. Fugtindholdet omkring gipspladen er på begge sider maksimalt omkring 70% RF, hvorfor det vurderes, at der ikke opstår problemer.

7.8 Fejlkilder

I forbindelse med de fugttekniske beregninger og målinger, som danner grundlag for diskussion og konklusionen, er det nødvendigt at være opmærksom på muligheden for fejlkilder.

I forbindelse med de fugttekniske målinger med både datalogger og kapacitiv måleinstrument kan der opstå fejl som føre til forkerte resultater.

For de capacitive fugtmålinger, kan salte i murværket have spillet en væsentlig rolle for de høje målinger i murværket nederste skifter. Facaden udviser dog så tydelige tegn på opfugtning, pga. skjolder og mekanisk nedbrydning, at de er nogenlunde retvisende. Yderligere kunne der måles forhøjede værdier, i forhold til referencemålingen, i en højde hvor det ikke kan forventes at salte kan stige til.

For datalogning af fugtindholdet i konstruktionerne, kan der opstå misvisende resultater, såfremt tætningen mellem fugthætten og konstruktion ikke er tæt. Derved ville det ikke være retvisende resultater, da fugtniveauerne er påvirket af den atmosfæriske luft. Dog viste målingerne nogenlunde ensartede målinger for betonklaplaget og ydervæggen under terræn. Da de begge er i direkte kontakt med jorden, og der ikke kunne ses en sammenhæng med fugtindholdet i den atmosfæriske luft på indvendig side af bygningen, vurderes de at være retvisende. Fugtmålingerne på indvendig side af facaden, er noget svære at vurdere, da ydervæggens fugtindhold, er betinget af både den atmosfæriske luft, og af påvirkningen fra nedbør. Der kunne dog registreres en forskel i fugt indholdet, hvor målingen 1,5 meter over betonklaplaget viste højere fugtindhold end ved de beskyttede murtavl. Derfor vurderes det at de begge giver et nogenlunde retvisende billede, med mindre der var opstået en utæthed i dem begge.

For fugtberegninger i WUFI, kan der være en del fejlkilder som kan gøre sig gældende. Men det er specielt tre punkter som kan føre store afvigelser. Materialeparametrene for de benyttede materialer der kan give forkerte resultater. Da store dele af materialedatabasen i WUFI, er for tyske produkter kan det være svært at vurdere om de giver et reelt retvisende billede af de faktiske forhold. Den benyttede tegl er dog beskrevet som ”solid brick, extruded – new hand-formed brick (using old manufacturing proces)”, hvilket kunne tyde på en tegl der er fremstillet efter gamle produktionsmetoder. Men om det er ens med den i gymnastiksalen vise ikke med 100% sikkerhed, og der kan derfor godt opstå afvigelser. Opsætningen af effekten for imprægnering, er nogenlunde underbygget med laboratorie rapport, og en metode for ”best practice” forklaret af en erfaren WUFI bruger. Men om det reelt er retvisende er svært at vurdere, specielt når imprægneringen kombineres med ukendte materialeparametre.

Den sidste ting er WUFIs metode for at beregne fugtpåvirkningen af nedbør. Denne indstilles på en skala fra 0 til 1, afhængigt af det forventede procentuelle fugtoptag til murværket. Det er derfor udelukkende en vurderingssag fra gang til gang. Som det ses på beregningerne, så har fugtpåvirkning af blankt murværk, den væsentligste indflydelse på om efterisoleringen er fugtteknisk forsvarlig.

Beregningerne har dog givet til nogenlunde retvisende billede af hvad der var erfaringsmæssigt forventeligt, og de vurderes at være nogenlunde retvisende iht. den beskrevne teori.

8 Konklusion

På baggrund af de foretagende beregninger og den efterfølgende analyse af resultaterne, kan det konstateres at en energioptimering ved indvendig efterisolering, kan opfylde kravet renoveringsklasse 2 i BR18.

Energioptimeringen kan udføres fugtteknisk forsvarlig, hvis flg. forudsætninger opfyldes:

Klimaskærmen skal total renoveres så alle de registrerede svigt udbedres, da disse fugtteknisk vil føre til en supplerende opfugtning af facaden. De registrerede funktionssvigt i facaden vil, hvis ikke de udbedres umuliggøre en indvendig efterisolering, da de er kraftigt medvirkende til at holde facaden opfugtet. Alle beregninger og analyser viser at det hovedsageligt er den udvendige fugtpåvirkning af facaden, der er afgørende for om energioptimeringen er mulig.

Alle de registrerede svigt er vigtige at udbedrer, men det vurderes at specielt den opstigende fugt er et problem. Den opstigende fugt kan konkluderes at opstå, både pga. opstigende grundfugt og pga. vandtryk på facaden. Begge situationer opstår da der anvendes byggeteknik der ikke viser sig egnet til formålet.

Ved indvendig efterisolering af de eksisterende gymnastiksale, kan det konstateres at specielt to parametre gør sig gældende. Fugtpåvirkningen på facaden fra nedbør, har den væsentligste indflydelse på niveauerne for den relative fugtighed i materialeskel. Bindingsværket i bygningernes øvre facadebånd, er dimensionsgivende for grænseværdierne for den tilladelige relative fugtighed, da det består af organisk materiale og risici for skimmelvækst er stor.

Efterisolering med diffusionsåbne og kapillaraktive isoleringsplader, anses med baggrund i beregningerne, ikke som en hensigtsmæssig løsning. Der kan konstateres for højt fugtniveau i materialeskellet mellem murværk/bindingsværk og isoleringsmateriale, grundet dets materialeegenskaber og nedbørspåvirkning. Dette gælder for alle de analyserede isoleringstykkelserne og ved supplerende imprægnering af murværket.

Efterisolering med en traditionel indvendig forsatsvæg, med isolering af mineraluld og damptæt plan, kan konkluderes som holdbar løsning. Dette er dog udelukkende under forudsætning af, at der på udvendig side udføres imprægnering af murværket, og at isoleringstykkelsen ikke overstiger 45mm. Konstruktionsløsningen giver et tilfredsstillende fugt- og temperaturforløb, med årsvariationer der ikke giver anledning til bekymring.

9 Bibliografi

- Bludau, C. (12. 05 2018). *Forum for the WUFI Software family*. Hentet fra Simulating sandstone wall after hydrophobizing: <https://www.wufi-forum.com/viewtopic.php?t=396&highlight=hydrophob%252A>
- Brandt, E. (2013). *SBi-anvisning 224 - Fugt i bygninger*. København SV: Statens byggeforskningsinstitut.
- Brandt, Erik. (1990). *SBi-anvisning 170 - Målemetoder til bygningsundersøgelser*. Hørsholm: Statens byggeforskningsinstitut.
- Christensen, G., Koch, A. P., & Møller, E. B. (2015). *Indvendig efterisolering - ældre ydervægge af murværk*. Hentet fra www.bygerfa.dk: <https://byg-erfa-dk.zorac.aub.aau.dk/indvendig-efterisolering-2015>
- DanSteel. (2018). *Z-kvaliteter/Z-prøvning*. Hentet fra NLMK DanSteel A/S: <http://www.dansteel.dk/7/215/z-kvaliteter.html>
- Eriksen, S. S. (2000). *SBi-anvisning 197 - Fugtundersøgelse i grundmurede bygninger*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Ferraro, C. (12. 05 2018). *Coatings and cavities*. Hentet fra Forum for the WUFI Software family: <https://www.wufi-forum.com/viewtopic.php?t=418>
- Gravesen, S., Nielsen, P. A., & Valbjørn, O. (2002). *By og Byg Resultater 020 - Skimmelsvampe i bygninger*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Justitsministeriet. (1912). *Dansk Byggeskik - Bekendtgørelse af bygningslov for købstæderne I kongeriget Danmark*. Hentet fra [http://danskbyggeskik.dk/Publikationer/326%20-%20Bekendtg%C3%B8relse%20af%20Bygningslov%20for%20K%C3%B8bst%C3%A6derne%20i%20kongeriget%20Danmark%20\(1912\).pdf](http://danskbyggeskik.dk/Publikationer/326%20-%20Bekendtg%C3%B8relse%20af%20Bygningslov%20for%20K%C3%B8bst%C3%A6derne%20i%20kongeriget%20Danmark%20(1912).pdf)
- Kjærsgaard, J. (1995). *Bydelsatlas - Vanløse Grøndal*. København Ø: Skov- og Naturstyrelsen, kontoret for bybevaring.
- Miljøforvaltningen, K. K.-T.-o. (2014). *Katrinédals Skole - Lokalplan nr. 505*. København: Københavns Kommune.
- Munch-Andersen, J. (2008). *SBi-anvisning 221 - Efterisolering af etageboliger*. 2970 Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Møller, E. B. (2013). *Materialenedbrydning, Mekanismer og forebyggelse*. København SV: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.
- Parbo, H., Nyvad, A., & Mortensen, K. K. (2008). *Kend Kemi 1*. København: Gyldendal.
- Pia, A. P., & Nielsen, P. A. (2003). *By og Byg Anvisning 205 - Renovering af bygninger med*. Statens Byggeforskningsinstitut: Hørsholm.
- Rasmussen, T. V., & Nicolajsen, A. (2013). *SBi-anvisning 214 - Klimaskærmens lufttæthed*. Hørsholm : Statens Byggeforsknings Institut.

- Safeguard Europe. (2010). *Façade Cream - Water Uptake Tests on Different Substrates*. Safeguard Europe.
- Schmidt, T. (Marts 2018). On-line help for WUFI-pro 6.2 (e) - 102 help topics. Tyskland.
- Slots- og Kulturstyrrelsen. (2012). *Information om bygningsbevaring - Tagpap*. Hentet fra Kulturministeriet - Slots- og Kulturstyrrelsen: https://slks.dk/fileadmin/user_upload/kulturarv/publikationer/emneopdelt/bygninger/Bygningsbevaring/4.11%20Tagpap.pdf
- Slots- og Kulturstyrrelsen. (2018). *Bevaringsværdige huse*. Hentet fra Slots- og Kulturstyrrelsen: <https://slks.dk/bygningsfredning/fredet-eller-bevaringsvaerdigt/bevaringsvaerdige-huse/>
- Slots- og Kulturstyrrelsen. (04. 15 2018). *Kaj Gottlob*. Hentet fra Kunstindex Danmark & Weilbachs kunstnerleksikon: <https://www.kulturarv.dk/kid/VisWeilbach.do?kunstnerId=6860&vsktion=alle>
- Teknologisk Institut. (1999). *Renoveringshåndbogen MUR & TAG*. Hasselager: Forlaget Tegl.
- Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen. (2018a). www.bygningsreglementet.dk/. Hentet fra Energiforbrug (§ 250 - § 298): <http://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/Krav>
- Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen. (2018b). *Bygningsreglementets vejledning om energiforbrug, Afsnit 4 - Ombygninger og udskiftninger af bygningsdele*. Hentet fra www.bygningsreglementet.dk: http://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/BRV/Energiforbrug/Kap-5_0
- Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen. (2018c). *Fugt og vådrum (§ 334 - § 339)*. Hentet fra www.bygningsreglementet.dk: <http://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/14/Krav>
- Tramex. (15. 04 2018). *Moisture encounter*. Hentet fra moistureencounter.com: <https://moistureencounter.com/mapping>

10 Bilag

10.1 Bilag 1

Tabel 2 - Mindstekrav til klimaskærm ved ændret anvendelse

Bygningsdel	U-værdi [W/m ² K]	
	Rum opvarmet til T > 15 °C	Rum opvarmet til 5 °C < T < 15 °C
Rum opvarmet til	Rum opvarmet til T > 15 °C	Rum opvarmet til 5 °C < T < 15 °C
Ydervægge og kældervægge mod jord	0,15	0,25
Etageadskillelser og skillevægge mod rum, hvor temperaturforskellen mellem rummene er 5 °C eller mere	0,40	0,40
Terrændæk, kældergulve mod jord og etageadskillelser over det fri eller ventileret kryberum	0,10	0,15
Loft- og tagkonstruktioner, herunder skunkvægge, flade tage og skråvægge direkte mod tag	0,12	0,15
Porte	1,80	1,80
Lemme mod det fri eller mod rum, hvor temperaturforskellen mellem rummene er 5 °C eller mere (gælder ikke ventilationsåbninger på under 500 cm ²)	1,40	1,50
Ovenlyskupler	1,40	1,80
Bygningsdel	Linjetab W/mK	
	0,12	0,20
Fundamenter	0,12	0,20
Samling mellem ydervæg og vinduer eller yderdøre, porte og lemme	0,03	0,03
Samling mellem tagkonstruktion og ovenlysvinduer eller ovenlyskupler	0,10	0,10

Figur 54: Tabel for bygningsreglementets mindstekrav til varmetab igennem klimaskærmens konstruktioner i forbindelse med renovering.

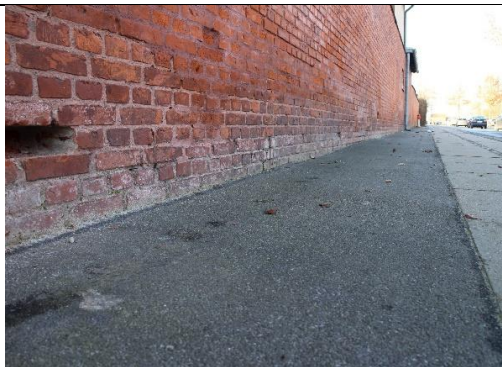
10.2 Bilag 2

Billede materiale fra visuel inspektion

Del 1 - Skjolder på facaden



Billede 1: Facade mod Øst: Tydelige tegn på opfugtning af facade. Misfarvninger og krystalisering af salte på overfladen af tegl.



Billede 2: Facade mod Øst: Tydelige tegn på opfugtning af facade. Fald fra Nord imod Syd. Terræn af asfalt ført op imod facaden.



Billede 3: Facade mod Øst: Tydelige tegn på opfugtning af facade i skellet mellem gymnastiksal og omklædning. Misfarvninger og krystalisering af salte på overfladen af tegl.



Billede 4: Facade mod Øst: Tagnedløb i skellet mellem gymnastiksal og omklædning utæt og årsag til kraftig lokal opfugtning af opmuret facade. Afledning af vand vurderes ineffektiv, da denne afledes direkte til overfladen af terræn og ikke direkte ned i kloak.



Billede 5: Facade mod Øst: Kold læmur viser tydelige tegn på opfugtning som mørke skjolder på facadens overfalde.



Billede 6: Facade mod Nord, musiklokale 2: Tydelige tegn på opfugtning af facade. Misfarvninger og krystalisering af salte på overfladen. Både flisebelægning og jord er ført direkte op til facaden.

Del 2 - Kraftig misfarvning og afskalling af de nederste skifter mod terræn



Billede 7: Facade mod Øst: Misfarvninger og krystalisering af salte på overfladen af tegl. Udvaskning af fuger er specielt kraftig i de fem nederste skifter over terræn. Afskalling på overfalden af mursten ses også hyppigt i dette område.



Billede 8: Facade mod Øst: Udvaskningen af fuger på den Øst vendte facade er meget dybe og er et generelt forekommende problem på facaden.



Billede 9: Facade mod Øst: Tagnedløb i skellet mellem gymnastiksal og omklædning utæt og årsag til kraftig lokal opfugtning af opmuret facade. Afledning af vand vurderes ineffektiv, da denne afledes direkte til overfladen af terræn og ikke direkte ned i kloak.



Billede 10: Facade mod Vest: Tydelige tegn på opfugtning af facade. Misfarvninger og krystalisering af salte på overfladen af tegl i mødet mellem facade på gymnastiksal og toiletbygning.

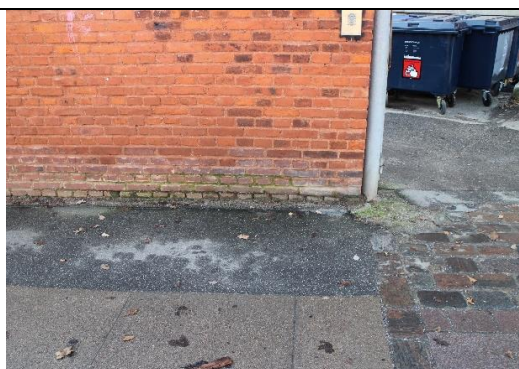
Del 3 - Udvaskede facadefuger



Billede 11: Facade mod Øst: Udvaskningen af fuger på den Øst vendte facade er meget dybe og er et generelt forekommende problem på facaden.



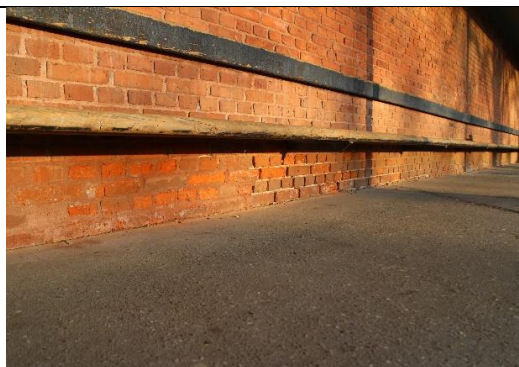
Billede 12: Facade mod Øst: Udvaskningen af fuger på den Øst vendte facade er meget dybe og er et generelt forekommende problem på facaden.



Billede 13: Facade mod Øst: Udvaskning af fuger er også et gentagende problem på den kolde læmur. Yderligere ses et forholdsmæssigt stort antal af teglsten med kraftige springninger, muligvis pga. frostsprængninger.



Billede 14: Facade mod Vest: På Vestvendt facade kan der registreres udvaskning af fuger, selvom facaden er overdækket af halvtaget. Terrænet med asfalt er ført direkte op til den opmurede facade. Enkelte steder kan der registreres afskallede mursten.



Billede 15: Facade mod Vest: På Vestvendt facade kan der registreres udvaskning af fuger, selvom facaden er overdækket af halvtaget. Terrænet med asfalt er ført direkte op til den opmurede facade. Enkelte steder kan der registreres afskallede mursten.

Del 4 - Utætte og ødelagte inddækninger og sålbænke



Billede 16: Facade mod Vest: Kraftig revnedannelse i zinksålbænk under vindusparti i bindingsværket. Her ses hvordan sålbænken er tænkt ført ind under glaspartiet, og forsøgt fastholdt med vindueslisterne.



Billede 17: Facade mod Vest: Sålbænk er her ikke længere mekanisk fastgjort til bindingsværket, hvilket medføre at slagregn, der rammer vinduespartiet, afvandes direkte ned i konstruktionen, samt opfugter stålbjælken der begynder at ruste.

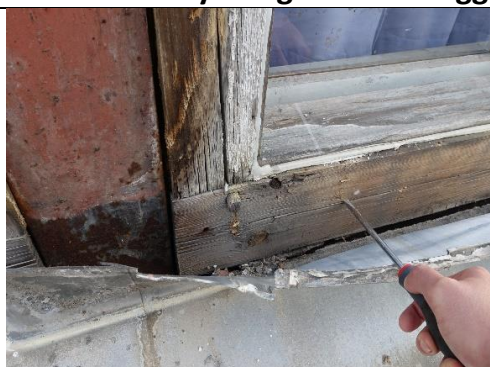


Billede 18: Facade mod Vest: Kraftig revnedannelse i zinksålbænk under vindusparti i bindingsværket.



Billede 19: Facade mod Vest: Zinkindækninger og sålbænke er flere steder udført byggeteknisk forkert og der er opstået kraftige revnedannelser lodningerne. Skaderne er uden held forsøgt udbedret med en udefinerbar fugemasse.

Del 5 - Nedbrydning af træ i vægge af bindingsværk



Billede 20: Facade mod Vest: Eternitplade til inddækning af stålsøjle og bindingsværk er faldet af facaden, hvilket igennem længere tid har eksponeret hele konstruktionen for kraftig opfugtning.

Del 6 - Vandrette revnedannelser i mørtelfuger



Billede 21: Facade mod Øst: Vandret revnedannelse i skellet mellem opmuret facade og bindingsværk, pga. rustdannelse på vandret stålbjælke.



Billede 22: Facade mod Øst: Vandret revnedannelse i skellet mellem opmuret facade og bindingsværk, pga. rustdannelse på vandret stålbjælke.

Del 7 - Delaminering af stålsøjler



Billede 23: Facade mod Øst: Destruktiv prøve ved bærende stålsøjle indmuret i væg. Tydelige tegn på opfugtning af facaden.



Billede 24: Facade mod Øst: Destruktiv prøve ved bærende stålsøjle indmuret i facaden. Kraftig rustdannelse og delaminering af stål



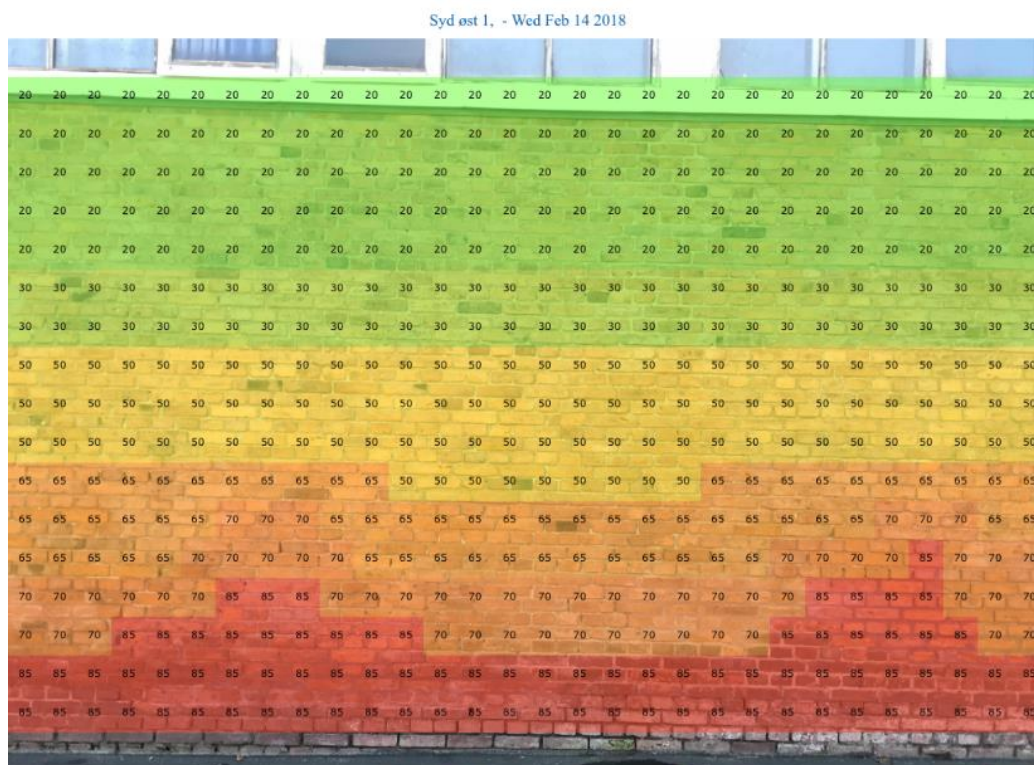
Billede 25: Facade mod Vest: Destruktiv prøve omkring samlingen af stålsøjle (blå pil) og -bjælke(Rød pil). Begge med kraftig rustdannelse.



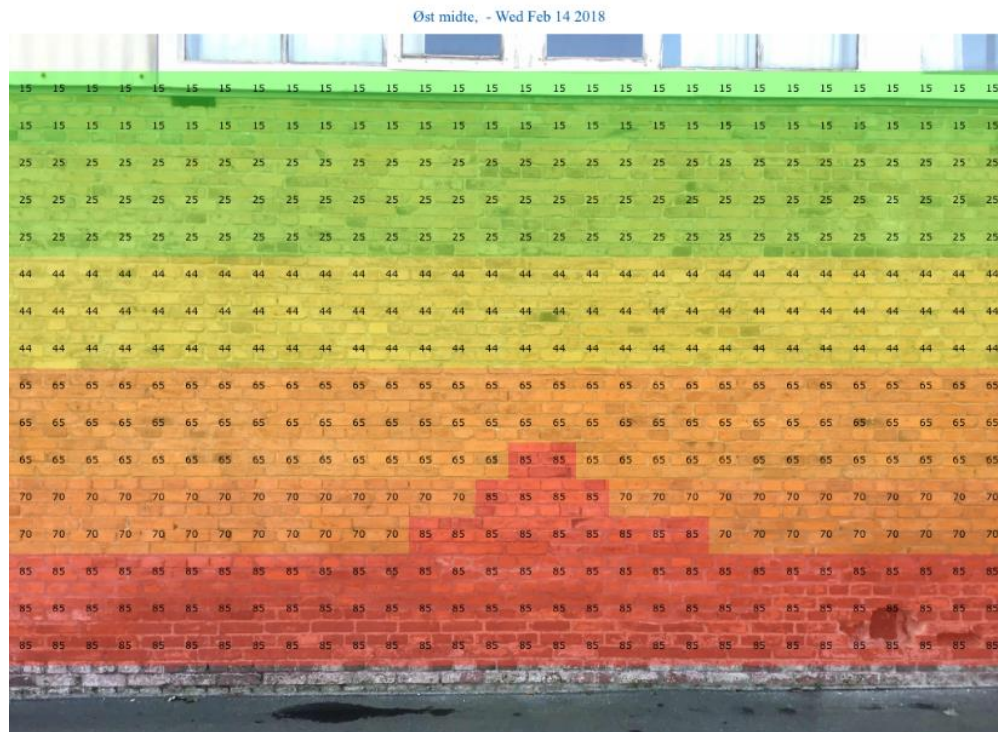
Billede 26: Facade mod Vest: Destruktiv prøve omkring samlingen af stålsøjle (blå pil) og -bjælke(Rød pil). Begge med kraftig rustdannelse.

10.3 Bilag 3

Kapacitive fugtmålinger

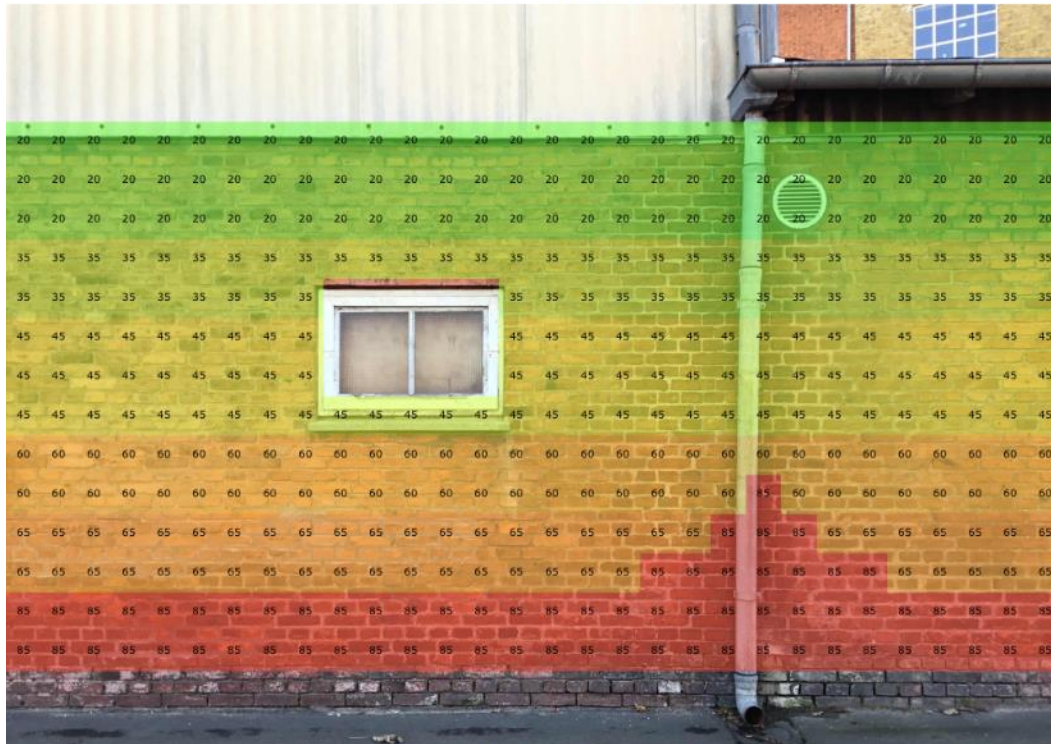


Figur 55: Resultat af kapacitiv fugtmåling: KM nr. 1



Figur 56: Resultat af kapacitiv fugtmåling: KM nr. 2

Skel østfacade, - Wed Feb 14 2018



Moisture Encounter Plus. Scale: Comparative. RH: NA. Temp: NA.



Figur 57: Resultat af kapacitiv fugtmåling: KM nr. 3

Læmur, - Wed Feb 14 2018

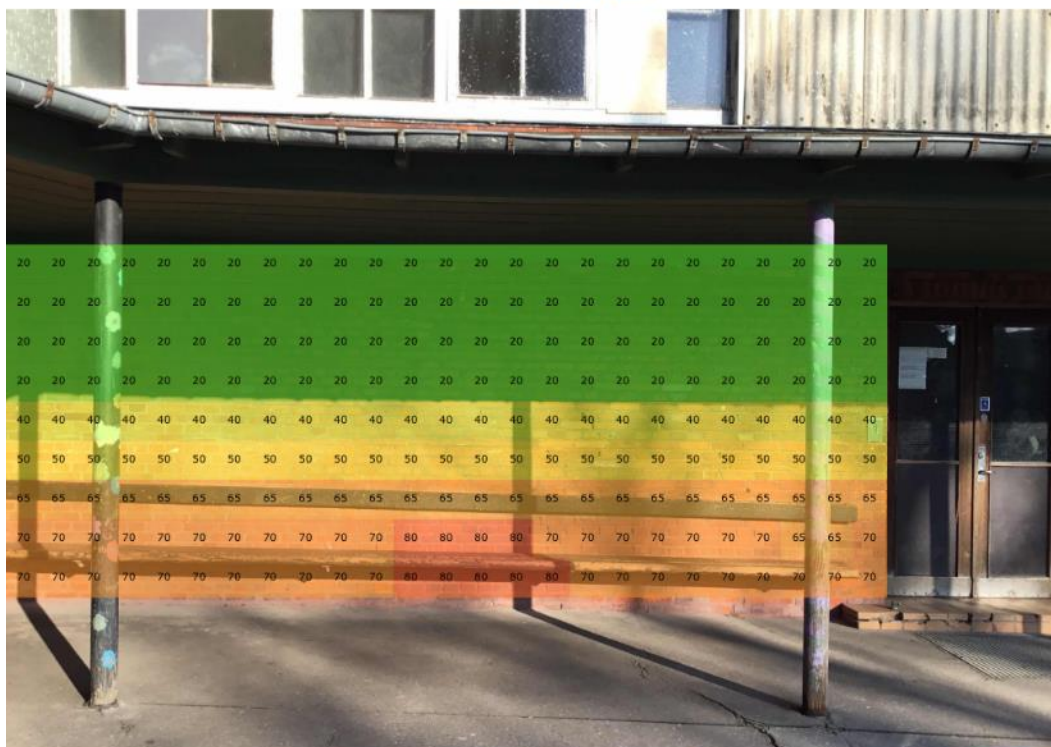


Moisture Encounter Plus. Scale: Comparative. RH: NA. Temp: NA.



Figur 58: Resultat af kapacitiv fugtmåling: KM nr. 4

Vestfacade 2, - Wed Feb 14 2018

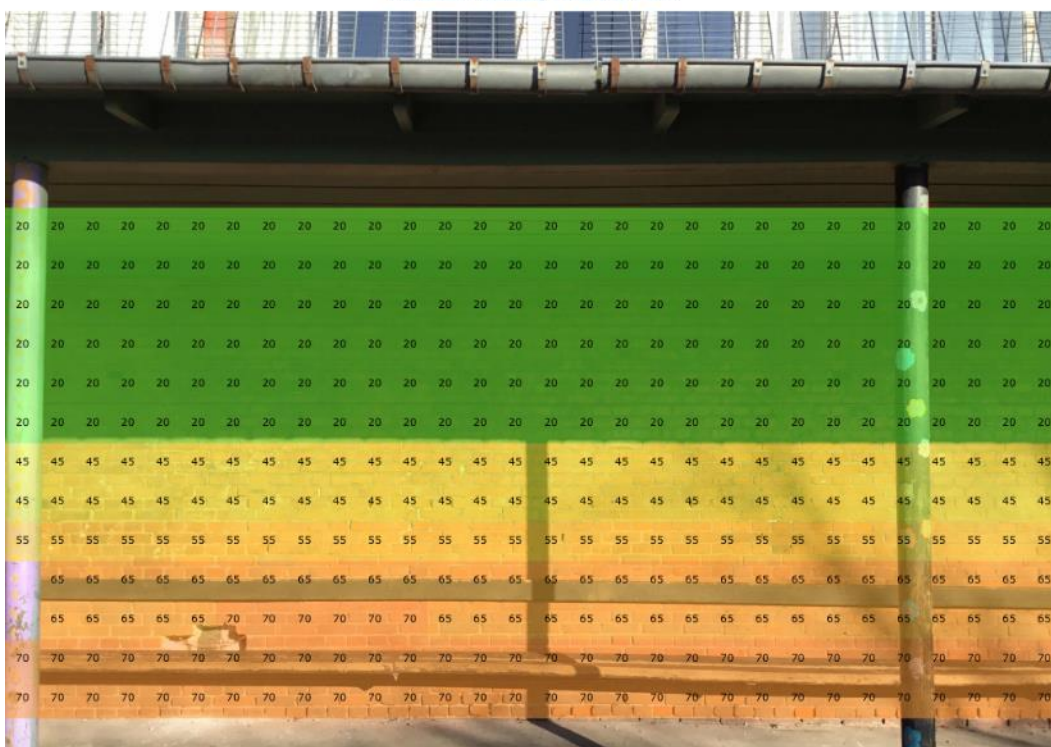


Moisture Encounter Plus. Scale: Comparative. RH: NA. Temp: NA.



Figur 59: Resultat af kapacitiv fugtmåling: KM nr. 5

Vestfacade overdækket, - Wed Feb 14 2018



Moisture Encounter Plus. Scale: Comparative. RH: NA. Temp: NA.



Figur 60: Resultat af kapacitiv fugtmåling: KM nr. 6



Moisture Encounter Plus. Scale: Comparative. RH: NA. Temp: NA.



Figur 61: Resultat af kapacitiv fugtmåling: KM nr. 7

10.4 Bilag 4

Inddata til BE15

Eksisterende forhold

Beregningsforudsætninger

Bygning
Navn

Andet
Fritliggende bolig (fritliggende enfamiliehus)
Sammenbyggede boliger (fx dobbel-, række- og kædehuse)
Etagebolig, Lager mv eller Andet (ikke bolig)

1
Antal boligenheder
59
Rotation, °

436,3
Opvarmet etageareal, m²
436,3
Bruttoareal, m²

0
Opvarmet kælder, m²
0
Andet, m²

160
Varmekapacitet, Wh/K m²
Start, kl.
Slut, kl.

40
Normal brugstid, timer/uge
8
16

Beregningsbetingelser
BR: Aktuelle 1 Se beregnings-
vejledningen
Tillæg til energirammen for særlige
betingelser, kWh/m² år
0
Kun mulig for andre bygninger end
boliger og beregningsbetingelser:
BR: Aktuelle forhold.
OBS: Ny reference for belysning i
BR15: 300 lux.

Varmeforsyning
Fjernvarr Basis: Kedel, Fjernvarme, Blokvarme eller EI
☐ Varmefordelinganlæg (hvis elvarme)
Bidrag fra (i prioritets-orden)
☐ 1. Elradatorer ☐ 2. Brændeovne, gasstrålevarmere og lign.
☐ 3. Solvarme ☐ 4. Varmepumpe ☐ 5. Solceller ☐ 6. Vindmøller

Mekanisk køling
0 Andel af etageareal, -
Beskrivelse
Kommentarer

Samlet varmetab
Transmissionstab 86,0 kW 197,1 W/m²
Ventilationstab uden vgv 5,1 kW 11,6 W/m² (om vinteren)
I alt 91,1 kW 208,7 W/m²
Ventilationstab med vgv 5,1 kW 11,6 W/m² (om vinteren)
I alt 91,1 kW 208,7 W/m²

Transmissionstab
For klimaskærmen ekskl. vinduer
og døre
48,8 W/m²

Klimaskærm – Ydervægge

	Ydervægge, tage og gulve	Areal (m²)	U (W/m²K)	b	Ht (W/K)	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)	Tab (W)
		1459,9		CtrlClick	1743,16			55781
+1	Ydervægge murværk 1½-sten	371,2	1,28	1,00	475,136			15204,4
2	Ydervægge, bindingsværk, 1-sten	161,59	1,87	1,00	302,173			9669,55
3	Tagkonstruktion, omklædning og musiklokale småt	129,63	1,47	1,00	190,556			6097,8
4	Tagkonstruktion, gymnastiksal og musiklokale stort	361,175	1,47	1,00	530,927			16989,7
5	Terrændæk, betonklaplag	349,353	0,58	1,00	202,625			6483,99
6	Terrændæk, Terrazzo	86,956	0,48	1,00	41,7389			1335,64
7								

Klimaskærm – Fundamenter mv.

	Fundamenter og samlinger ved vinduer	l (m)	Tab (W/mK)	b	Ht (W/K)	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)	Tab (W)
		286,52		CtrlClick	477,051			15265,6
+1	Fundamenter	121,78	2,294	1,00	279,363			8939,63
2	Samling v. vindue i bindingsværk	125,56	1,2	1,00	150,672			4821,5
3	Samling v. hoveddøre	13,8	1,2	1,00	16,56			529,92
4	Samling v. vinduer	25,38	1,2	1,00	30,456			974,592
5								

Klimaskærm - Vinduer og yderdøre

	Vinduer og yderdøre	Antal	Orient	Hældn.	Areal (m²)	U (W/m²K)	b	Ht (W/K)	Ff (-)	g (-)	Skygger	Fc (-)	Dim.Inde	Dim.Ude	Tab (W)	Ot
		7			112,958		CtrlClick	463,128			CtrlClick				14820,1	0/1
+1	Vinduesbånd, gymnastiksal Nordøst	1	NØ	90	48,6	4,1	1,00	199,26	0,45	0,85	Vinduesb	1			6376,32	0
2	Vinduesbånd, gymnastiksal Sydvest	1	SV	90	48,6	4,1	1,00	199,26	0,45	0,85	Vinduesb	1			6376,32	0
3	Vinduesbånd, omklædning	1	SV	90	9,183	4,1	1,00	37,6503	0,45	0,85	Vinduesb	1			1204,81	0
4	Vinduer Nordøst	1	NØ	90	0,455	4,1	1,00	1,8655	0,62	0,63	Vindue N	1			59,696	0
5	Vinduer Sydøst	1	SØ	90	1,12	4,1	1,00	4,592	0,73	0,63	Vinduer S	1			146,944	0
6	Vinduer Sydvest	1	SV	90	3,3	4,1	1,00	13,53	0,8	0,63	Vinduer S	1			432,96	0
7	Vinduer Nordvest	1	NV	90	1,7	4,1	1,00	6,97	0,8	0,63	Vinduer N	1			223,04	0

Værdier fastsat iht. bekendtgørelse om Håndbog for Energikonsulenter (HB2016) tabel

For vinduer anvendes værdierne fra tabel:

- 9.5.2 Inddata for forskellige vinduestyper
 - Vinduer med flere oplukkelige rammer og evt. sprosser
 - 1 lag glas

Klimaskærm - Skygger

	Skygger	Horisont (°)	Udhæng (°)	Venstre (°)	Højre (°)	Vindueshul (%)
+1	Vinduesbånd gymnastiksal, Nordøst	0	34,5	0	0	6,7
2	Vinduesbånd gymnastiksal, Sydvest	15	10	0	0	6,7
3	Vinduesbånd omklædning, Sydvest	50	34,5	0	25	6,7
4	Vindue Nordøst	15	0	0	0	114
5	Vinduer Sydøst	15	0	0	0	71
6	Vinduer Sydvest	15	0	0	0	31
7	Vinduer Nordvest	15	0	0	0	114

Ventilation

	Ventilation	Areal (m²)	Fo, -	qm (l/s m²)	n vg (-)	ti (°C)	El-VF	qn (l/s m²)	qi,n (l/s m²)	SEL (kJ/m²)	qm,s (l/s m²)	qn,s (l/s m²)	qm,n (l/s m²)	qn,n (l/s m²)
	Zone	436,309		Vinter			0/1	Vinter	Vinter		Sommer	Sommer	Nat	Nat
+1	Omklædning	61,049	1	0	0	0	0	0,3	0	0	0	2,4	0	0
2	Gymnastiksal	204,068	1	0	0	0	0	0,3	0	0	0	2,4	0	0
3	Musiklokale, småt	37,365	1	0	0	0	0	0,3	0	0	0	2,4	0	0
4	Musiklokale, stort	107,92	1	0	0	0	0	0,3	0	0	0	2,4	0	0
5	Gangarealer	25,907	1	0	0	0	0	0,3	0	0	0	2,4	0	0

Internt varmetilskud

	Internt varmetilskud	Areal (m²)	Personer (W/m²)	App. (W/m²)	App.nat (W/m²)
	Zone	436,3	1641,6 W	773,6 W	72,6 W
+1	Gymnastiksal og omklædning	265,117	4	1	0
2	Musiklokale stort og småt	145,285	4	3,5	0,5
3	Gangarealer	25,907	0	0	0

Belysning

	Belysning	Areal (m²)	Almen (W/m²)	Almen (W/m²)	Belys. (lux)	DF (%)	Styring (U, M, A)	Fo (-)	Arb. (W/m²)	Andet (W/m²)	Stand-by (W)	Nat (W/m²)
	Belysningszone	436,309	Min.	Inst.			U,M,A,K					
+1	Omklædning	61,049	0	20	200	1,5	U	0,7	0	5	0,05	0
2	Gymnastiksal	204,068	0	20	200	1,5	U	0,7	0	5	0,05	0
3	Musiklokale, stort	37,365	0	20	200	1,5	U	0,7	0	5	0,05	0
4	Musiklokale, småt	107,92	0	20	200	1,5	U	0,7	0	5	0,05	0
5	Gangarealer	25,907	0	20	200	1,5	U	0,7	0	5	0,05	0

Varmefordelingsanlæg

	Rørstrækninger i fremløb og returløb	l (m)	Tab (W/mK)	b	Udekomp (J/N)	Afb. sommer (J/N)
		104,66				
+1	Fordelingsrør, stålør 3/4 uden isolering	104,66	1,23	1	N	N
2						
3						

Varmt brugsvand

Beskrivelse

Varmtvandsforbrug (vand af 55 °C, koldt vand 10 °C)

Gennemsnit for bygningen, liter/år pr. m²-etageareal

Brugsvandssystem

Varmt brugsvand temperatur, °C

Tilføj en varmtvandsbeholder ved højreklik på Varmt brugsvand i oversigten til venstre

Fremtidige forhold

Beregningsforudsætninger

Bygning

Navn

Andet ☐ Fritliggende bolig (fritliggende enfamiliehus)
Sammenbyggede boliger (fx dobbel-, række- og kædehuse)
Etagebolig, Lager mv eller Andet (ikke bolig)

1 Antal boligenheder Rotation, °

Opvarmet etageareal, m² Bruttoareal, m²

Opvarmet kælder, m² Andet, m²

Varmekapacitet, Wh/K m² Start, kl. Slut, kl.

Normal brugstid, timer/uge

Beregningsbetingelser

BR: Aktuelle Se beregningsvejledningen

Tillæg til energirammen for særlige betingelser, kWh/m² år

Kun mulig for andre bygninger end boliger og beregningsbetingelser: BR: Aktuelle forhold.

OBS: Ny reference for belysning i BR15: 300 lux.

Mekanisk køling

Andel af etageareal, -

Beskrivelse

Kommentarer

Samlet varmetab

Transmissionstab 16,9 kW 38,7 W/m²

Ventilationstab uden gvg 32,6 kW 74,7 W/m² (om vinteren)

I alt 49,5 kW 113,4 W/m²

Ventilationstab med gvg 9,8 kW 22,5 W/m² (om vinteren)

I alt 26,7 kW 61,2 W/m²

Transmissionstab

For klimaskærmen ekskl. vinduer og døre

8,8 W/m²

Klimaskærm – Ydervægge

	Ydervægge, tage og gulve	Areal (m ²)	U (W/m ² K)	b	Ht (W/K)	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)	Tab (W)
		1459,9		CtrlClick	358,339			11466,8
+1	Ydervægge murværk 1½-sten	371,2	0,5	1,00	185,6			5939,2
2	Ydervægge, bindingsværk, 1-sten	161,59	0,61	1,00	98,5699			3154,24
3	Tagkonstruktion, omlædning og musiklokale småt	129,63	0,08	1,00	10,3704			331,853
4	Tagkonstruktion, gymnastiksal og musiklokale stort	361,175	0,08	1,00	28,894			924,608
5	Terrændæk, betonklaplag	349,353	0,08	1,00	27,9482			894,344
6	Terrændæk, Terrazzo	86,956	0,08	1,00	6,95648			222,607
7								

Klimaskærm – Fundamenter mv.

	Fundamenter og samlinger ved vinduer	l (m)	Tab (W/mK)	b	Ht (W/K)	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)	Tab (W)
		286,52		CtrlClick	44,9705			1439,06
+1	Fundamenter	121,78	0,234	1,00	28,4965			911,889
2	Samling v. vindue i bindingsværk	125,56	0,1	1,00	12,556			401,792
3	Samling v. hoveddøre	13,8	0,1	1,00	1,38			44,16
4	Samling v vinduer	25,38	0,1	1,00	2,538			81,216
5								

Klimaskærm - Vinduer og yderdøre

	Vinduer og yderdøre	Antal	Orient	Hældn.	Areal (m²)	U (W/m²K)	b	Ht (W/K)	Ff (-)	g (-)	Skygger	Fc (-)	Dim.Inde	Dim.Ude	Tab (W)	Ot
		7			112,958		CtrlClick	124,254			CtrlClick				3976,12	0/1
+1	Vinduesbånd, gymnastiksal Nordøst	1	NØ	90	48,6	1,1	1,00	53,46	0,7	0,35	Vinduesb	1			1710,72	0
2	Vinduesbånd, gymnastiksal Sydvest	1	SV	90	48,6	1,1	1,00	53,46	0,7	0,35	Vinduesb	1			1710,72	0
3	Vinduesbånd, omklædning	1	SV	90	9,183	1,1	1,00	10,1013	0,7	0,35	Vinduesb	1			323,242	0
4	Vinduer Nordøst	1	NØ	90	0,455	1,1	1,00	0,5005	0,7	0,35	Vindue N	1			16,016	0
5	Vinduer Sydøst	1	SØ	90	1,12	1,1	1,00	1,232	0,7	0,35	Vinduer S	1			39,424	0
6	Vinduer Sydvest	1	SV	90	3,3	1,1	1,00	3,63	0,7	0,35	Vinduer S	1			116,16	0
7	Vinduer Nordvest	1	NV	90	1,7	1,1	1,00	1,87	0,7	0,35	Vinduer N	1			59,84	0

Værdier fastsat iht. bekendtgørelse om Håndbog for Energikonsulenter (HB2016) tabel

For vinduer anvendes værdierne fra tabel:

- 9.5.2 Inddata for forskellige vinduestyper
 - Vinduer med flere oplukkelige rammer og evt. sprosser
 - 3-lags energirude (BR20 vindue, hvor $E_{ref} > 0$ kWh/m²)

Klimaskærm - Skygger

	Skygger	Horisont (°)	Udhæng (°)	Venstre (°)	Højre (°)	Vindueshul (%)
+1	Vinduesbånd gymnastiksal, Nordøst	0	34,5	0	0	6,7
2	Vinduesbånd gymnastiksal, Sydvest	15	10	0	0	6,7
3	Vinduesbånd omklædning, Sydvest	50	34,5	0	25	6,7
4	Vindue Nordøst	15	0	0	0	114
5	Vinduer Sydøst	15	0	0	0	71
6	Vinduer Sydvest	15	0	0	0	31
7	Vinduer Nordvest	15	0	0	0	114

Ventilation

	Ventilation	Areal (m²)	Fo, -	qm (l/s m²)	n vgv (-)	ti (°C)	El-VF	qn (l/s m²)	qi,n (l/s m²)	SEL (kJ/m³)	qm,s (l/s m²)	qn,s (l/s m²)	qm,n (l/s m²)	qn,n (l/s m²)
	Zone	436,309		Vinter			0/1	Vinter	Vinter		Sommer	Sommer	Nat	Nat
+1	Omklædning	61,049	1	1,8	0,75	18	0	0,13	0,09	2,1	1,8	2,4	0	0
2	Gymnastiksal	204,068	1	1,8	0,75	18	0	0,13	0,09	2,1	1,8	2,4	0	0
3	Musiklokale, småt	37,365	1	1,8	0,75	18	0	0,13	0,09	2,1	1,8	2,4	0	0
4	Musiklokale, stort	107,92	1	1,8	0,75	18	0	0,13	0,09	2,1	1,8	2,4	0	0
5	Gangarealer	25,907	1	1,8	0,75	18	0	0,13	0,09	2,1	1,8	2,4	0	0
6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7														

Internt varmetilskud

	Internt varmetilskud	Areal (m²)	Personer (W/m²)	App. (W/m²)	App.nat (W/m²)
	Zone	436,3	2992,6 W	773,6 W	72,6 W
+1	Gymnastiksal og omklædning	265,117	8	1	0
2	Musiklokale stort og småt	145,285	6	3,5	0,5
3	Gangarealer	25,907	0	0	0

Belysning

	Belysning	Areal (m²)	Almen (W/m²)	Almen (W/m²)	Belys. (lux)	DF (%)	Styring (U, M, A)	Fo (-)	Arb. (W/m²)	Andet (W/m²)	Stand-by (W)	Nat (W/m²)
	Belysningszone	436,309	Min.	Inst.			U,M,A,K					
+1	Omklædning	61,049	1	4	200	1,5	K	0,7	0	2	0,1	0
2	Gymnastiksal	204,068	1	4	200	1,5	K	0,7	0	2	0,1	0
3	Musiklokale, stort	37,365	1	4	200	1,5	K	0,7	0	2	0,1	0
4	Musiklokale, småt	107,92	0	4	200	1,5	K	0,7	0	2	0,1	0
5	Gangarealer	25,907	0	4	200	1,5	K	0,7	0	2	0,1	0
6												

Varmefordelingsanlæg

	Rørstrækninger i fremløb og returløb	l (m)	Tab (W/mK)	b	Udekomp (J/N)	Afb. sommer (J/N)
		20				
+1	Fordelingsrør, 22mm pex	20	0,08	1	N	N
2						

Varmt brugsvand

Beskrivelse

☐ Varmtvandsforbrug (vand af 55 °C, koldt vand 10 °C)

Gennemsnit for bygningen, liter/år pr. m²-etageareal

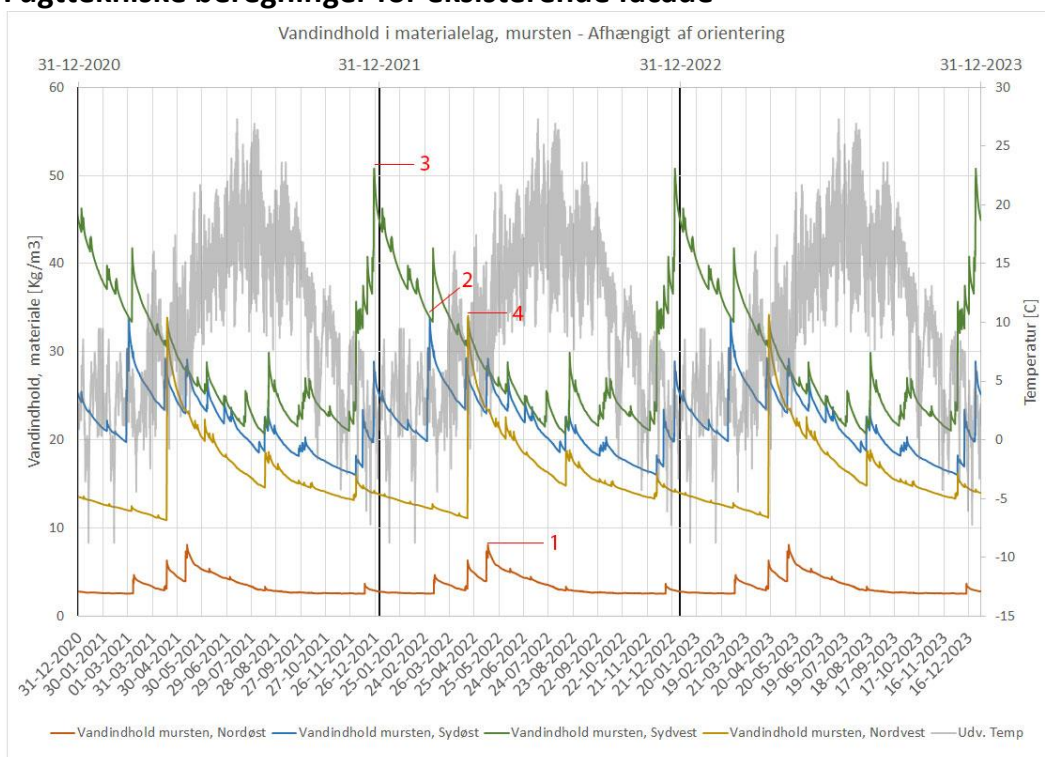
☐ Brugsvandssystem

Varmt brugsvand temperatur, °C

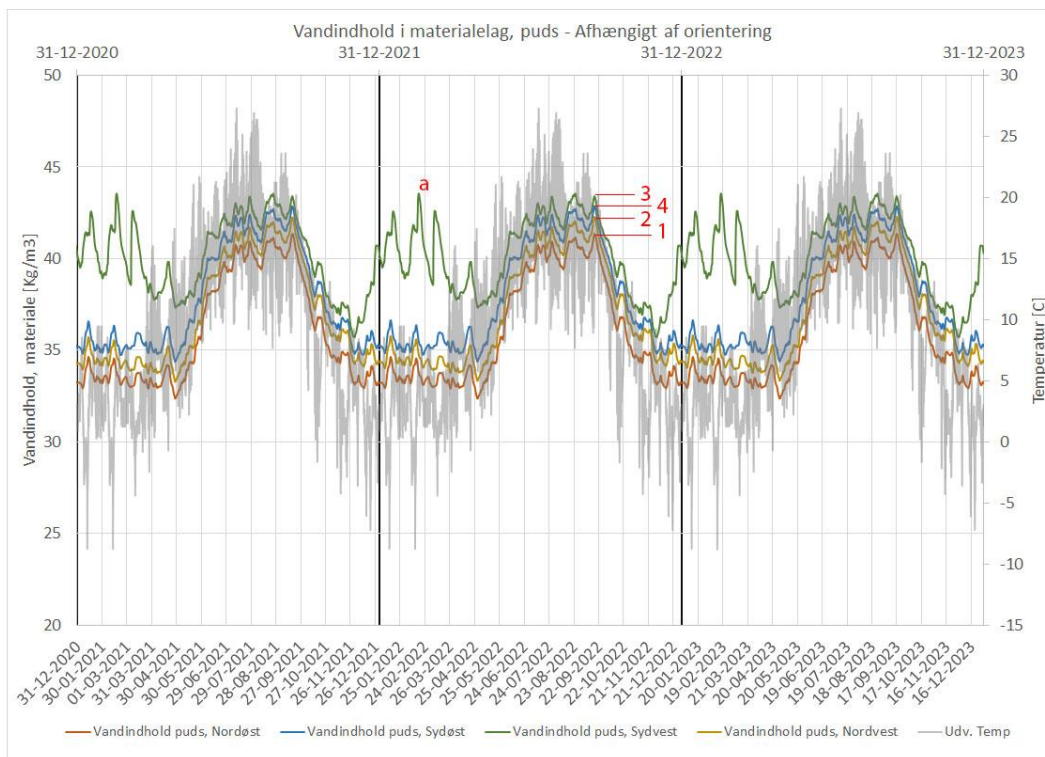
Tilføj en varmtvandsbeholder ved højreklik på Varmt brugsvand i oversigten til venstre

10.5 Bilag 5

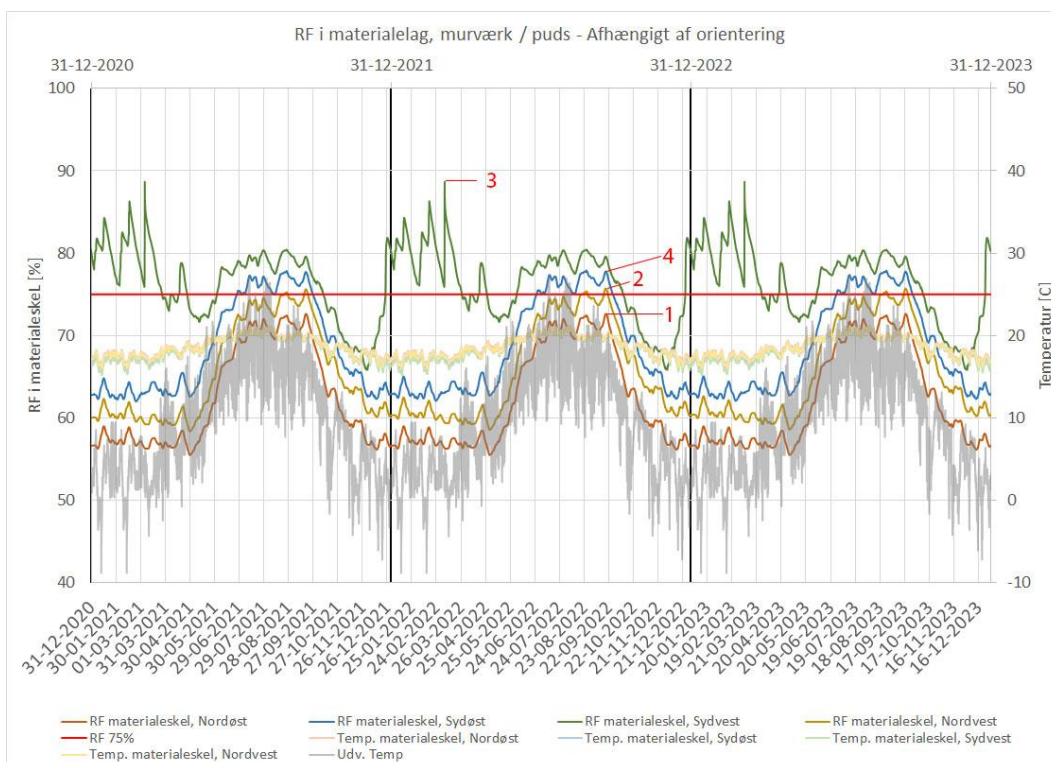
Fugttekniske beregninger for eksisterende facade



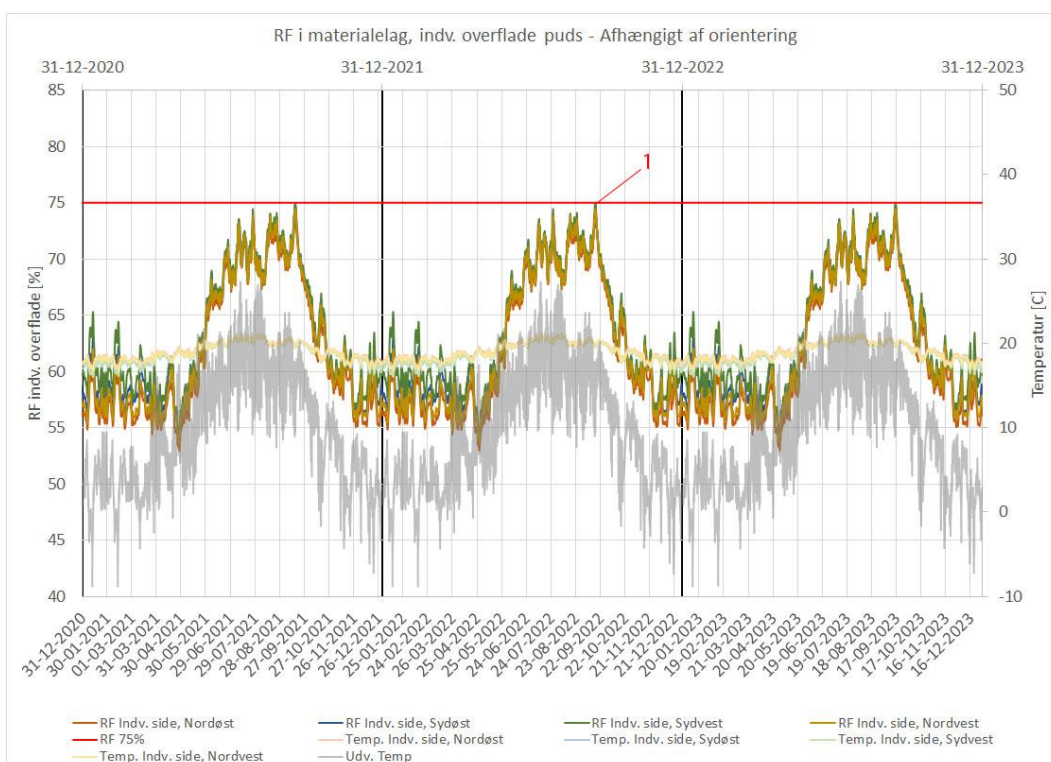
Figur 62: Vandindhold i materialelag efter normaliserede forhold, mursten



Figur 63: Vandindhold i materialelag efter normaliserede forhold, indvendigt pudslag



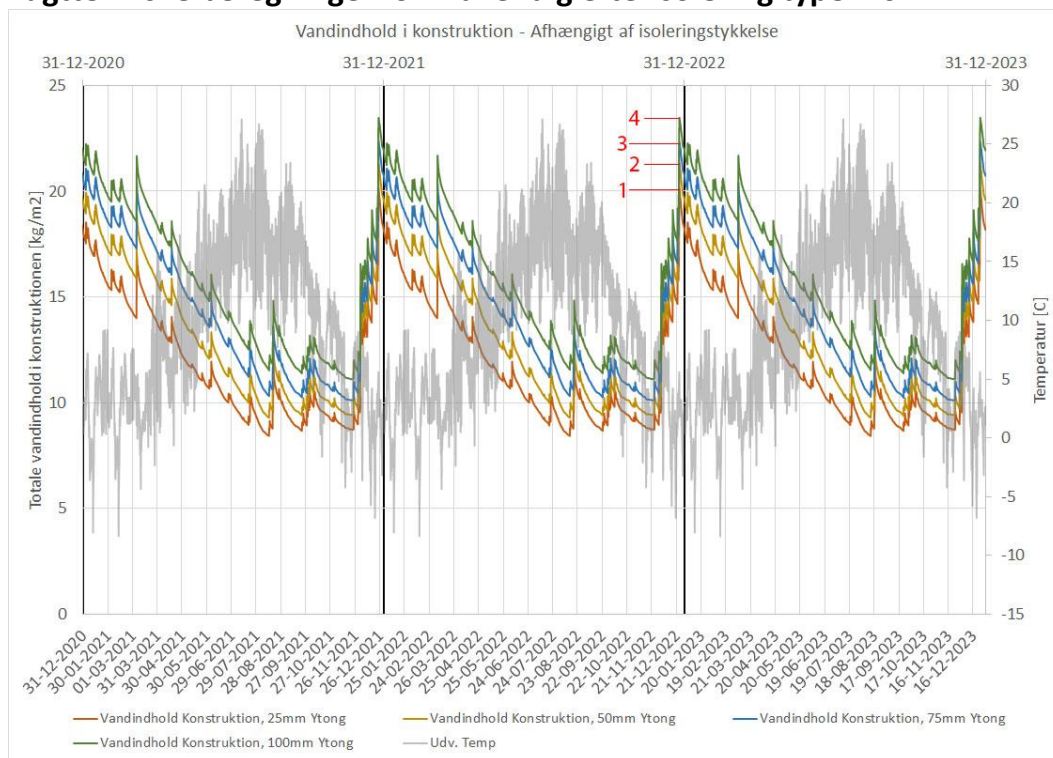
Figur 64: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed, efter normaliserede forhold i materialeskellet mellem murværk og indvendigt pudslag



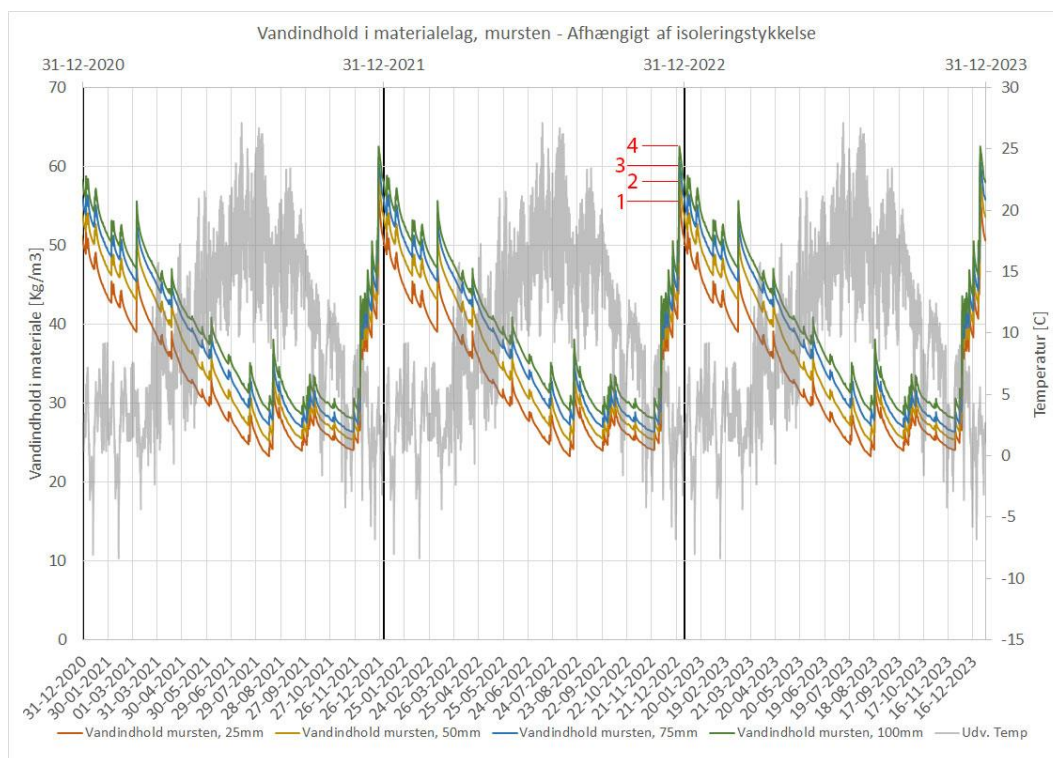
Figur 65: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed, efter normaliserede forhold på indvendig overflade af pudslaget

10.6 Bilag 6

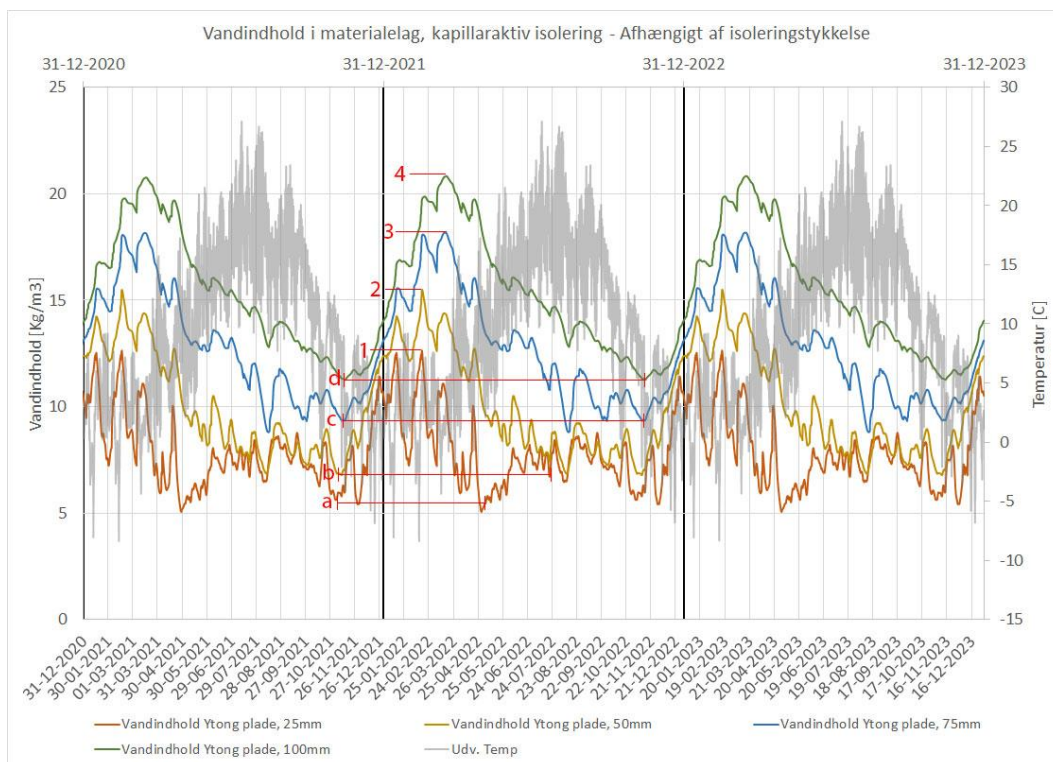
Fugttekniske beregninger for indvendig efterisolering type 1.0



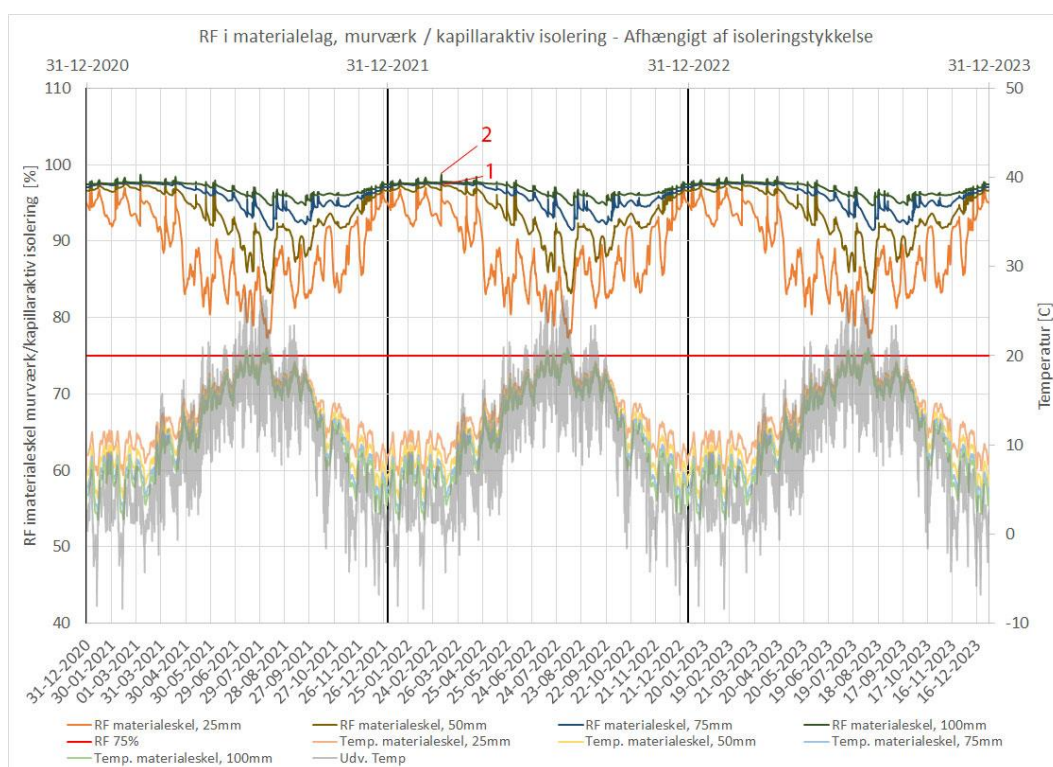
Figur 66: Beregning af totalt vandindholdet i den samlede konstruktion, efter normaliserede forhold



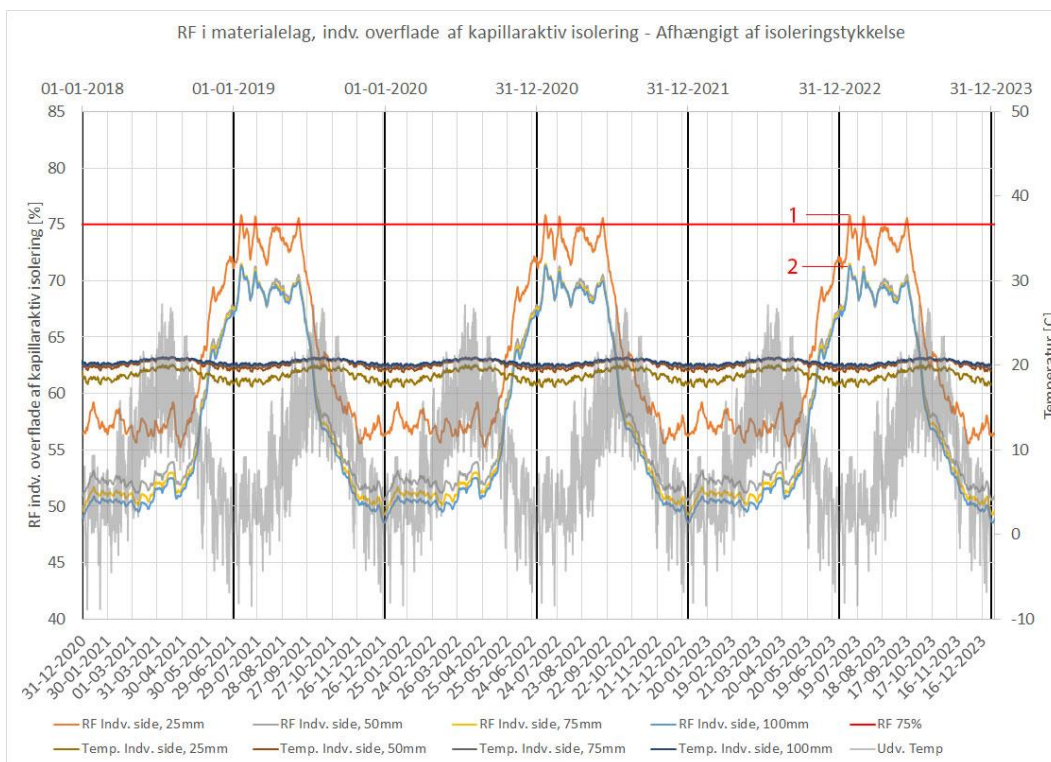
Figur 67: Beregning af vandindholdet i murværk, efter normaliserede forhold



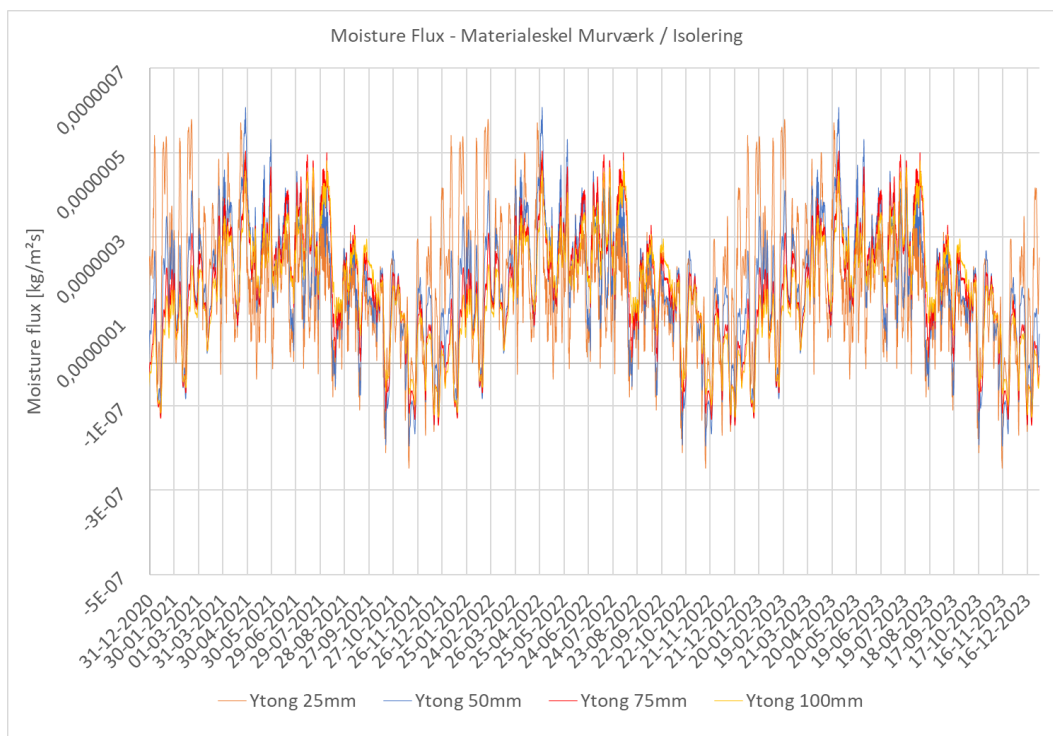
Figur 68: Beregning af vandindholdet i isolering, efter normaliserede forhold Figur 70



Figur 69: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed, efter normaliserede forhold i materialeskellet mellem murværk og kapillarakktiv isolering



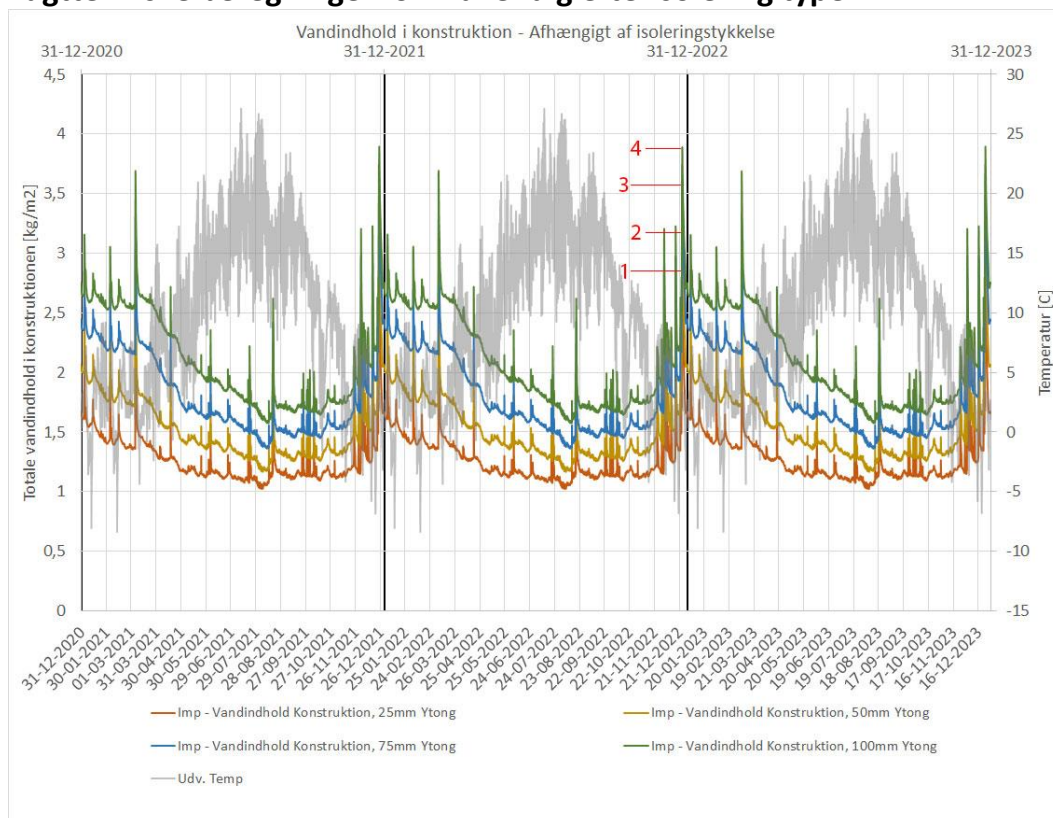
Figur 70: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed, efter normaliserede forhold på indvendig overflade af kapillaraktiv isolering



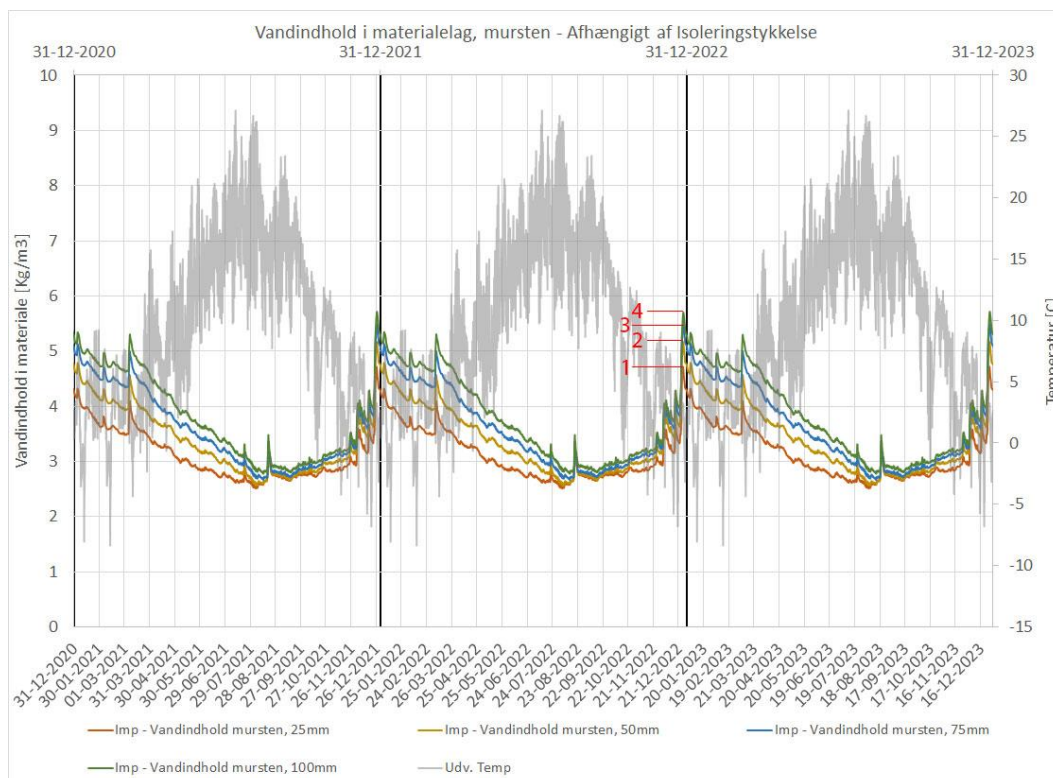
Figur 71: Flux for fugttransport i materialeskellet mellem murværk og isolering

10.7 Bilag 7

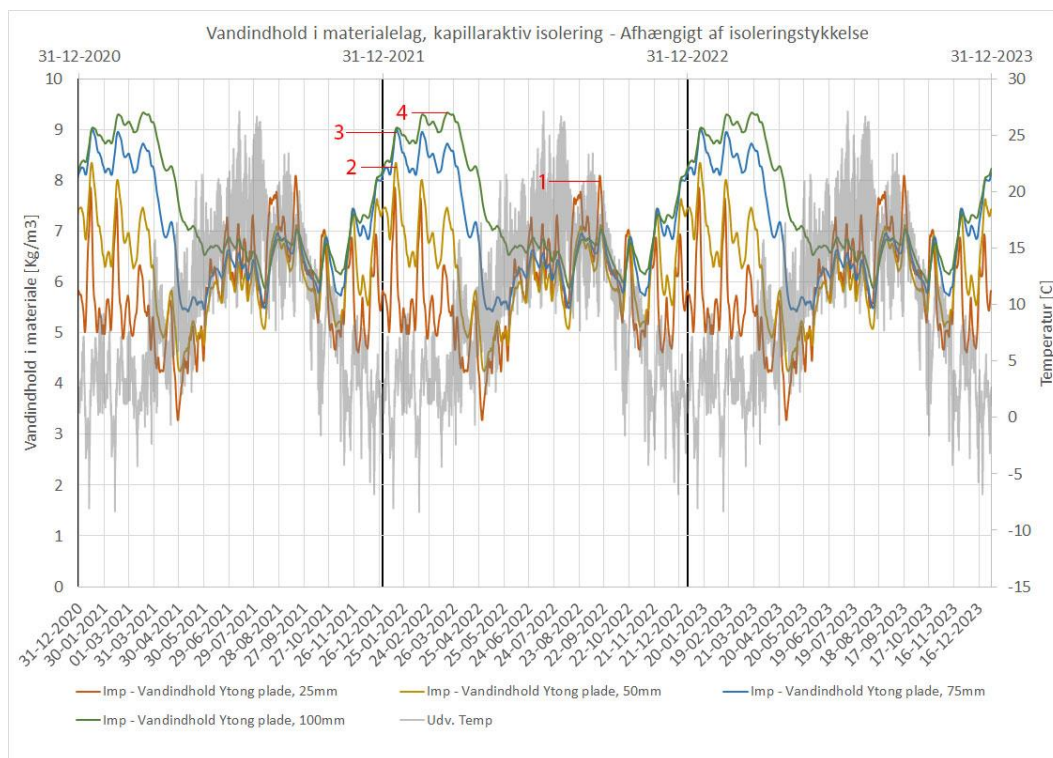
Fugttekniske beregninger for indvendig efterisolering type 1.1



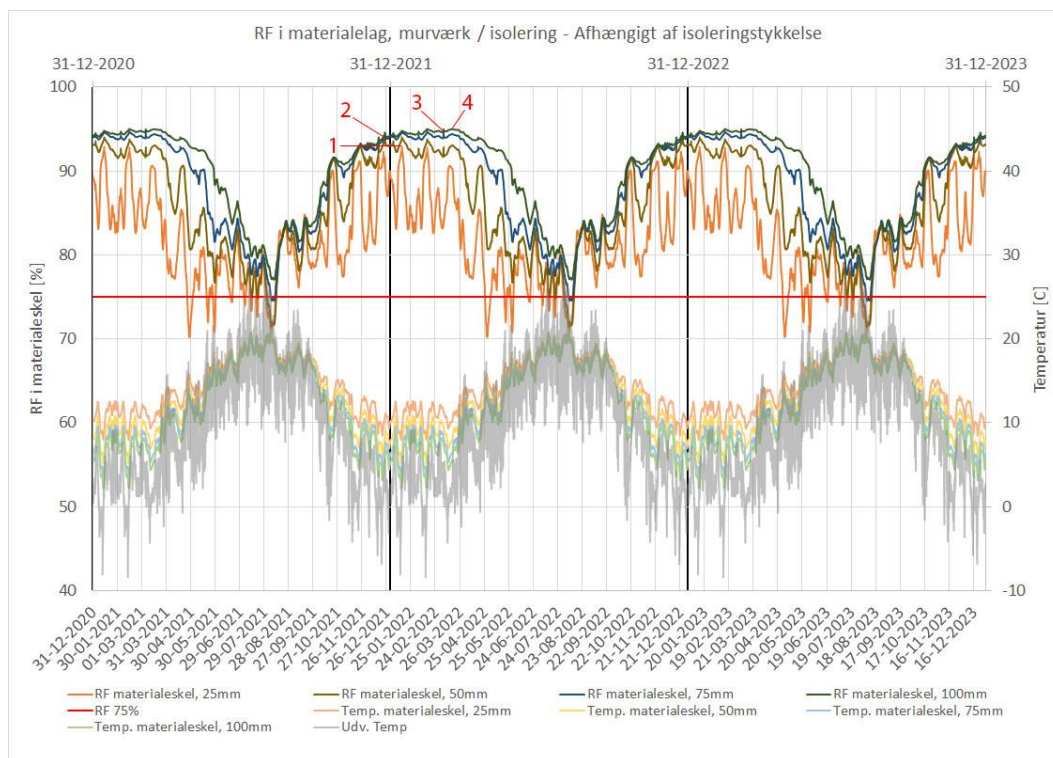
Figur 72: Beregning af totalt vandindholdet i den samlede konstruktion, efter normaliserede forhold



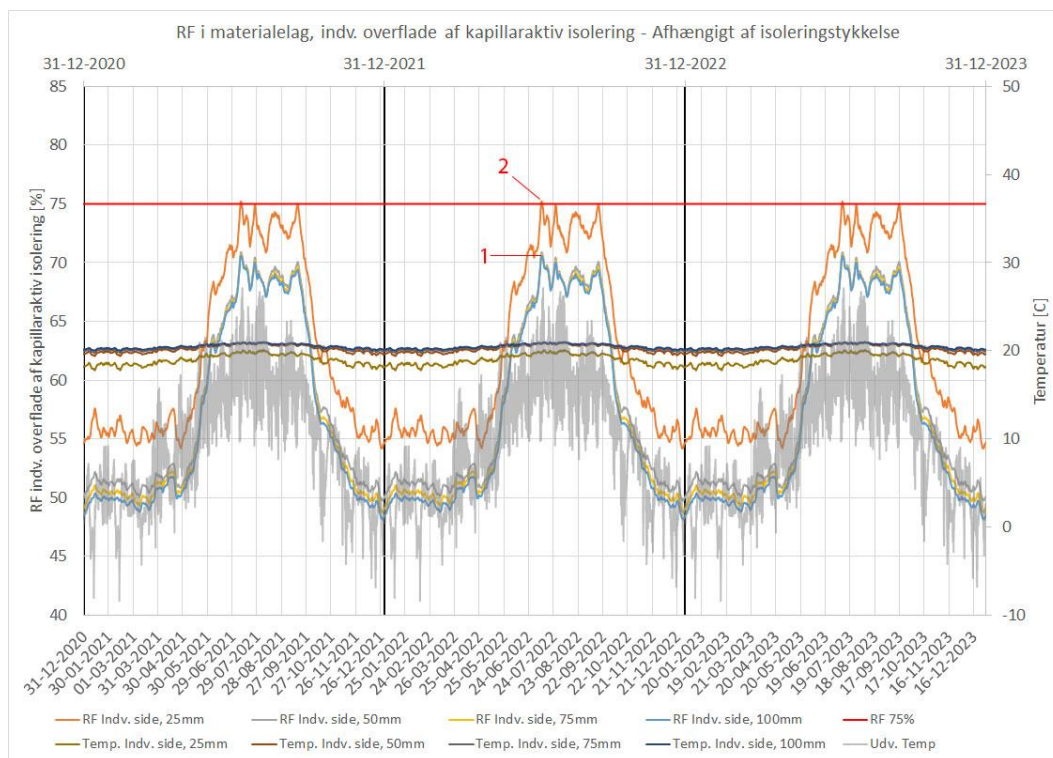
Figur 73: Beregning af vandindholdet i den uimprægnerede del af murværket, efter normaliserede forhold



Figur 74: Beregning af vandindholdet i kapillaraktiv isolering, efter normaliserede forhold



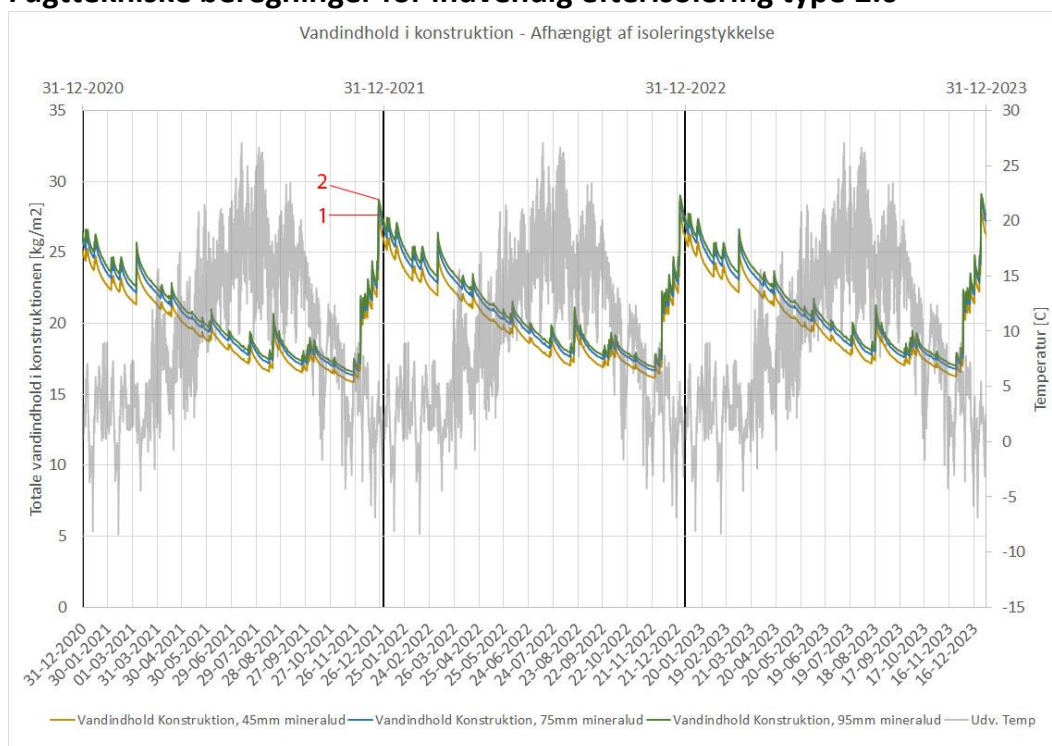
Figur 75: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed, efter normaliserede forhold i materialeskellet mellem murværk/isolering



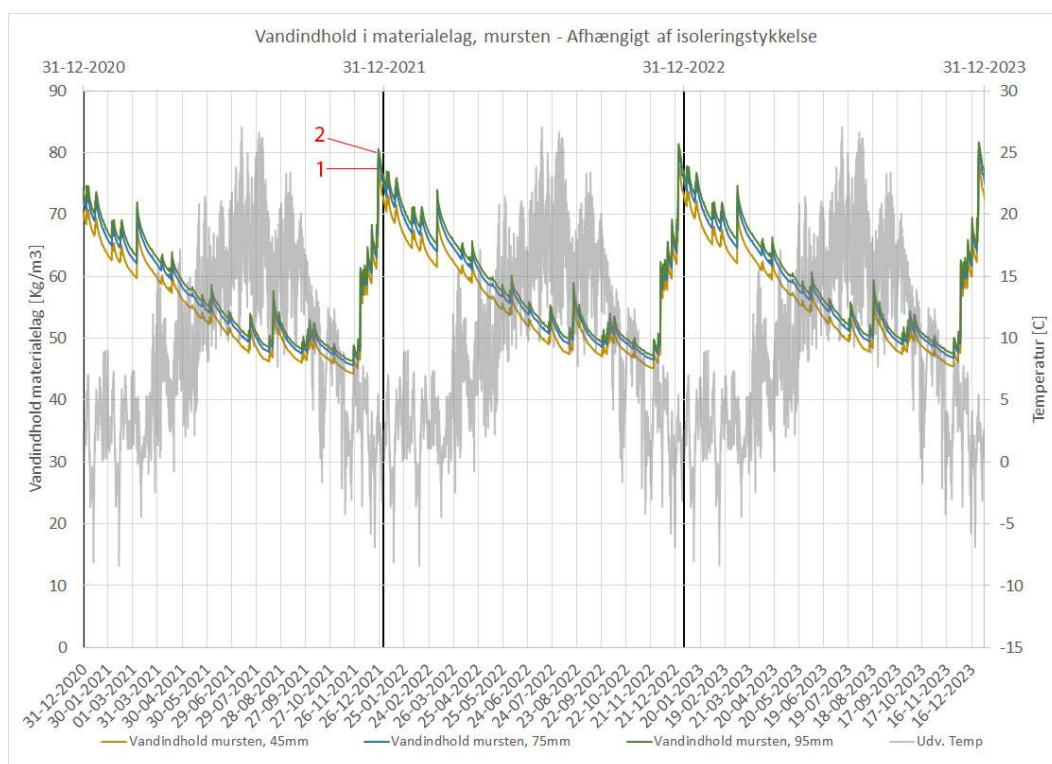
Figur 76: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed, efter normaliserede forhold på indvendig overflade af kapillaraktiv isolering.

10.8 Bilag 8

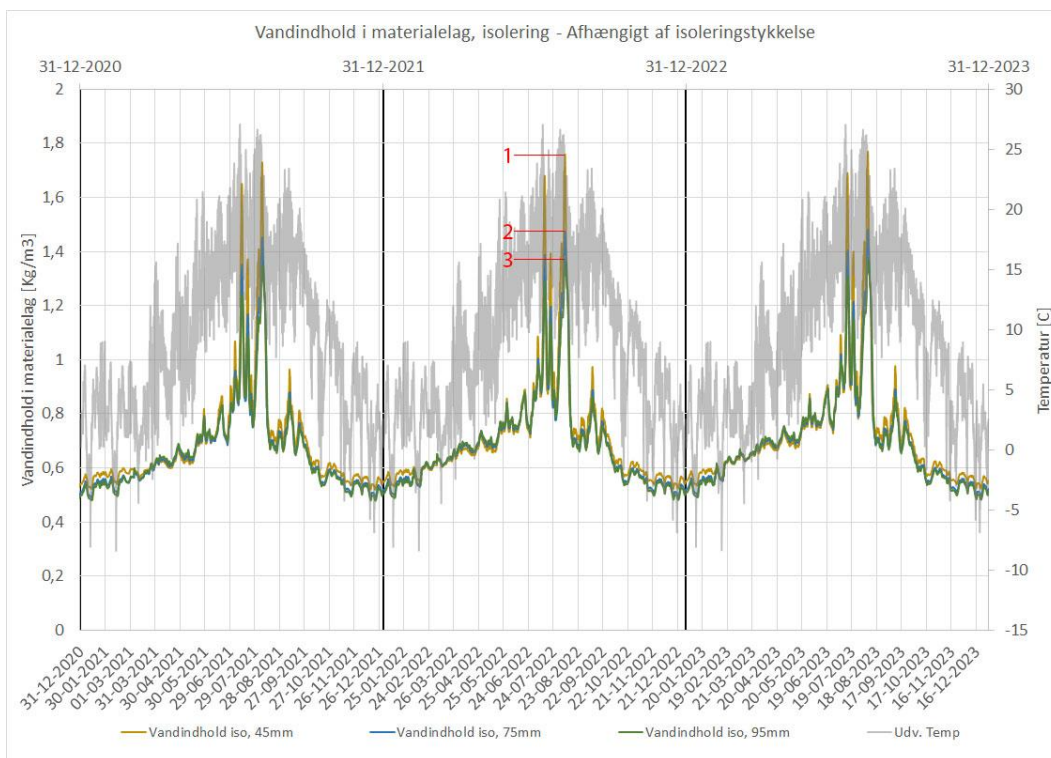
Fugttekniske beregninger for indvendig efterisolering type 2.0



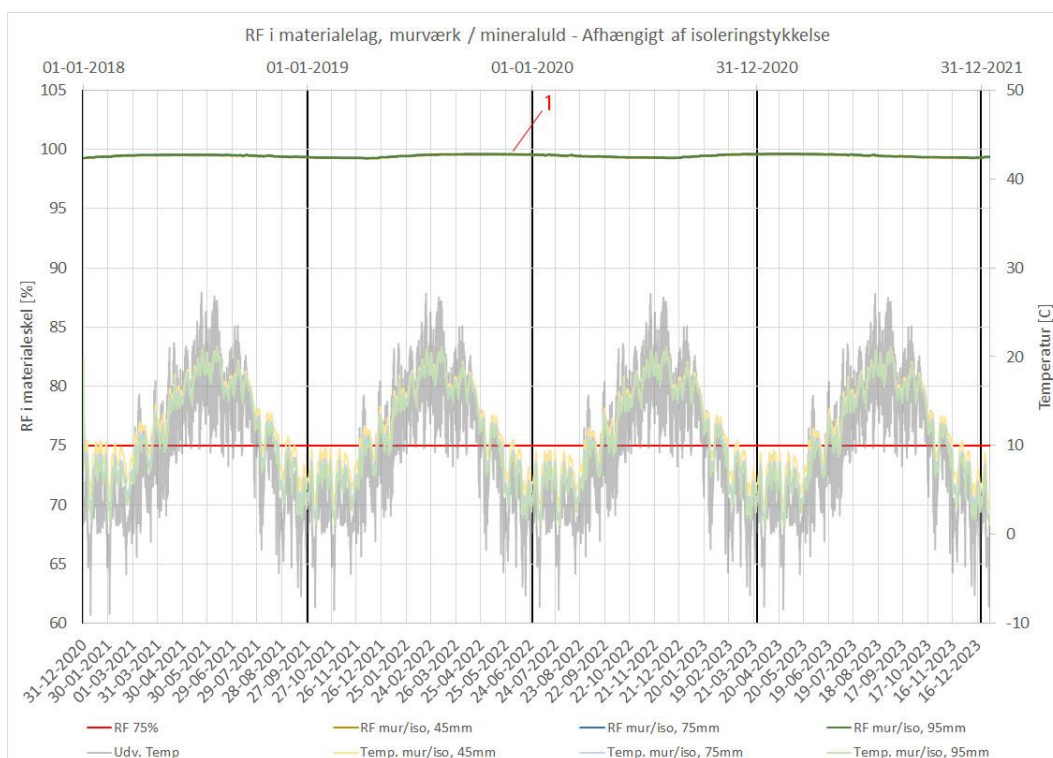
Figur 77: Beregning af vandindholdet i den samlede konstruktion, efter normaliserede forhold.



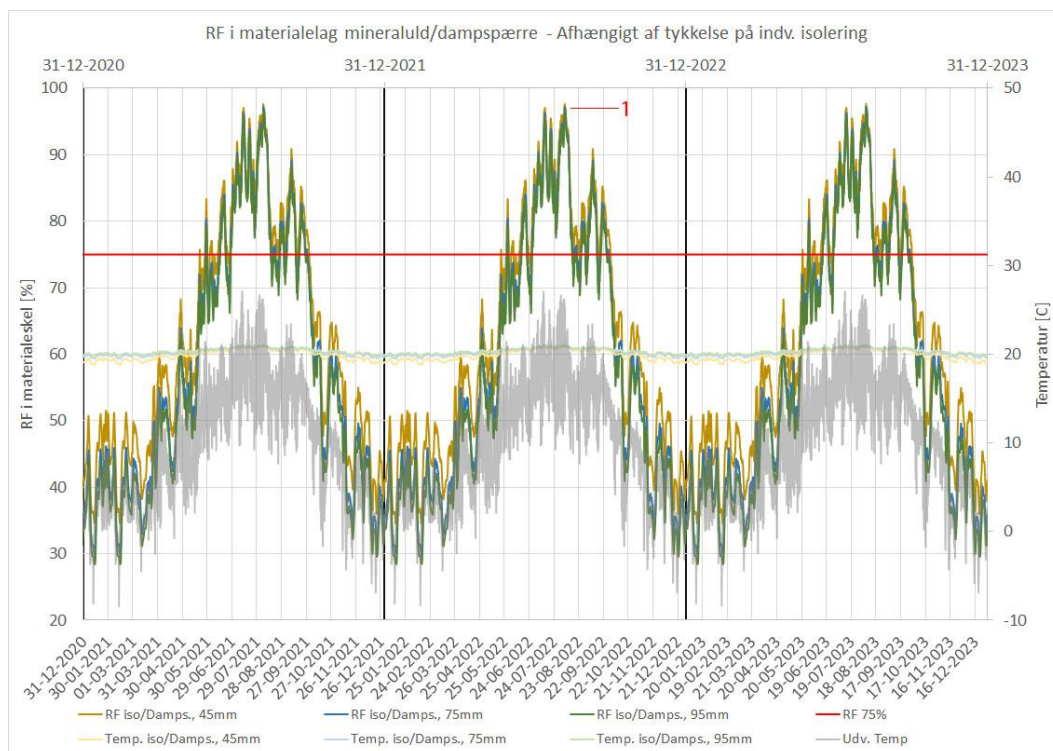
Figur 78: Beregning af vandindholdet i murværket, efter normaliserede forhold.



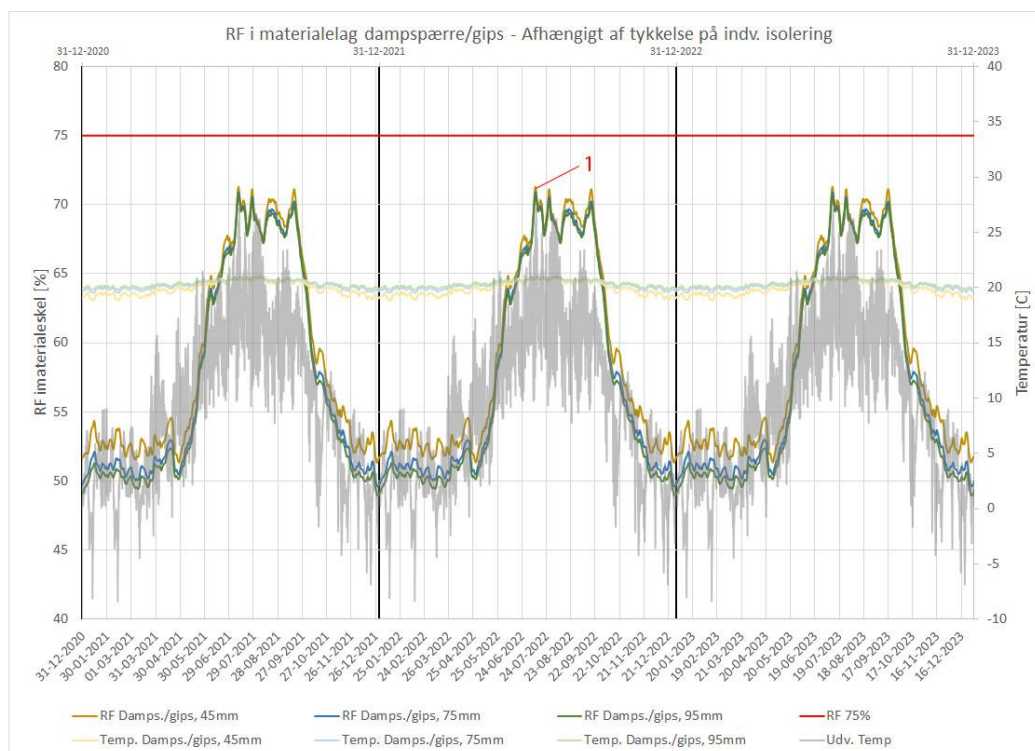
Figur 79: Beregning af vandindholdet, efter normaliserede forhold i kapillaraktiv isolering



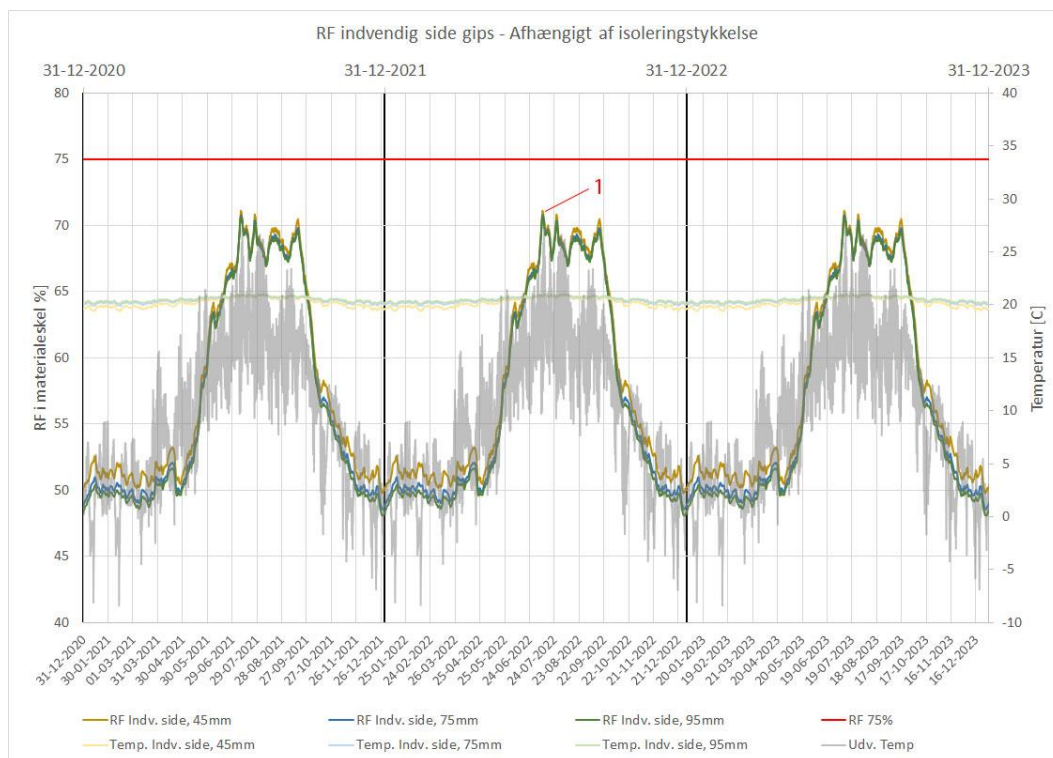
Figur 80: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed i materialeskellet mellem murværk og mineraluld



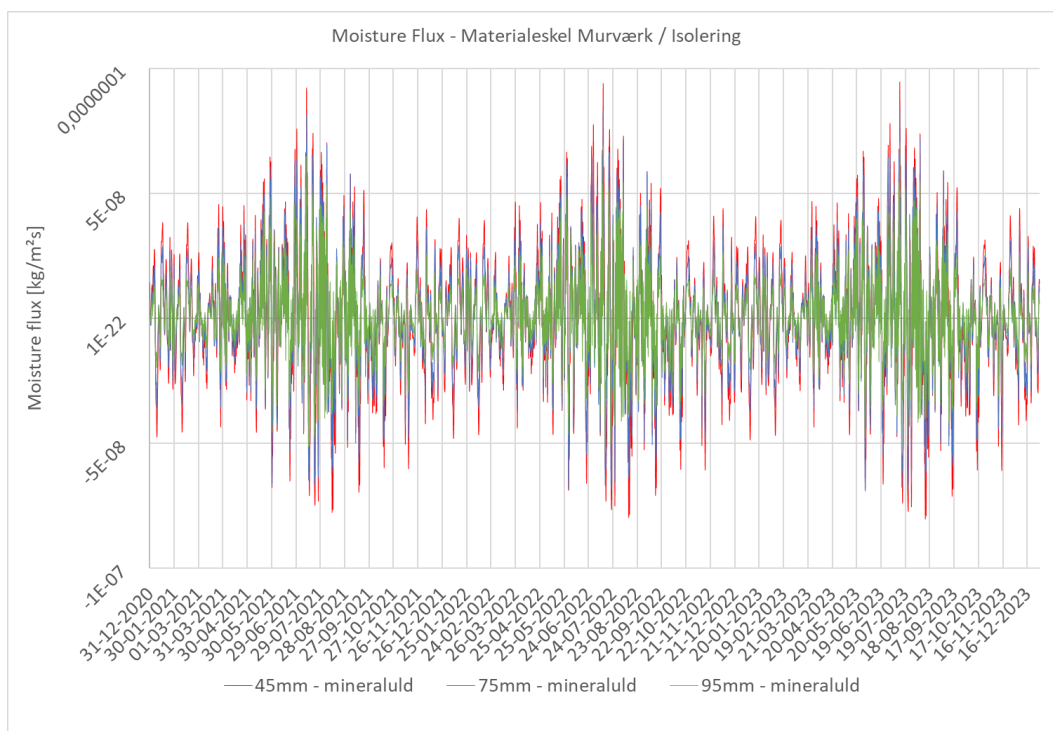
Figur 81: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed i materialeskellet mellem mineraluld og dampspærre efter normaliserede forhold.



Figur 82: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed i materialeskellet mellem dampspærre og gipsplade efter normaliserede forhold.



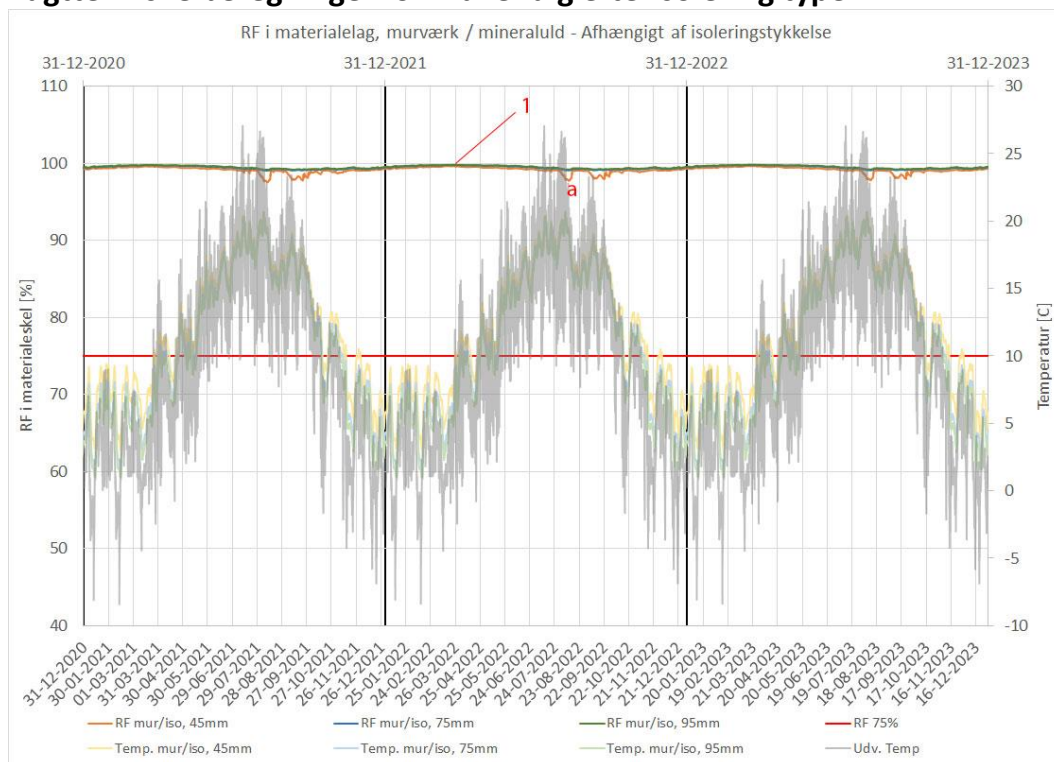
Figur 83: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed på indvendig overflade af gipsplade efter normaliserede forhold.



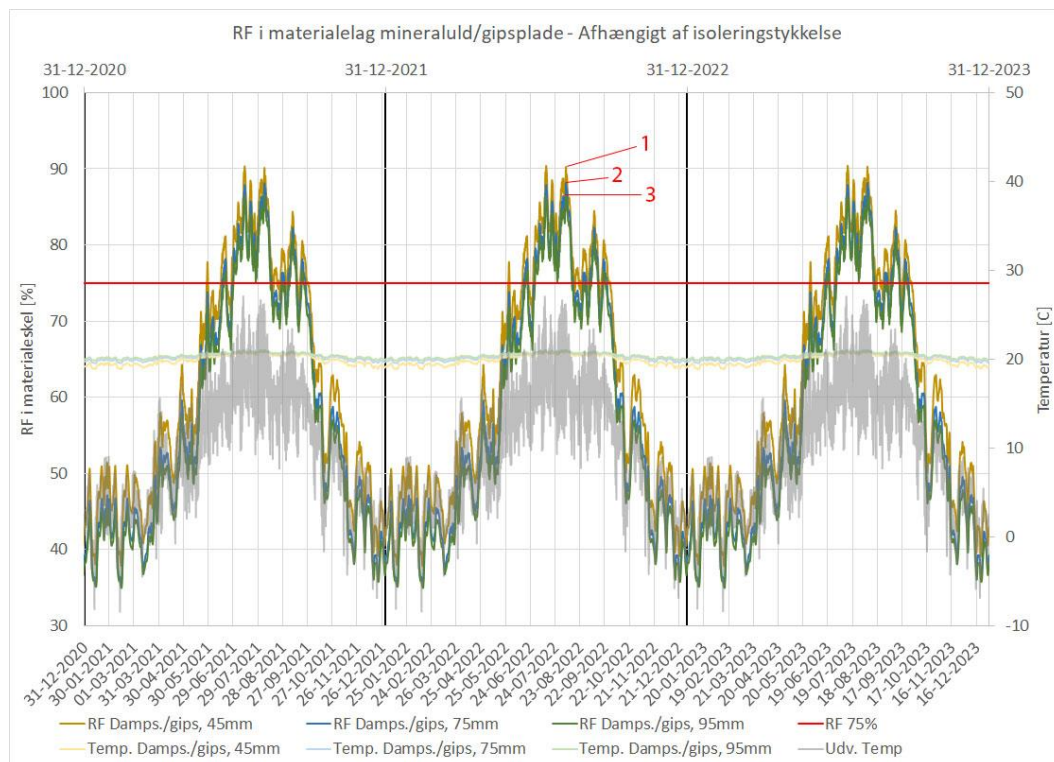
Figur 84: Flux for fugttransport i materialeskellet mellem murværk og isolering

10.9 Bilag 9

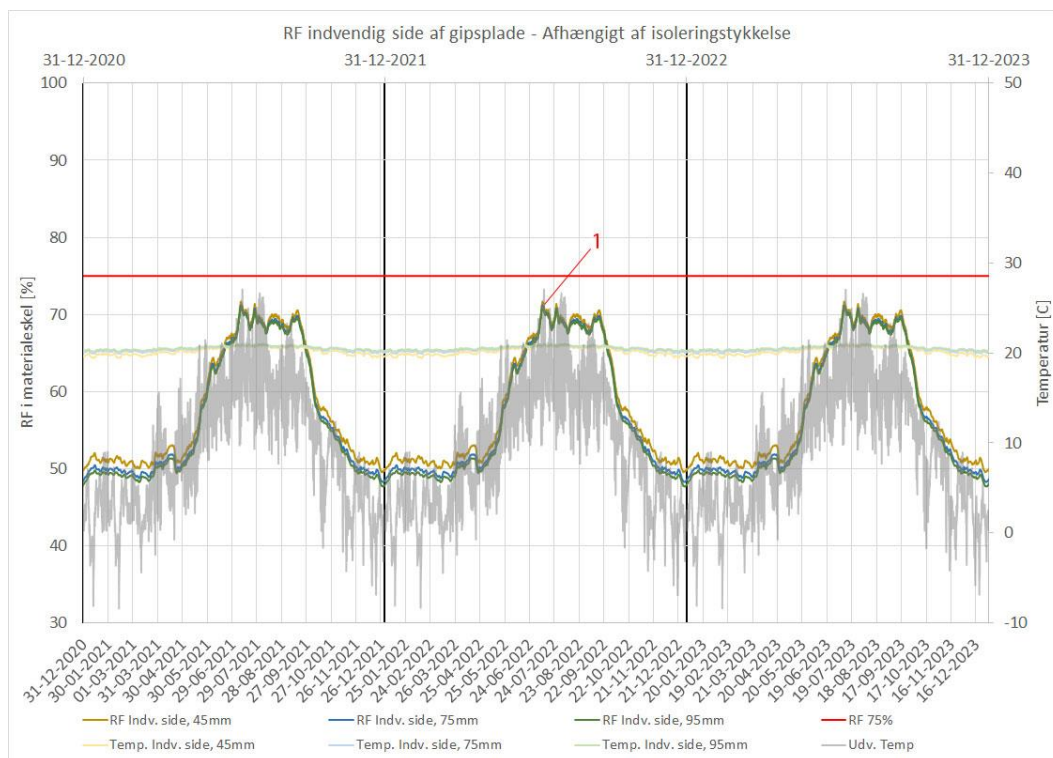
Fugttekniske beregninger for indvendig efterisolering type 2.1



Figur 85: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed i materialeskellet mellem murværk og mineraluld efter normaliserede forhold.



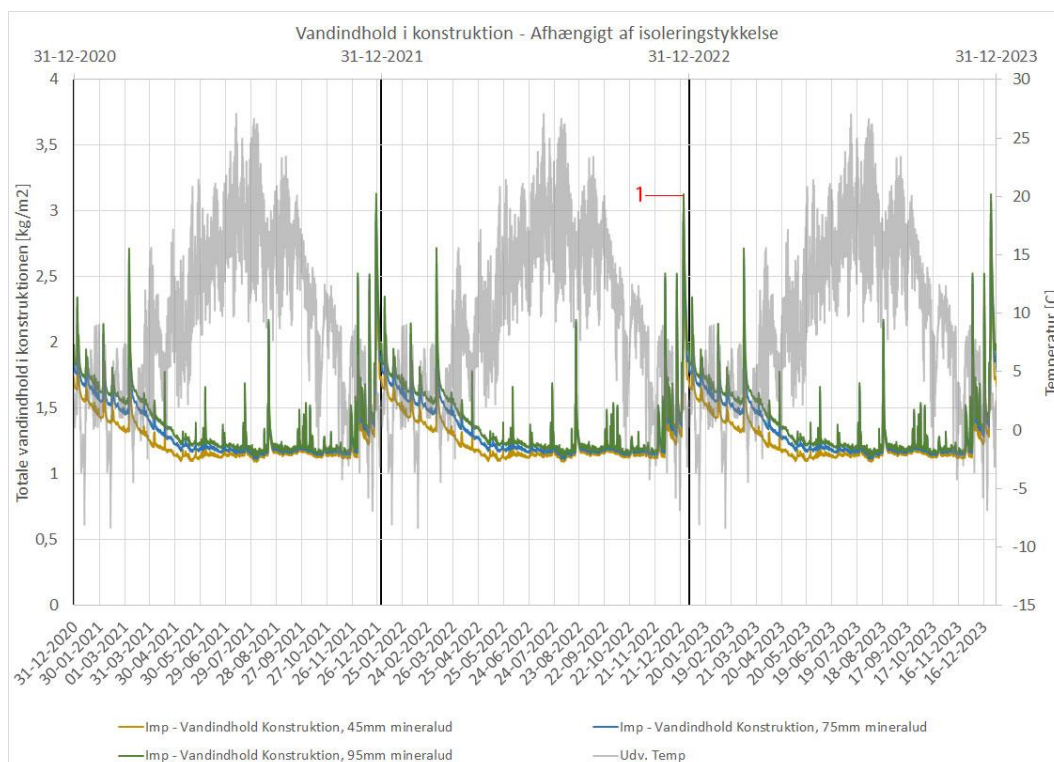
Figur 86: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed i materialeskellet mellem isolering og gipsplade efter normaliserede forhold.



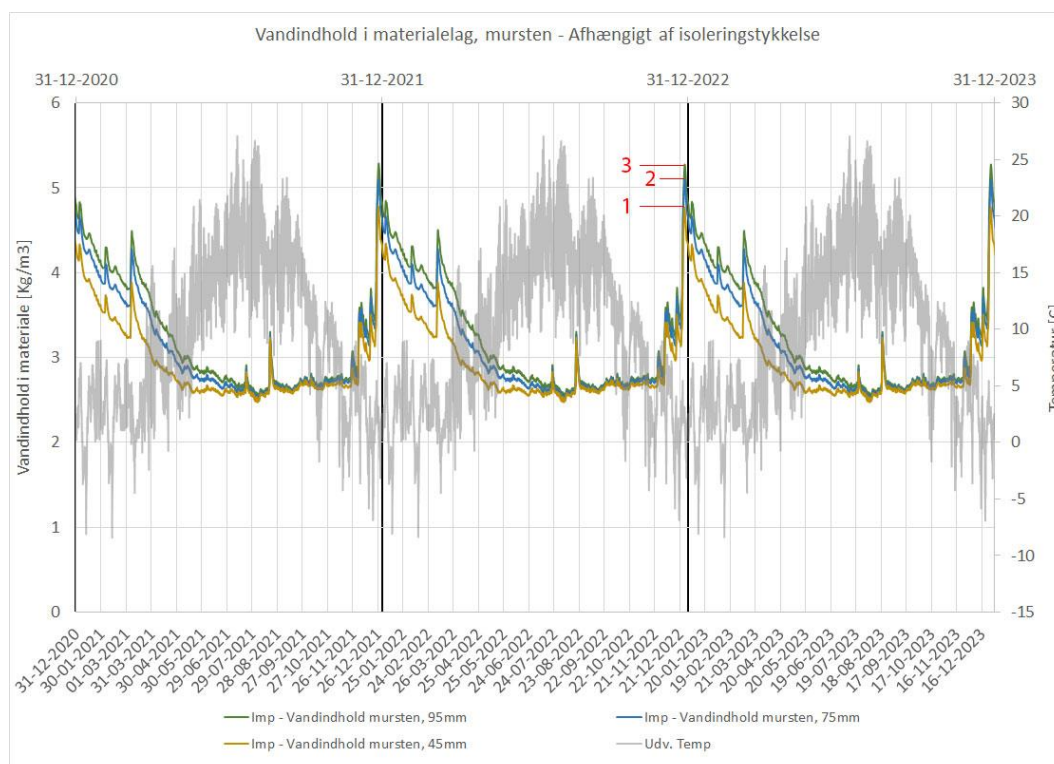
Figur 87: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed på indvendig overflade af gipsplade

10.10 Bilag 10

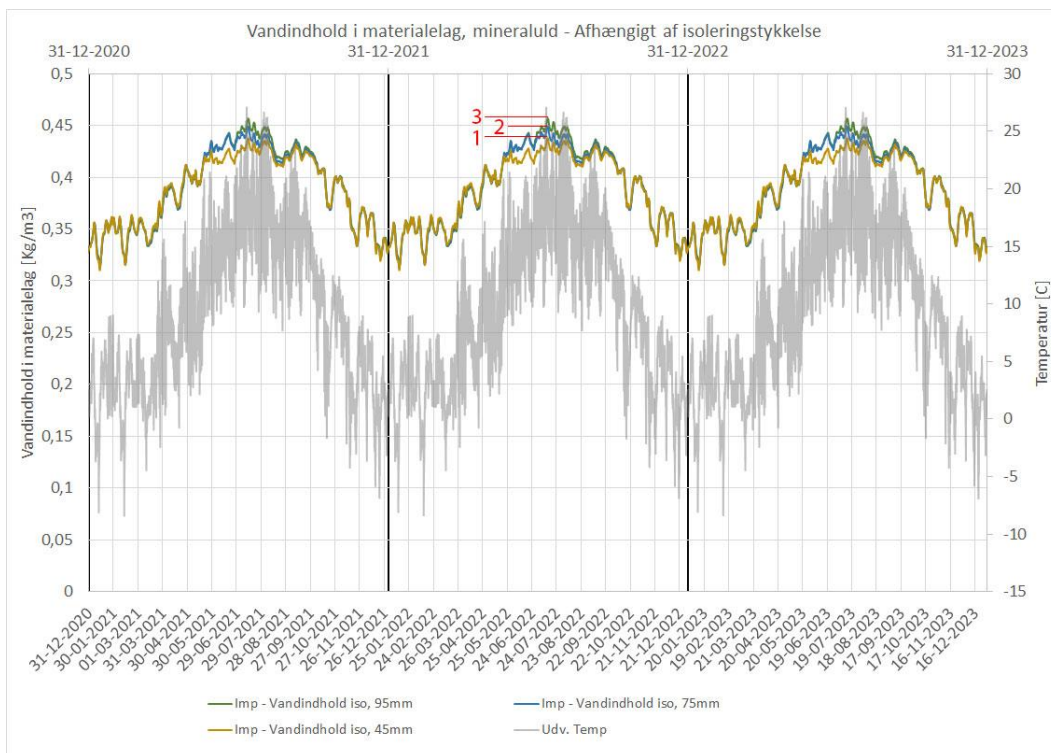
Fugttekniske beregninger for indvendig efterisolering type 2.2



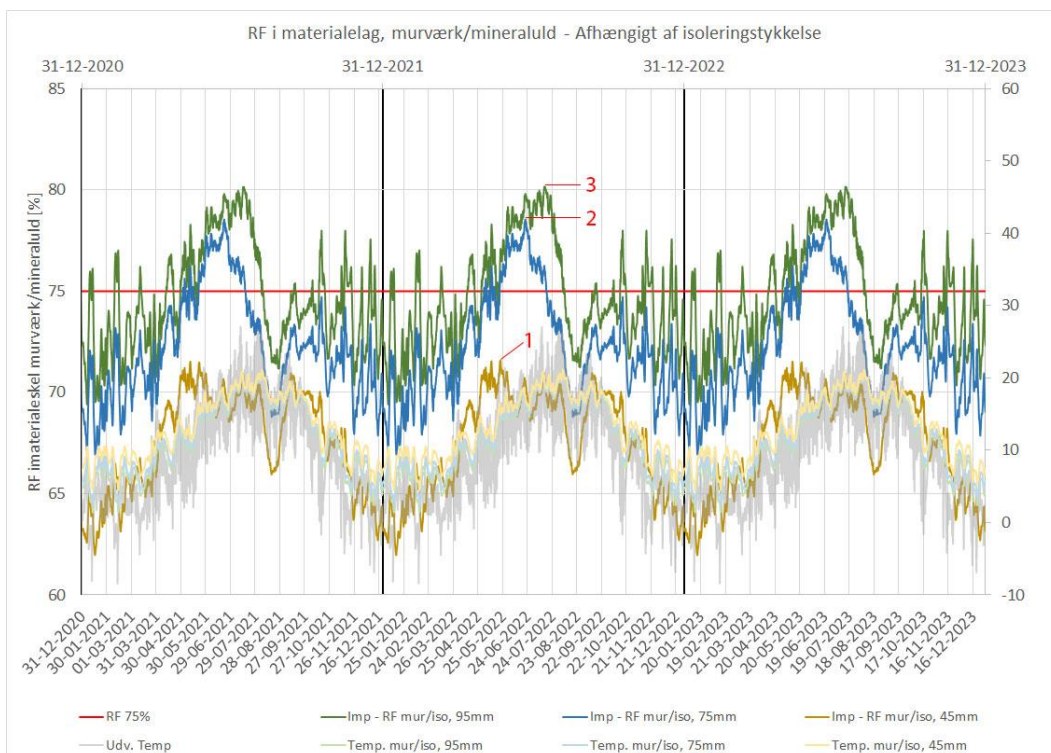
Figur 88: Beregning af totalt vandindholdet i den samlede konstruktion, efter normaliserede forhold



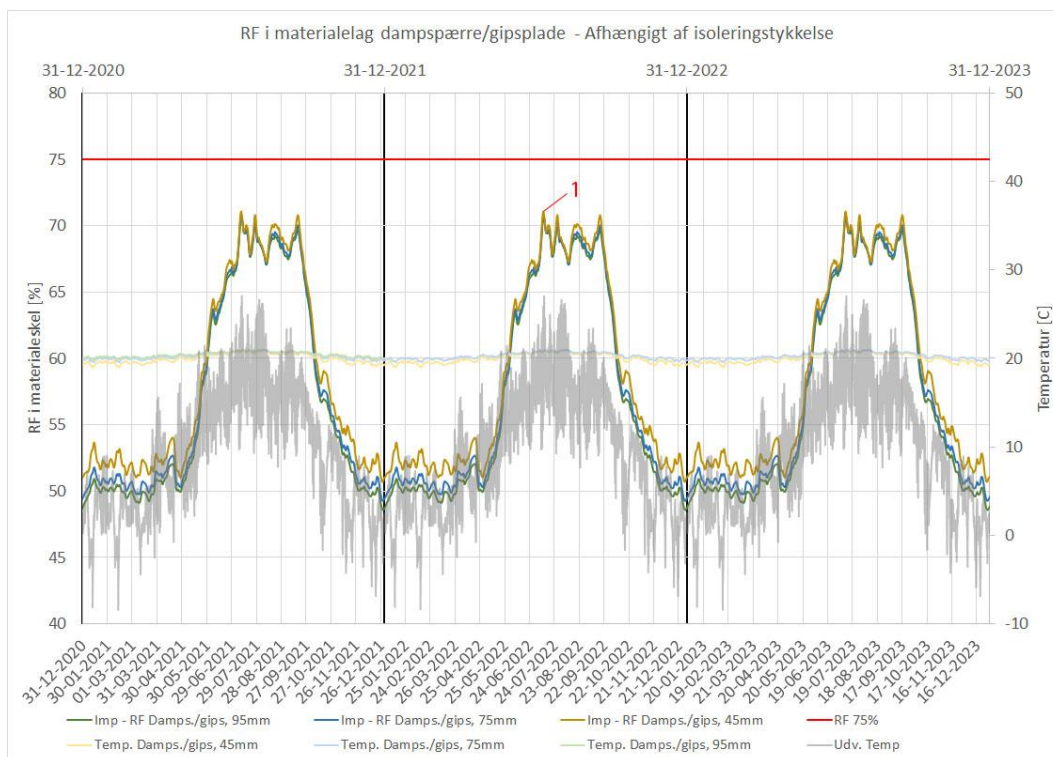
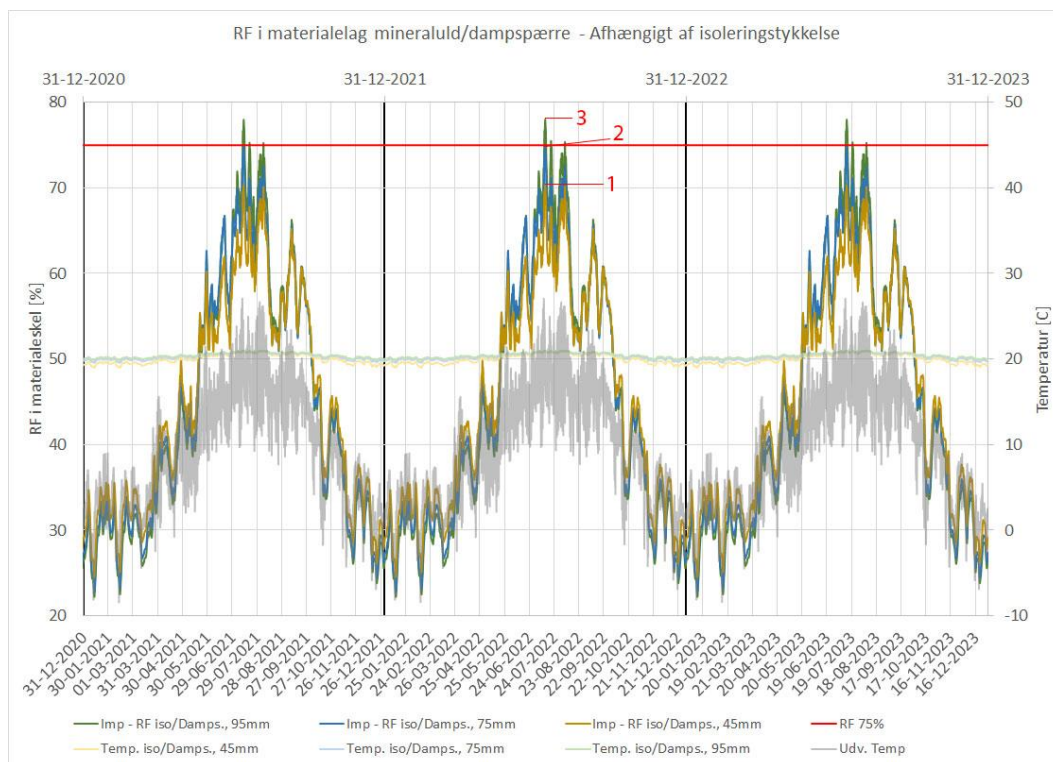
Figur 89: Beregning af vandindholdet i murværk, efter normaliserede forhold

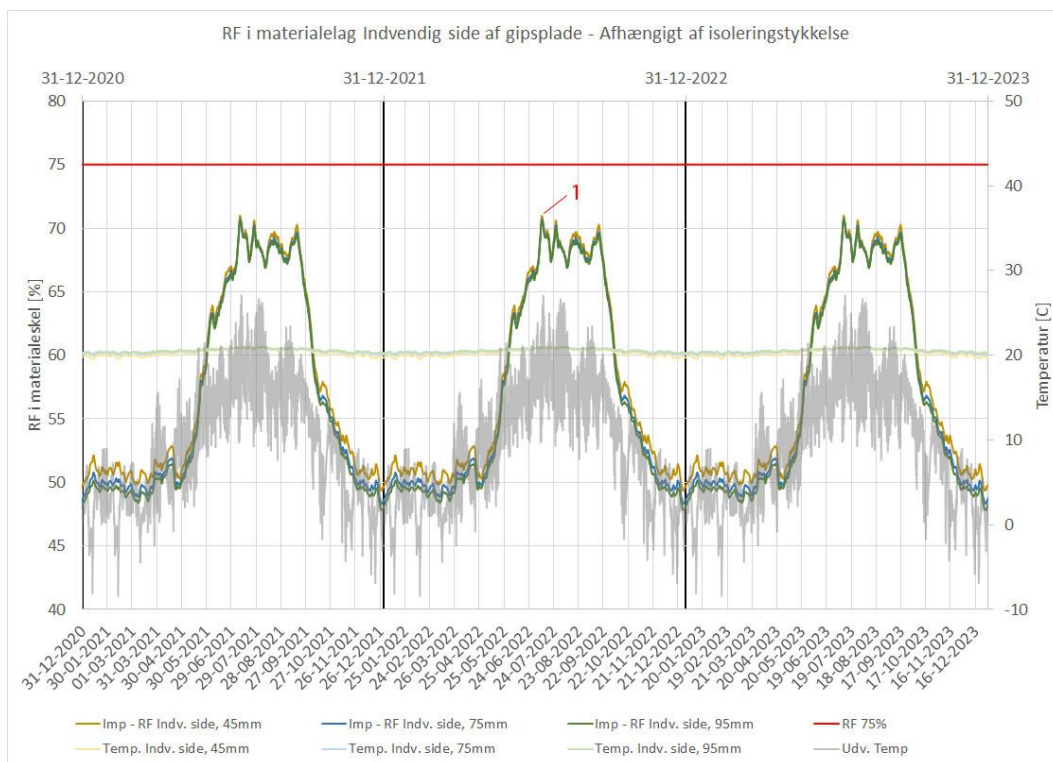


Figur 90: Beregning af vandindholdet i isolering, efter normaliserede forhold

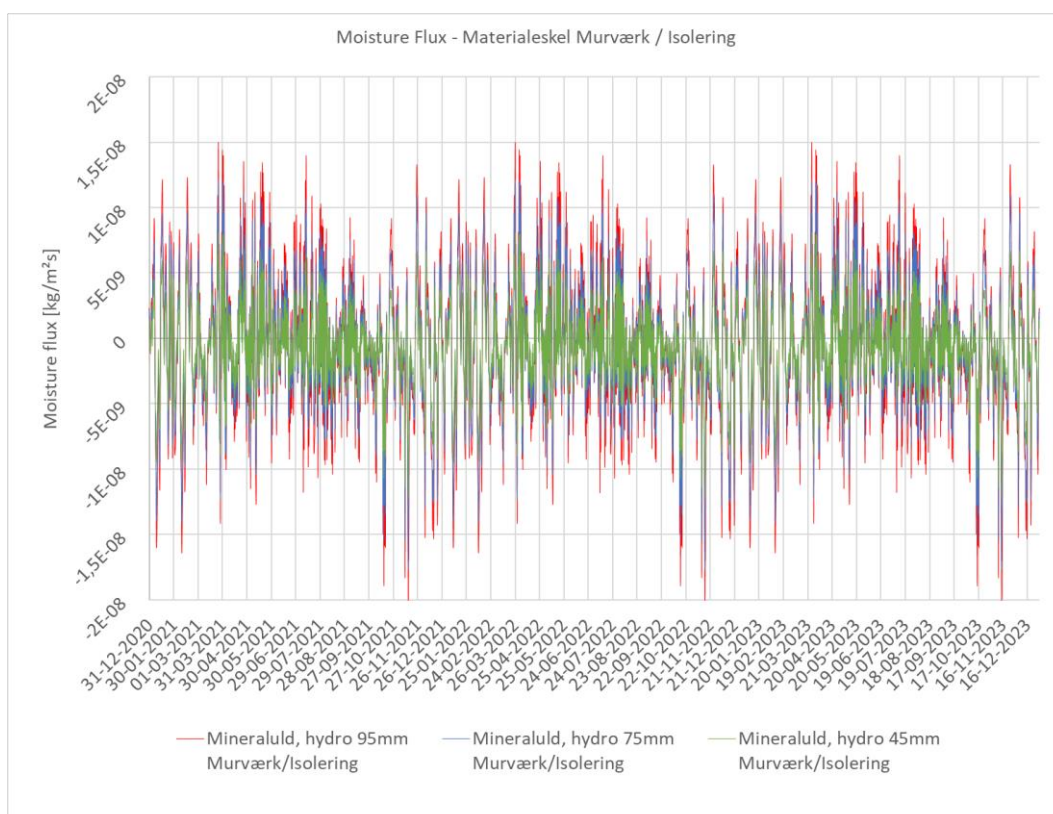


Figur 91: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed i materialeskellet mellem murværk og mineraluld

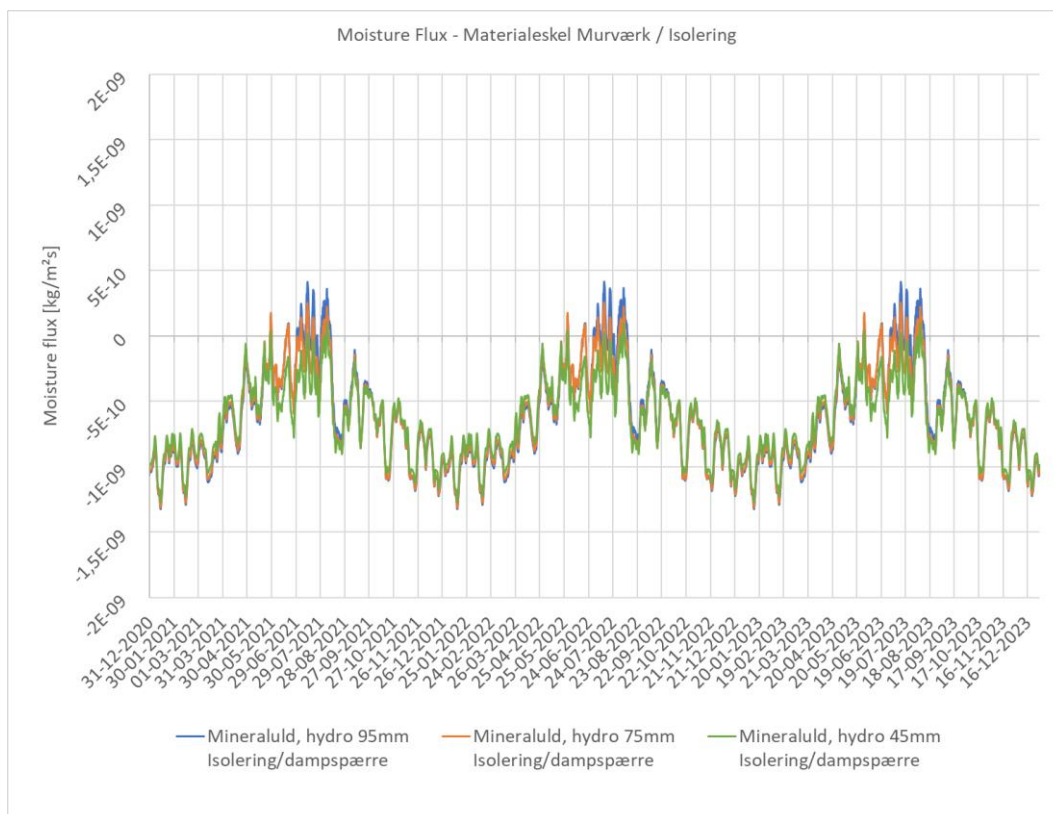




Figur 94: Beregning af årsforløbet for den relative fugtighed på indvendig overflade af gipsplade



Figur 95: Flux for fugttransport i materialeskellet mellem murværk og isolering

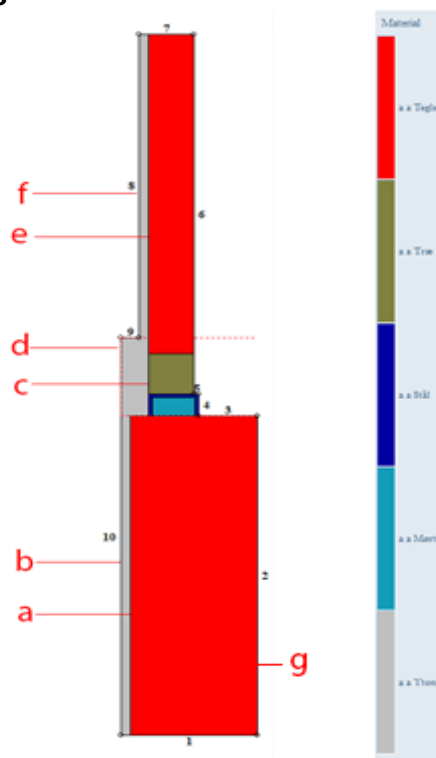


Figur 96: Flux for fugttransport i materialeskellet mellem isolering / dampspærre

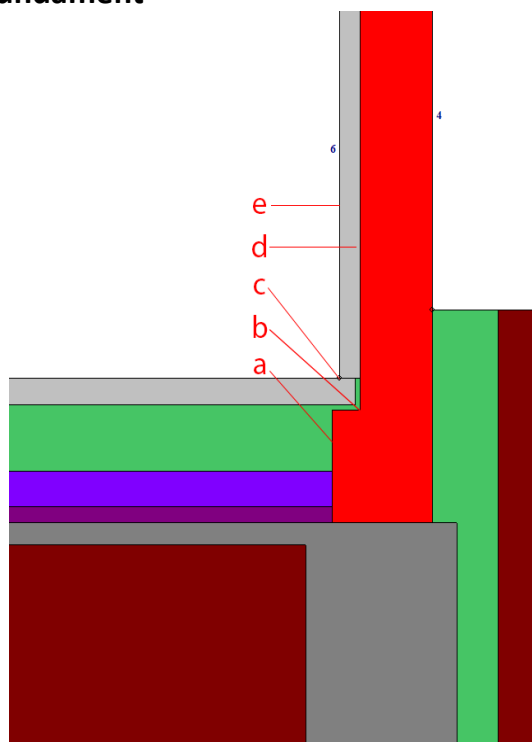
10.11 Bilag 11

HEAT 2 – Overfladetemperaturer

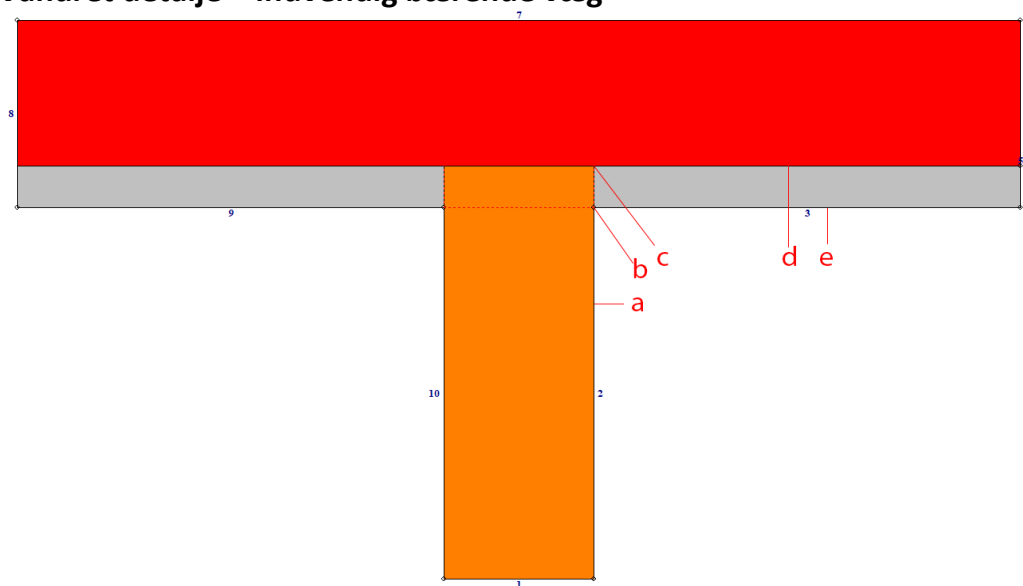
Lodret detalje – Skel i væg ved skift i facadebånd



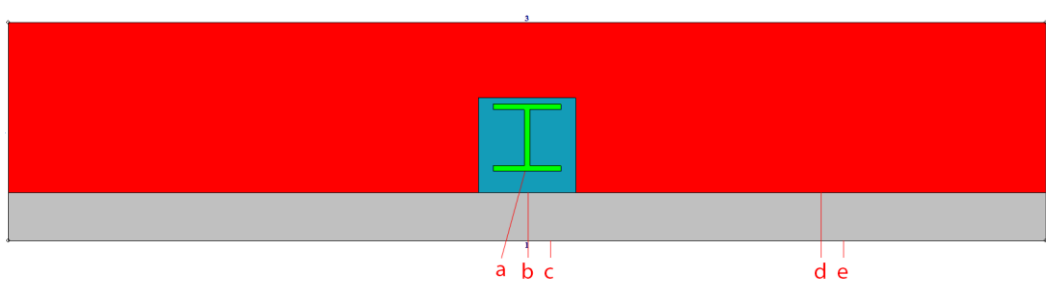
Lodret detalje – Fundament



Vandret detalje – Indvendig bærende væg



Vandret detalje – Stålsøjle i ydervæg



**Laboratorierapporten R&D 13 BBA
af d. 29.06.2010**

Façade Cream - Water Uptake Tests on Different Substrates

Safeguard are developing a waterproofing cream (Stormdry) for use on walls of residential and commercial buildings. This will have the ability to keep the outer wall of a house dry and thereby improve the insulation properties. Additional targets are to provide a) driving rain resistance and b) flood resilience

This report describes the testing done to check the imparted water resistance on a range of different substrates.

Substrates and Test Method

The water absorption was measured according to EN ISO 15148:2002 (E). Specimens of approximate size 100 x 100 x 25 mm were prepared by cutting blocks of material. The sides of each specimen were sealed with a water and vapour tight sealant (Blackfriars Interior Sealdamp) and allowed to dry.

The test coating was then applied to one of the 100 x 100 mm faces on each specimen. This was applied by brush and the amount applied was calculated at the coverage of 200 g/m². The specimens were then left for 28 days at 20 °C and 50% RH to allow the treatment to cure.

A metal grid was then placed in a water tight tray. This grid gave a small gap of 3 mm between the specimen and the bottom of the tray which allowed free access of water.

After the conditioning phase was complete, to start the test the specimens were weighed and placed in the water tray. Water was kept to a depth of 5mm. The weight was then recorded at intervals up to 7 days. The test method is normally run for 24 hours but this was extended to gain data that could be relevant to flood resilience.

Table 1 : Substrates used in the test

Type	Details	Composition	pH
Brick	Fired clay standard LBC Fletton – Most common type	Silicate	8.1
Brick	Fired clay West Hoathly Stock Brick	Silicate	6.4
Brick	Sand-lime type	Silicate	12.0
Mortar	New mortar made with soft sand:cement 5:1	Silicate	11.8
Mortar	“Old” mortar made to Safeguard laboratory recipe	Silicate	9.1
Sandstone	Blaxter sandstone	Silicate	7.7
Sandstone	York sandstone	Silicate	7.9
Sandstone	Sheffield sandstone. Sample from local merchant	Silicate	7.1
Limestone	Portland	Carbonate	8.4
Concrete	Paving slab (Builder Centre)	Silicate	12.9
Granite	Off-cut from a kitchen work top. Italian origin	Silicate	No data

The pH of the different substrates was measured by grinding 5 g of substrate to a powder and then dispersing this in 50 ml of deionised water.

Figure 1 : Shows the appearance of the Blaxter sandstone blocks during the water absorption test.

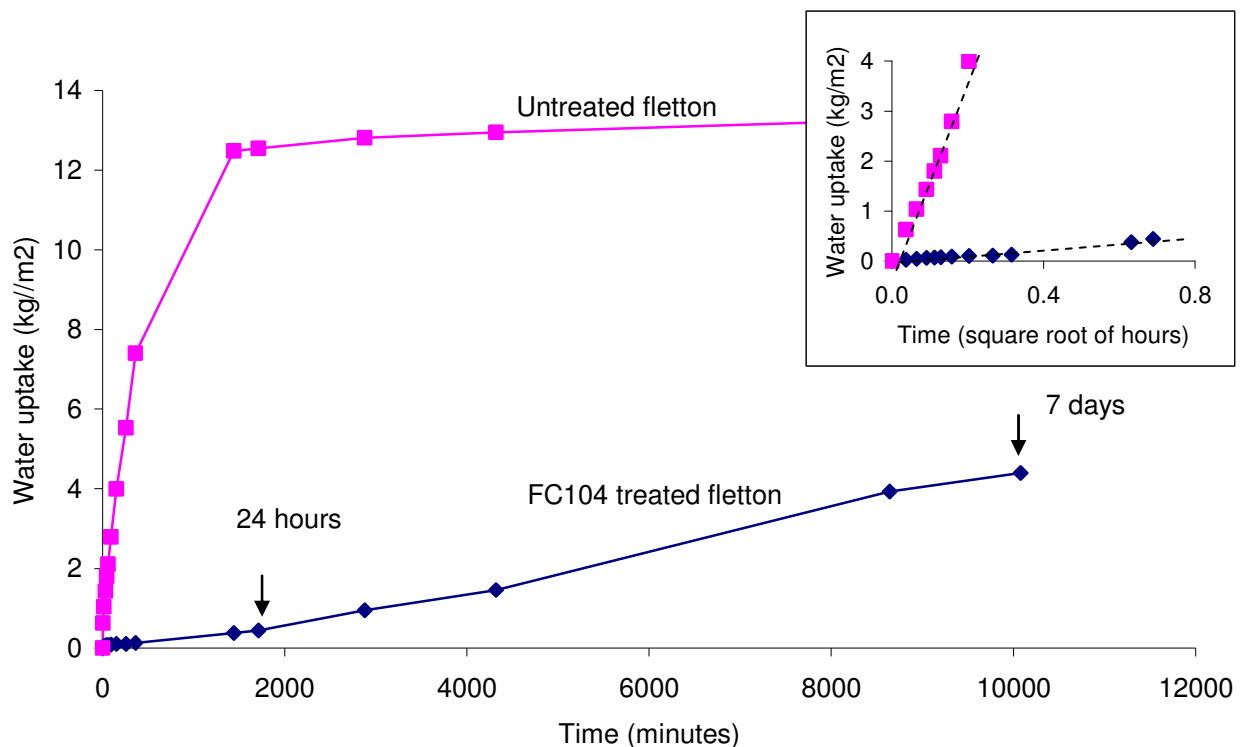
The darker colour of the control samples has resulted from water reaching the upper surface. The darker colour on the sample edges is the sealant.



2. Results

A graph showing a typical water absorption is shown below. For the untreated brick most water absorption occurs in the first 24 hours. The treatment has the effect of reducing the rate on water absorption and the final amount.

Figure 2 : Water uptake graphs of treated and untreated Fletton brick



The test method also gives a description of how to calculate the Water Absorption Coefficient (W_w).

This is the gradient of the water uptake in kg/m² against square root of time graph in hours. The inset in the figure shows the data over the first 24 hours plotted against the square root of time. The gradient was measured to be 19.0 kg/m² hr^{0.5} for the untreated brick and 0.59 kg/m² hr^{0.5} for the treated one.

The Water Absorption Coefficient is a term which describes how quickly water flows into the substrate. The alternative measure of this characteristic is the sorptivity as measured in the Survey of Mortar samples undertaken by Safeguard. In the example above the sorptivity of the untreated Fletton was measured as 0.25 mm min^{-0.5}

(b) Comparison on different substrates

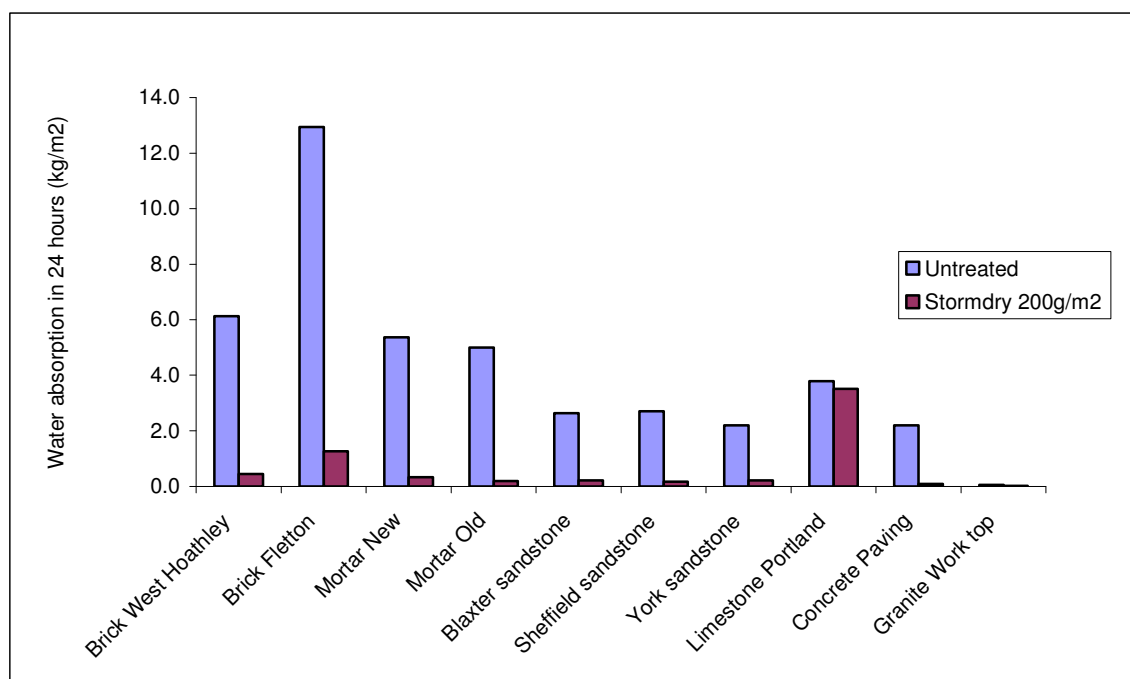
The water uptake results at 24 hours are presented in Table 2. Two samples were run on each of the untreated materials and two on Stormdry. The results have been divided up into those on bricks, mortar, sandstone and others. The comments on these results are as follows;

Table 1: Water absorption results (kg/m²) in 24 hours

	Brick West Hoathley	Brick Fletton	Mortar New	Mortar Old	Blaxter sandstone	Sheffield sandstone	York sandstone	Limestone Portland	Concrete Paving	Granite Work top
Untreated	6.1	12.9	5.4	5.0	2.6	2.7	2.2	3.8	2.2	0.06
Stormdry 200g/m ²	0.5	1.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	3.5	0.1	0.02

(i) The data on the untreated controls shows some big differences in water uptake rates. The Fletton bricks have the highest water value and the lowest value is seen with granite

Figure 2 : Bar chart showing the 24-hour water absorption results on different materials



(ii) A bar chart showing the performance of the Stormdry is shown. It can be seen to be effective on the silicate based materials but not on carbonate (limestone).

At the end of the 7-day test, the depth of the hydrophobic zone was measured by breaking the sample in half to give the data in Table 3. "nv" marked in the table indicates that the zone was not visible

Table 3: Depth of hydrophobic layer

	Brick West Hoathley	Brick Fletton	Mortar New	Mortar Old	Blaxter sandstone	Sheffield sandstone	York sandstone	Limestone Portland	Concrete Paving	Granite Work top
Untreated	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stormdry 200g/m ²	10	12	4	8	6	—	6	nv	4	0

The Fletton brick showed the greatest penetration depth, granite the least. The results broadly reflect the differences seen from water absorption on the untreated substrates with the alkalinity of the material reducing penetration due to the faster reaction rate with the substrate.

Conclusion

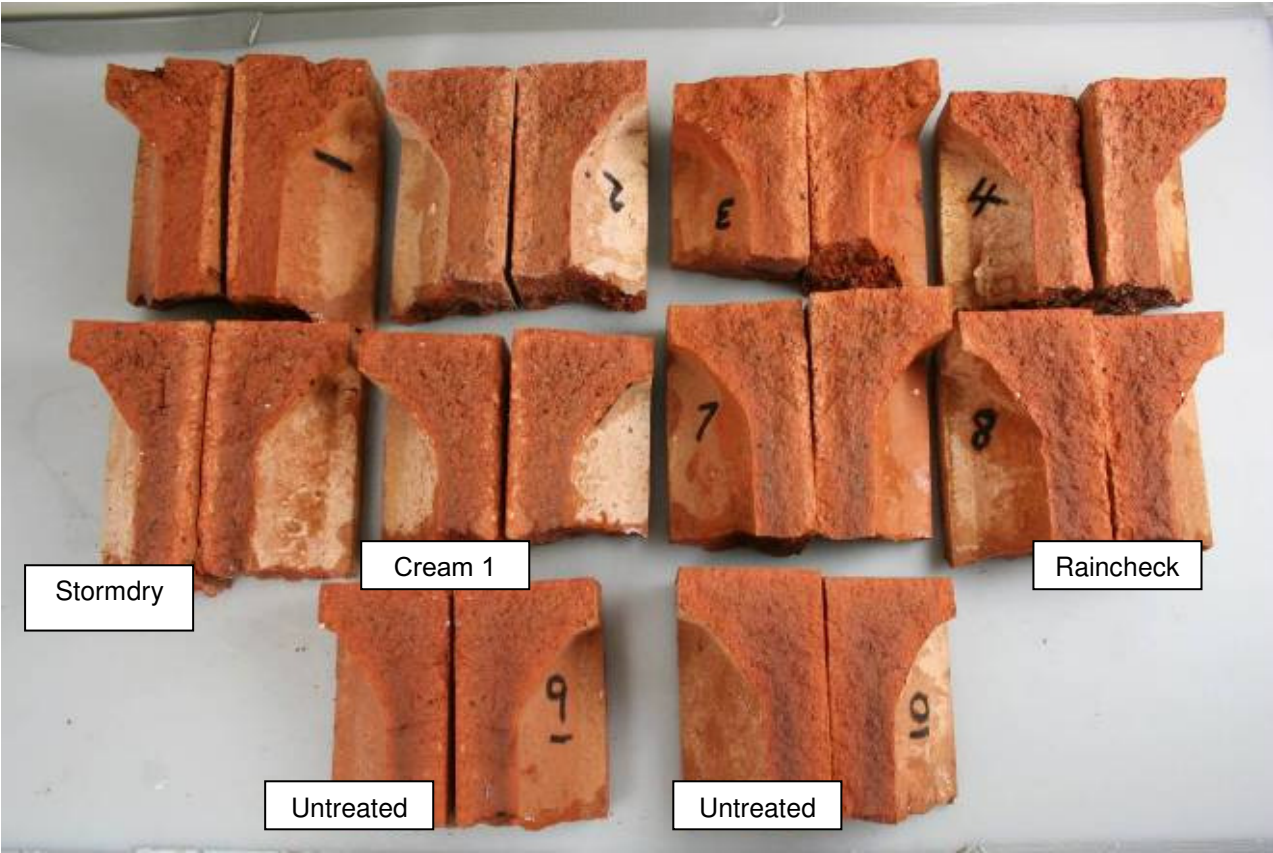
The test results show the water absorption of the substrate to be significantly reduced by Stormdry applied at 200 g/m²

The results generally fit the pattern that the depth of penetration is influenced by the sorptivity and pH of the substrate.

The pictures in the Appendix show some examples of the hydrophobic zone. These pictures are from a wide range of recipes that were tested in the process of finalising the Stormdry recipe.

E.Rirsch
29 June 2010

Appendix : Pictures showing the Depth of Hydrophobic Zone



LABORATORY REPORT

R&D 13 BBA

29th June 2010



Photo : Water Spray on Stormdry Treated Wall

