AALBORG UNIVERSITET
KØBENHAVN

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

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

Studenterrapport

Uddannelse:
Master i Bygningsfysik

Semester:
4. semester

Titel på masterprojekt:
Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier

- oprindelige forhold og efterisoleringsmuligheder

Projektperiode:
1. februar til 1. juni 2016

Vejledere:
Eva B. Møller
Ernst Jan de Place Hansen

Studerende:
Per Juel Hansen

Per Juel Hansen

Antal normalsider:
62 normalsider

Vedlagt kvittering fra Digital Eksamen

Afleveringsdato:
1. juni 2016

Resume:

Efter anden verdenskrig var boligmanglen i Danmark stor, og man forsøgte fra politisk side at løse problematikken ved at indføre statsstøtteordninger til opførelse af almennyttige lejeboliger. Et krav var, at prisen på byggeriet skulle holdes nede bl.a. ved brug af nye materialer og løsninger, der for nogles vedkommende efterfølgende har vist sig at være problematiske bl.a. ift. fugt.

Krav til varmeisolering var ikke normalt på denne tid, men ved de statsstøttede byggerier skulle ydervæggene overholde et varmetabskrav. Kravene var lempelige, da energipriserne var lave. Først efter de første oliekriser i starten af 1970'erne blev varmeisoleringskravene i dansk byggeri skærpet.

I dag stilles tillige krav om gennemførsel af rentable energibesparelser ved renoveringsprojekter. Med udgangspunkt i en case er det undersøgt, om efterkrigstidens betonelementbyggerier kan opgraderes til disse krav, når løsningerne samtidig skal være fugtteknisk robuste.

Ud fra langtidsmålinger af temperatur- og fugtniveauer, bygningstermografering og visuel besigtigelse af de eksisterende konstruktioner, er der foretaget simuleringer med varme- og fugtsimuleringsprogrammer for at undersøge efterisoleringsmulighederne.

Case-undersøgelserne viser, at det eksisterende byggeri rummer store problemer med højt varmeforbrug grundet lave isoleringsniveauer og mange kuldebroer. Simuleringerne viser, at indvendig efterisolering – og særligt hulrumsisolering – af ydervæggene er meget afhængige af en tætsluttende dampspærre, og generelt rummede fugtproblematikker. En udvendig efterisolering er den eneste, der kan anbefales uden forbehold. Det viste sig samtidig, at en isoleringsgrad der opfylder Bygningsreglementets krav ikke var rentabel, da løsningen ville kræve ombygning af tilstødende bygningsdele.

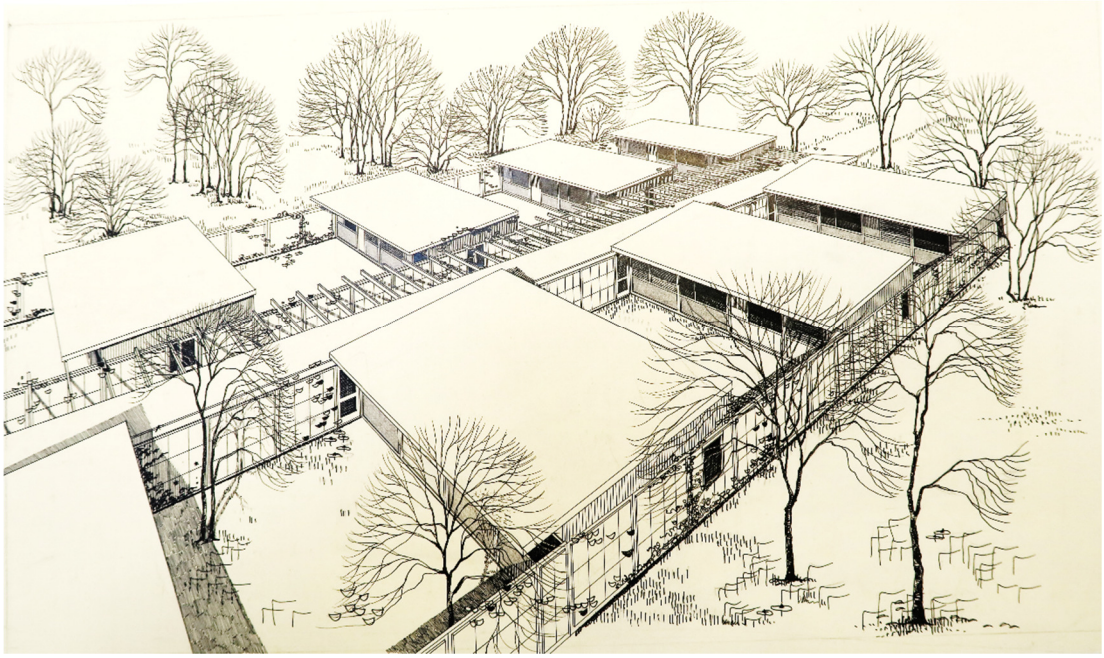
Copyright © 2015. This report and/or appended material may not be partly or completely published or copied without prior written approval from the authors. Neither may the contents be used for commercial purposes without this written approval

Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier

- Oprindelige forhold og efterisoleringsmuligheder

Per Juel Hansen
Master i Bygningsfysik F16

Masterspeciale afleveret 1. juni 2016



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

Titel	Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier
Undertitel	- Oprindelige forhold og renoveringsmuligheder
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2016
Forfatter	Per Juel Hansen
Undervisningsfag	Masterspeciale, Master i Bygningsfysik
Vejledere	Eva B. Møller og Ernst Jan de Place Hansen
Sprog	Dansk
Sidetal	117
English summary	Page 5
Emneord	-

Forside billede: ”Grenhusene” i Hvidovre, 1958.
Lånt fra arkitekt Svenn Eske Kristensens tegningsarkiv, Danmarks Kunstbibliotek.

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

Forord

Denne rapport er udarbejdet som afsluttende masterspeciale på studiet Master i Bygningsfysik ved Aalborg Universitet i København.

Specialerapportens første kapitler omhandler en generel baggrund omkring efterkrigstidens byggerier, deres varmeisoleringsniveau, og hvad der var med til at udvikle det danske byggeri i retning mod industrialisering og elementbyggeri. Dernæst ses på teorien omkring de bygningsfysiske forhold, der er grundlaget for den efterfølgende undersøgelse af et konkret efterkrigsbyggeri.

Byggerier fra efterkrigstiden er særligt interessante ift. bygningsfysikken, da det er en periode i dansk byggeri, hvor det gik rigtig stærkt. Der blev udviklet nye byggemetoder, og efterfølgende har det vist sig, at ikke alt var så godt, som det umiddelbart så ud til varme- og fugtteknisk. Det er også en periode, hvor varmeisolering af konstruktionerne kom til at spille en større og større rolle, hvilket gav nye bygningsfysiske udfordringer.

For at undersøge baggrund og teori i praksis, tages udgangspunkt i en konkret case – et af de første betonelementbyggerier der er opført i Danmark, hvor tanken var, at overføre konstruktionsprincipperne fra etagebyggeriet til en tæt-lav bebyggelse med udlejningsboliger.

Undervejs i udarbejdelsen af specialerapporten har det været essentielt at få oplysninger fra forskellig side. I den forbindelse vil jeg gerne takke DAB-inspektør Michael Skov for god og velvillig assistance i forbindelse med fremskaffelse af informationer til casen om Grenhusene. Der skal tillige lyde en tak til mine vejledere Eva B. Møller og Ernst Jan de Place Hansen fra SBi/AAU for en række gode vejledermøder samt fine bidrag med faglig viden og konstruktiv kritik.

Resumé

Efter anden verdenskrig var boligmanglen i Danmark stor, og man forsøgte fra politisk side at løse problematikken ved at indføre statsstøtteordninger til opførelse af almennyttige lejeboliger. Et krav var, at prisen på byggeriet skulle holdes nede bl.a. ved brug af nye materialer og løsninger, der for nogles vedkommende, efterfølgende har vist sig at være problematiske bl.a. ift. fugt.

Krav til varmeisolering var ikke normalt på denne tid, men ved de statsstøttede byggerier skulle ydervæggene overholde et varmetabskrav. Kravene var lempelige, da energipriserne var lave. Først efter de første oliekriser i starten af 1970'erne blev varmeisoleringskravene i dansk byggeri skærpet.

I dag stilles tillige krav om gennemførsel af rentable energibesparelser ved renoveringsprojekter. Med udgangspunkt i en case er det undersøgt, om efterkrigstidens betonelementbyggerier kan opgraderes til disse krav, når løsningerne samtidig skal være fugtteknisk robuste.

Ud fra langtidsmålinger af temperatur- og fugtniveauer, bygningstermografering og visuel besigtigelse af de eksisterende konstruktioner, er der foretaget simuleringer med varme- og fugtsimuleringsprogrammer (WUFI og HEAT2) for at undersøge efterisoleringsmulighederne.

Case-undersøgelserne viser, at det eksisterende byggeri rummer store problemer med højt varmeforbrug, grundet lave isoleringsniveauer, og mange kuldebroer. Simuleringerne viser, at indvendig efterisolering – og særligt hulrumsisolering – af ydervæggene er meget afhængige af en tætsluttende dampspærre, og generelt rummede fugtproblematikker. En udvendig efterisolering er den eneste, der kan anbefales uden forbehold. Det viste sig samtidig, at en isoleringsgrad der lever fuldt op til Bygningsreglementets U-værdikrav ikke var rentabel i casen, da løsningen ville kræve ombygning af tilstødende bygningsdele.

English Summary

After World War II, housing shortage was a significant problem in Denmark. In order to solve the problem, the politicians introduced state subsidies to the construction of apartment building. Among others, a requirement was that the construction cost would be kept low, and the use of new building materials and the rethinking of construction solutions were performed. Today, we are aware of that some of the previous solutions that were invented have fostered moisture problems resulting in a risk of mold growing in the constructions.

At the time, thermal insulation was not a part of the legislation. However, the building projects that received the state subsidies had to comply special heat loss requirements. At the time, the requirements were not rigorous because of the low energy prices. In the early 1970s, there were several wars in The Middle East. Consequently, the price on heating oil increased, which changed the legislation of heat loss requirements. In the following years, the requirements were highly intensified.

Today, the Danish legal requirements require the implementation of profitable energy savings in renovation projects. Based on a case study, it was investigated whether pre-fabricated post world war concrete walls can be upgraded to the contemporary heat loss requirements, if the solutions also need to resist moisture related problems.

Based on long-term measurements of temperature and humidity levels, thermographic registrations and visual inspection, the existing building constructions are studied. By simulating heat and humidity situations through the constructions by simulation programs called “WUFI” and “HEAT2”, the risk of moisture influences and mold growth are investigated.

The results from the case study and the simulations showed that the existing building has significant high heat consumption. It is due to low insulation levels and many thermal bridges. Furthermore, the simulations demonstrated that the internal thermal insulation - and particularly cavity insulation - are highly dependent on a tightly sealed vapor barrier, and generally contained moisture problems in the construction. An additional external insulation is the only recommendation without reservations. At the same time, it turned out that the degree of insulation that meets the building regulations was not profitable, because a change of adjoining building constructions was required.

Indhold

Forord ... **3**
Resumé ... **4**
English Summary ... **5**
Indhold ... **6**
1. Indledning ... **9**
2. Baggrund ... **12**
2.1 Varmeisoleringens historie ... 12
2.1.1 De første isoleringsmaterialer ... 12
2.1.2 Mineraluld blev det fortrukne isoleringsmateriale ... 13
2.2 Byggeriets udvikling mod industrialisering og montagebyggeri ... 15
2.2.1 Byggeriet før anden verdenskrig – til 1950'erne ... 15
2.2.2 Byggeriets udvikling efter anden verdenskrig – fra 1950'erne ... 16
2.2.3 Hvad prægede efterkrigstidens byggeskik? ... 16
2.2.4 Arkitekten Svenn Eske Kristensen og hans mission ... 18
2.2.5 Danmarks første industrialiserede byggeri ... 18
2.2.6 Tiden efter – Starten på en ny epoke i dansk byggeri ... 19
2.2.7 Bygningerne i dag – miljøkritiske stoffer lokaliseres ved renovering ... 19
2.3 Udviklingen i Bygningsreglementets varmeisoleringskrav ... 20
2.3.1 De første lovkrav ... 20
2.3.2 Krav og regler ved efterkrigstidens byggerier ... 20
2.3.3 Krav og regler til varmeisolering 1960 til i dag ... 21
2.3.4 Krav og regler i dag ... 22
3. Teori og teknisk baggrundsdata ... **24**
3.1 Klimaskærmens funktion ... 24
3.1.1 Klimaskærmens vigtigste egenskaber ... 24
3.2 Grundlæggende varmeteori ... 24
3.2.1 Varmetab, λ-værdier og U-værdier ... 25
3.2.2 Inhomogene materialelag ... 25
3.2.3 Overgangsisolans ... 25
3.2.4 Kuldebroer ... 26
3.2.5 Sortsværtning og støvaftegninger ... 26
3.3 Grundlæggende fugtteori ... 27
3.3.1 Fugt i bygninger ... 27
3.3.2 Fugtligevægt ved absorption og desorption ... 29
3.3.3 Fugtkilder og fugtbelastningsklasser ... 29
3.3.4 Grundlæggende om skimmelsvampe ... 30
3.3 Efterisolering – komfort eller energibesparelse? ... 31
3.3.1 De første cm isolering giver største energibesparelse ... 31
3.4 Efterisolering – udvendig eller indvendig løsning? ... 33

3.4.1 Udvendig efterisolering bør være første valg ... 33
3.4.2 Indvendig efterisolering – en mulighed der rummer overvejelser ... 33
3.4.3 Kilder til udefrakommende fugt ... 34
3.4.4 Indbygning af en dampspærre ... 35
3.5 Betydningen af beboeradfærd ... 35
4. Eksisterende forhold ... 37
4.1 Den valgte case ... 37
4.1.1 Beskrivelse af byggeriet – "Grenhusene" ... 37
4.1.2 Grenhusenes varmeforsyning og forbrug ... 39
4.2 Grenhusenes konstruktionsprincipper ... 39
4.2.1 Det overordnede byggeprincip ... 39
4.2.2 Ydervæggens opbygning – registreringer og ændringer ... 42
4.2.3 Gennemførte renoveringsprojekter ... 46
4.3 Metoder og materialer ... 48
4.3.1 Undersøgelsesmetoder ... 48
4.3.2 Undersøgelser i marken ... 48
4.3.3 Måleudstyr ... 49
4.3.4 Analyser og programmer ... 52
4.3.5 Temperatur- og fugtforhold ... 54
4.3.6 Anvendt materialedata ... 54
4.4 Resultater ... 56
4.4.1 Logning af fugt og temperatur ... 56
4.4.2 Fugtbelastning og kritiske overfladetemperaturer ... 56
4.4.3 Resultater ved besigtigelse – Termografering ... 58
4.4.4 Resultater ved besigtigelse – Overflademålinger ... 60
4.4.5 Varmeisoleringsniveau og fugtberegninger efter Glasers-metode ... 62
4.4.6 Fugtsimuleringer i WUFI ... 64
4.4.7 Simulering af varmeisolering og kuldebroer i HEAT2 ... 66
4.5 Vurdering af eksisterende forhold ... 67
4.5.1 Overfladetemperaturer på ydervæggene ... 67
4.5.1 Grenhusenes isoleringsniveau ... 68
5. Energioptimering af efterkrigstidens byggerier ... 69
5.1 Baggrund for valgte løsningsmodeller ... 69
5.1.1 Løsningsmodellernes fordele og ulemper ... 71
5.1.2 Parametre af betydning for efterisolering ... 71
5.2 Metoder og materialer ... 72
5.2.1 Isoleringstykkelse jf. BR-krav - overslagsberegninger ... 72
5.2.2 Undersøgte konstruktionsløsninger ... 73
5.2.3 Anvendt materialedata ... 75
5.2.4 Anvendte metoder ... 76
5.2.5 Simulering af utæt dampspærre ... 79

5.3 Resultater 81
5.3.1 Resultater i forhold til BR-krav 81
5.3.2 Resultater af udvendige efterisoleringsløsninger 82
5.3.3 Resultater af indvendige efterisoleringsløsninger 86
5.3.4 Resultater af efterisoleringsløsninger i hulrum 92
5.3.5 Resultater af efterisoleringsløsninger – opsummering 94
5.3.6 Resultater af simulering af utæt/manglende dampspærre 96
6. Diskussion 98
6.1 Casen - Den eksisterende bebyggelse 98
6.1.1 Fugtniveauer ud fra logninger 98
6.1.2 Beboeradfærd og fugtbelastningsniveau 99
6.2 Vurdering af løsningsforslag 100
6.2.1 Vurdering af efterisolerede ydervægskonstruktioner 100
6.2.2 Betonsøjlen – den kritiske kuldebro 100
6.3 Simulering af defekt dampspærre 101
6.3.1 Valg af metode for simuleringerne 101
6.3.2 Vurdering af resultaterne 101
6.4 Anbefalet efterisoleringsløsning 102
6.4.1 Opsummering af vurderinger på løsninger 102
6.4.2 Samlet resultat 103
6.5 Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier 105
6.5.1 Viden om varme og fugt er ikke ny 105
6.5.2 Udviklingen i prisen på isoleringsmateriale 106
6.6 Kan man isolere op til nutidige krav? 107
6.6.1 Rentabilitetskravet kan være en stopklods 107
6.6.2 Økonomiske betragtninger 107
6.7 Efterkrigstidens byggerier – en generel betragtning 108
6.7.1 En eksperimenterende tid, hvor ikke alle løsninger var brugbare 109
6.7.2 Grenhusene – en enlig svale? 109
7. Konklusion 110
Kildehenvisning 113

1. Indledning

Efter anden verdenskrig var boligmanglen stor. Der var brug for at effektivisere byggeriet, og der blev udviklet nye konstruktionsløsninger og mere effektive byggemetoder, mens der i modsætning til i dag ikke var fokus på bygningers energiforbrug.

1,5 mio. byggerier på tre årtier[1] (1950-1970’erne) er en kendsgerning. Alene perioden fra 1940’erne – 1950’erne dækker knap 7% af alle nuværende boliger i Danmark[2]. De ældre bygninger har typisk dårlige energimærker på ”E” til ”G”, der svarer til et energiforbrug mellem 150-300 kWh/m² årligt[3]. Det er 5-10 gange så meget, som kravene til nybyggeri er i dag.

Målsætningen fra politisk side er at reducere det danske energiforbrug frem mod 2020. 40% af energiforbruget stammer fra opførelse og drift af bygninger, og da vi kun fornyer bygningsmassen med ca. 1% om året[4], må der fokuseres på det eksisterende byggeri, hvis målsætningen skal nås.

Problemformulering
Bygninger i Danmark opføres med en levetid på mindst 50 år, og normalt 70-100 år. For at fastholde deres værdi må vi løbende kunne opdatere bygningerne til nutidens krav og forventninger til varmeisolering/energiforbrug og komfort, eller i alt fald hen imod disse krav, hvis en total løsning ikke er teknisk eller økonomisk mulig.

Med denne specialerapport er det hensigten at belyse isolering af ydervægge både for nybyggeri i 1950’erne og renoveringsmuligheder i dag. Indledningsvist ses på, hvordan isoleringsmaterialer og krav har udviklet sig. Det overordnede spørgsmål er, om det er fugtteknisk muligt og rentabelt at efterisolere ydervægge fra efterkrigstidens betonelementbyggerier til et niveau, der svarer til den isoleringsevne man i dag kræver (BR15-krav ved ombygning/renovering).

Baggrund og teori undersøges i en case
”Betonelementbyggerier” leder oftest tankerne mod store boligkomplekser med en masse ens lejligheder. Denne specialerapport omhandler efterkrigstidens betonelementbyggerier, men casen her er et tæt-lavt byggeri, som altså adskiller sig fra den typiske tanke. Arkitektens tanke var at overføre konstruktionsprincipper og -løsninger fra det præfabrikerede etagebyggeri og ”lægge det ned”. Dermed skulle der skabes familievenlige boliger med egen have med etagebyggeriets prismæssige fordele.

Da boligtyper og beboersammensætning i højere grad vil ligne etagebyggeriet frem for fritliggende enfamiliehuse, vil baggrund og løsninger i specialerapporten relatere sig til dertil. Udgangspunktet tages i en tæt-lav bebyggelse, men regler og principperne for efterisolering vil kunne overføres til etageboligbyggeri fra samme periode.

På nogle områder er den valgte case dog lidt utraditionel. Derfor er der i forbindelse med undersøgelse af indvendig efterisolering tillige medtaget en mere traditionel konstruktionsopbygning fra 1960’ernes betonelementbyggerier.

[1] Sverrild, P., s. 3
[2] Bech- Danielsen, C., s. 27
[3] Holt, J. et al., s. 3
[4] Bech-Danielsen, C., s. 73

Boligafdelingen – Grenhusene – er interessant, da mange af bygningsdelene står, som da de blev opført i slutningen af 1950’erne. Bebyggelsen har et meget stort varmeforbrug, og boligorganisationen har jævnligt henvendelser fra beboeren om problemer med fugt og skimmel, der er en følgeskade af de dårligt isolerede konstruktioner – særligt ydervæggene er problematiske i den henseende.

Bebyggelsen i casen anses af flere for bevaringsværdig som et godt eksempel på industrialiseret byggeri, og der foreligger et fredningsforslag fra 2013[5]. Af den grund er det muligt, at en udvendig efterisolering ikke er en løsning. Derfor er der undersøgt andre muligheder i denne specialerapport, herunder indvendig efterisolering.

Afgrænsning
Gennem hele specialerapporten er der valgt at rette fokus på ydervægskonstruktionerne. Dette er valgt ud fra casen, da de største bygningsfysiske problemer umiddelbart ses her, og ud fra antagelsen om, at det er ved ydervæggene, at det største besparelsespotentiale ligger.

For de enkelte bygningsdele er der ikke foretaget tilstandsvurderinger, undersøgelser for miljøkritiske stoffer, fugtmålinger eller undersøgt for opstigende grundfugt. Undersøgelserne af den eksisterende bebyggelse er udelukkende sket ud fra et varmeteknisk hensyn.

Når det kommer til efterisoleringsløsninger, så findes der rigtig mange produkter og løsninger. I forbindelse med energioptimering af det eksisterende byggeri er der i dette speciale primært arbejdet med traditionelle, velkendte løsninger.

Metoder og resultater
I specialerapportens første del er der set på, hvad der var af regler og viden for efterkrigstidens byggeri. Anden del omhandler en undersøgelse ud fra en case. Her er der foretaget undersøgelser på stedet, og efterfølgende er udvalgte konstruktioner vurderet varme- og fugtteknisk med simuleringsprogrammerne WUFI, HEAT2 og efter Glasers metode.

Af hensyn til beboerne er resultaterne anonymiseret. De 5 undersøgte boliger er benævnt ”Bolig 1” til ”Bolig 5” i stedet for deres respektive husnumre. Bolig 1 til bolig 4 indgår i loggermålinger, og bolig 1 samt bolig 5 indgår i øvrige undersøgelser.

Hovedkonklusionerne viser, at den bedste løsning fortsat ligger i udvendig efterisolering. Fugtteknisk set kan der isoleres op til nutidens krav, men rentabiliteten ryger, da de ekstra cm isolering kræver ombygning af tilstødende bygningsdele. En indvendig efterisolering er mulig, men løsningerne ligger på grænsen for, hvad der kan forsvares. Der skal derfor tages nogle forholdsregler, hvis løsningen skal udføres. Vælges løsningen kan, og skal, der isoleres op til nutidige krav, da det er rentabelt.

Det viste sig, at Bygningsreglementets rentabilitetskrav blev en stopklods for den mest oplagte løsning, hvor der isoleres udvendig og afsluttes med puds. Rentabilitetsformlens manglende hensyn til reelle levetider og vedligeholdelsesniveauer gav ikke plads for den mest robuste løsning.

[5] Landsforeningen for bygnings- og landskabskultur

Anvendelse og læsevejledning
Specialerapporten er tænkt som et værktøj i forbindelse med vurdering af energirenovering i betonelementbyggerier fra efterkrigstiden. Den er tiltænkt projekterende og rådgivere i byggebranchen samt inspektører i boligafdelinger. Rapporten kan tillige anvendes som inspiration for beslutningstagere som ejendomsadministratorer og bestyrelser i ejerforeninger, boligafdelinger etc. En vis byggeteknisk indsigt må dog forudsættes.

Specialerapporten kan læses i sin helhed, men kan i lige så høj grad anvendes som opslagsværk i de afsnit, der måtte være relevante for en specifik sag. Dog bør teoriafsnittet ikke negligeres, da forkert udført efterisolering kan føre til indeklimaproblemer og dyre bygningsskader.

2. Baggrund

2.1 Varmeisoleringens historie

Varmeisolering har til formål at mindske energitabet gennem bygningskonstruktioner og skabe et godt indeklima. Præcist hvornår man begyndte at tænke i isolering af huse er vanskeligt at fastslå. Ser man på de tidlige tiltag for at holde varmen, har der snarere været fokus på varmekilder – opholdsrum tæt på ildsteder, og dyrehold tæt på boligafdelingen i gammel tid.

2.1.1 De første isoleringsmaterialer

Brug af strå- og tangtage på de gamle gårde, ofte i store tykkelser, har givet en vis varmeisolerende effekt. I praksis har den manglende tætning af loftkonstruktioner medført, at varmen ikke er blevet i boligerne. Hvor der har været opbevaret halm på lofterne, har dette virket som noget af den første loftisolering. Vinduerne, som med deres 1-lags ruder har været både kolde og fugtige, var meget små. Men alle disse løsninger, har næppe været bevidste handlinger. Hvad vinduerne angår, har prisen på glas nok været mere afgørende for størrelsen end varmetabet.

De første tegn på bevidste isoleringstiltag var vindfang på boligerne, hævede konstruktioner ved fødderne omkring siddepladser og brug af sivsko. Lukkede alkover sikrede varmen om natten[6], hvor ildstedet ikke gav samme strålevarme. På skrift nævnes nogle tidlige forsøg, hvor varmetabet gennem konstruktioner er forsøgt undersøgt i 1820 og 1875, og på officersskolens ingeniørafdeling nævnes isolering i 1878[7]. Det er tidlige former for indvendig isolering, hvor brædder eller lærred tænkes fastgjort som indvendig beklædning på de kolde, massive ydermure.

Krisetider har ofte ført til øget udvikling. Første verdenskrig (1914-1918) førte bl.a. til mangel på brændsel. Det interessante er dog, at varmeisolering ikke nævnes som en mulighed blandt forslagene til brændselsbesparelser i et indlæg om Danmarks brændselsøkonom[8].

Efter første verdenskrig ses de første forskningsmæssige tiltag på varmeisolerings-området. I Ingeniøren omtales i 1918 de første erfaringer med korkplader, siv og moserør som isoleringsmateriale mod kulde og fugtighed[9]. Argumenterne er økonomiske fordele samt et sundere og behageligere hus – de argumenter bruges fortsat i dag. Også i Månedsskrift for Sundhedspleje omtales i 1919 problematikkerne omkring opvarmede lokalers tab af varme gennem utætheder og direkte gennem bygningens konstruktioner. Her ses også de første udregninger på varmetab gennem bygningskonstruktioner, og der konkluderes på fordelene ved flere lag vinduesglas, som burde påbydes ved lov. Om ydervægge nævnes, at tykkere mure er problematiske, da de fylder meget. Der gøres derfor tanker omkring muligheden for at erstatte den del af murens tykkelse, som ikke er nødvendig i den bærende konstruktion, med et mindre varmeledende materiale.

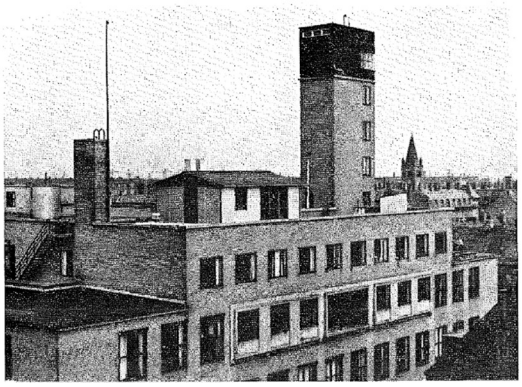
Den første danske forskningsenhed på varmeisoleringsområdet etableres den 1. april 1926 på Teknologisk Institut, og i 1930'erne berettes om materialers isoleringsevne

[6] Tøndering, T., s. 2
[7] Tøndering, T., s. 2 – Ingenieurcapitain E. J. Sommerfeldt, forelæsninger over husbygningskunsten
[8] Tøndering, T., s. 3 – Prof. P. E. Raaschou i et indlæg i Ingeniøren nr. 104 fra 29. december 1917
[9] Tøndering, T., s. 6 – Ingeniøren nr. 39, 15. maj 1918 af ingeniør cand. polyt. C. J. Tøndering

angivet i k-værdi, der senere skal blive en fast anvendt målebetegnelse for varmetab gennem bygningsdele. Isoleringsmaterialerne på dette tidspunkt er særligt naturligt forekommende plantematerialer som f.eks. tang, men også kork og asbestfibre omtales for at have gode varmeisolerende egenskaber. 26. september 1938 blev der afholdt konstituerende møde i Boligopvarmningsudvalget, der skulle se nærmere på implementering af de nyeste resultater i byggeriet.

Oprettelse af Statens Byggeforskningsinstitut i 1947, og den senere oprettelse af Laboratoriet for Varmeisolering på Danmarks Tekniske Højskole, øgede forskningen og udviklingen på varmeisoleringsområdet markant. Der kom nu tal på, hvad der var af særligt økonomiske fordele ved at isolere særligt boligbyggeriet.

Isoleringsmateriale	Mest økonomiske tykkelse i cm
Asfaltkorkplader	3—4
Træuldbeton	10
Tangmåtter i trævæg	5
Mineraluldsmåtter	10
Granuleret mineraluld	10
Klinkerbetonmursten i bagmure	11
Betonklinker i hulrum	13
Molersten i bagmure	11—15
Gasbeton på betonvægge	17,5



Figur 1 - I årsrapport fra det nyoprettede SBi er der i 1948-1949 givet følgende forslag til isoleringsmaterialer og økonomisk optimale isoleringstykkelser (t.v.) og i 1956 opføres et varmeteknisk forsøgshus på taget af Danmarks Tekniske Højskole (t.h.)[10]

I det eksperimenterende byggeri der prægede 1950'erne og op i 1960'erne, var man begyndt at anvende materialer med en anden massefylde end murværk som isolerende lag; gasbeton og letklinkerbeton var datidens svar på varmeisolering, og visse steder var man begyndt at anvende mineraluldslignende materialer syet ind i papirmateriale som færdige måtter.

Oliekriserne i 1970'erne skabte prisstigninger, og det satte gang i efterspørgslen på varmeisoleringsmateriale. Men nedskæringerne i olien til industrien kom paradoksalt nok også til at ramme producenterne af isoleringsmateriale. I Aktuelt den 10. januar 1974 omtales, at *"Superfos Glasuld i Kastrup må allerede fortælle sine kunder, der vil spare olie, at isoleringsmateriale er en mangelvare – Grunden: Superfos Glasuld er ramt af olienedskæring"*[11].

2.1.2 Mineraluld blev det fortrukne isoleringsmateriale

Når vi i dag taler isoleringsmateriale, vil tanken typisk falde på mineraluld – glasuld eller stenuld, som har været kendt og produceret længe, men først gjorde deres store indtog i byggeriet fra 1970'erne. Mineraluldsprodukterne blev det foretrukne isoleringsmateriale, bl.a. grundet stor brandmodstandsevne og fordi det kunne præfabrikeres i elementer, der var lette at håndtere.

Dansk produktion af mineraluld startede da Dansk Glasuldsfabrik grundlagdes i 1935 i Kastrup uden for København. Fremstillingsmetoden var opfundet af tyskeren Hager. Smeltet returglas løb i tynde stråler ned på en slyngskive, hvor glasmassen slyngedes ud

[10] Tøndering, T.
[11] www.arbejdermuseet.dk, Arkiv ABA 33.1

i tynde tråde. Principperne beskrives som produktion af candyfloss i Tivoli[12]. I tilknytning til fabrikken havde man systue, hvor trådene manuelt blev indsyet i måtter af meget varierende tykkelse, der kunne svinge fra 0 til 30 mm[13]. Til at starte med var produktionen begrænset, da efterspørgslen på isoleringsmaterialet ikke var stor. I midten af 1950'erne havde man udviklet en ny produktionsmetode baseret på en såkaldt TEL-proces. Det gav et mere robust produkt, der ikke krævede indsyning, og det kunne komprimeres i forbindelse med transport. Produktionsformen benyttes fortsat, og 60 år efter åbningen af glasuldfabrikken var produktionen 100-doblet (1995).

Glasuld fik konkurrence af stenuld. Indførelsen af stenuld til produktion i Danmark kom fra USA, hvor murermester H. J. Henriksen og teglværksejer V. Kähler i 1935 på en studierejse indkøbte rettighederne til produktion på dansk jord for $ 5.000,-[14]. Produktionen startede i 1937 i Hedehusene, hvor hovedkontoret fortsat ligger for det som firmaet kendes under i dag – Rockwool.

Fremstillingsmetoden siges at være udviklet ud fra en opdagelse efter et vulkanudbrud på Hawaii tilbage i 1920'erne, hvor en videnskabsmand fandt nogle sære uldtotter i naturen. Det viste sig, at under et vulkanudbrud kan sten fra vulkanens indre blive udsat for så voldsom varme, at de smelter. Det smeltede materiale slynges op i luften, og inden det igen rammer jorden har luftens afkøling omdannet stenmaterialet til uldlignende materiale.

Som det var tilfældet med glasulden, så begyndte den danske stenuldsproduktion også med materialet indsyet til en bygningsmåtte med yderside i crepepapir. Sidst i 1940'erne og starten af 1950'erne begyndte Rockwool at tilføre bindemiddel til produktionen for dermed at kunne producere isolering i "Batts", som i øvrigt er en produktspecifik betegnelse for Rockwools produkt. Bygningsmåtten gik dog ikke ud af produktion på dette tidspunkt, så i en overgangsperiode i 1950'erne fandtes begge produkter[15]. I dagens fremstillingsindustri består stenuld bl.a. af sten, ler, kalksten og cement, der smeltes ved 1.400-1.500 °C. Den flydende masse spindes til fibre. Efter tilsætning af bindemiddel og vandafvisende, mineralsk olie genopvarmes produktet. Ved opvarmningen bliver bindemidlet til bakelit, der gør stenulden formfast.

Der findes en række andre meget brugte isoleringsmaterialer i dansk byggeri. Kort kan nævnes celleplastisolering, der består af ekspanderet polystyren (EPS og XPS). Af brandhensyn er der i Danmark særlige krav for anvendelse af disse produkter[16]. Til specielle isoleringsopgaver, som f.eks. i tagterrasse- og parkeringsdæk anvendes typisk celleglasisolering, der er produceret af glas og kul. Materialet har en meget højere trykstyrke end såvel mineralulds- som polystyrenprodukterne. Derudover findes en række "alternative" isoleringsprodukter med mindre markedsandele. De er karakteriseret ved at være fremstillet af andre materialer end de "traditionelle" isoleringsprodukter. I den undersøgte case er der anvendt mineraluldsisolering.

[12] www.isover.dk
[13] www.isover.dk, "Historien om glasuld"
[14] www.business.dk/diverse/rockwool-historien
[15] Rockwool A/S, Teknisk Service
[16] Energistyrelsen, (beklædningsklasser fremgår af 3.2)

Figur 2[17] – Eksempler på isoleringsmaterialer. T.v. de "traditionelle" som 1)glasuld, 2)stenuld, 3)letklinker og 4)EPS. T.h. de "alternative" som 5)hør, 6)reflektiv isoleringsfolie, 7)celleglas, 8)papirisolering, 9)perlit og 10)kalciumsilikatplade.

2.2 Byggeriets udvikling mod industrialisering og montagebyggeri

I dette kapitel fokuseres på ydervægskonstruktioner i etagebyggeriet, der relaterer sig til arkitektens tanker for den valgte case, der omtales fra side 37.

2.2.1 Byggeriet før anden verdenskrig – til 1950'erne

Før anden verdenskrig var dansk byggeri præget af en stærk håndværkstradition med anvendelse af fuldmurede ydervægge i stor stil. I København var grundmurede vægge begyndt at vinde frem i slutningen af 1600-tallet, og efter den store brand i 1728 blev grundmurede vægge et krav, mens etagebyggeri opbygget i ren bindingsværk blev stoppet efter branden i 1795.

I perioden 1930 til 1960 opføres boligbyggeriet fortsat primært med murede facader, det der betegnes som nyere muret byggeri. De store ændringer i forhold til perioden før 1930 var, at teglstensvægge ændres til hule mure. I 1930'erne var man begyndt at anvende beton i byggeriet, men selv funktionalistiske byggerier fra perioden, der umiddelbart fremstår som betonydervægge, kan lige så vel vise sig at være pudsede, murede vægge.

Under anden verdenskrig og i frem til slutningen af 1940'erne var byggematerialer en mangelvare, og mange byggerier fra den periode fremstår ikke i samme kvalitet som i årene før. Fra begyndelsen af 1950'erne begyndte en ny epoke i dansk byggeri, hvor der for alvor skete ændringer i materialetyper og konstruktionsløsninger.

Figur 3 – Eksempler på boligbyggeri i københavnsområdet fra før 1850, ældre muret byggeri fra omkring 1900, nyere muret byggeri fra omkring 1940'erne og betonsandwich byggeri fra 1960'erne[18]

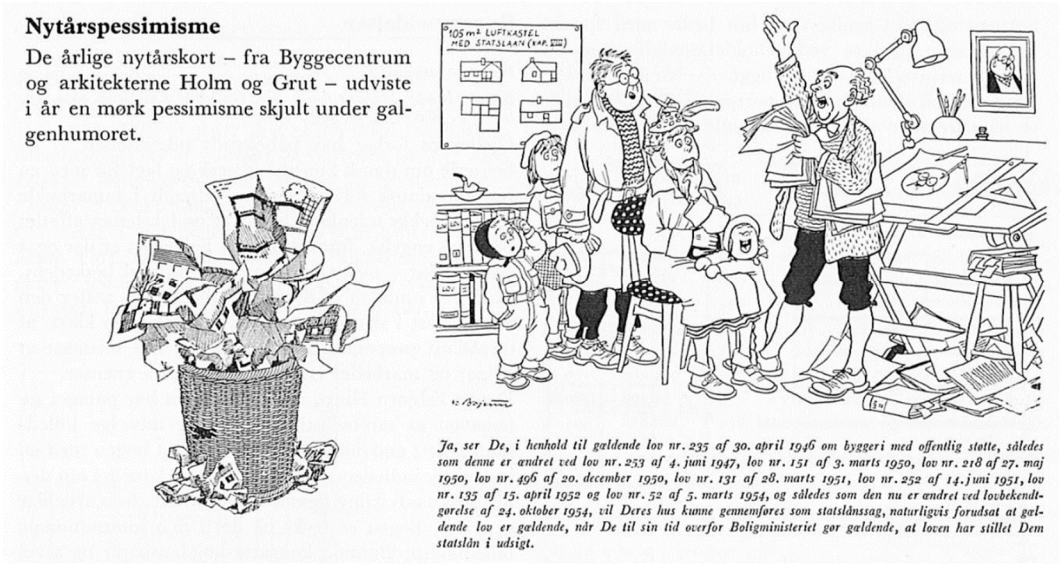
[17] Møller, E. B., s. 33/34
[18] Munch-Andersen, J.

2.2.2 Byggeriets udvikling efter anden verdenskrig – fra 1950'erne

Fra slutningen af 1950'erne og i 1960'erne var byggeriet midt i en radikal udvikling – en industrialiseringsproces, hvor større brug af præfabrikerede elementer skulle give plads til flere ufaglærte bygningsarbejdere, og dermed øge produktiviteten og sænke omkostningerne i byggeriet. Det ændrede konstruktionsprincipperne i etageboligbyggeriet. De bærende konstruktioner udførtes nu primært i beton, og typisk af præfabrikerede elementer. Det bærende system ændredes fra facaderne til indvendige tværgående betonelementer, for der skulle være mulighed for at åbne facaderne med lette elementer og glas, så boligerne blev lysere. Tagene blev først opbygget med lav hældning, også ofte i betonelementer med overflade af tagpap. Den nye byggeskik blev kaldt "utraditionelt byggeri" blandt datidens arkitekter.

2.2.3 Hvad prægede efterkrigstidens byggeskik?

Ved anden verdenskrigs afslutning manglede der 125.000 lejligheder. Regeringen havde allerede i 1940'erne oprettet nye, fordelagtige statslån, der skulle sætte gang i byggeriet, men mangel på materialer gjorde, at der under krigen kun byggedes halvt så mange enheder som før[19]. Reglerne for statslån til byggerier var opdelt i lån til enfamiliehuse ("Statslånshuse") og til etagebyggerier, der i praksis var alle byggerier med mere end 2 lejligheder. Reglerne for statsstøtte var under konstant revision, så mange projekter måtte tilpasses flere gange i løbet af projekteringsfasen, hvilket fremgå af satiretegningen Figur 4.



Figur 4 - De mange ændringer i lovgivningen om statslån gav inspiration til denne satiretegning[20]

Der blev i perioden 1946-1958 ydet billige statslån til 90% af alt alment boligbyggeri. De billige statslån sikrede, at byggerierne kunne opføres med op til 97% af udgifterne dækket af lån fra staten[21].

Efterkrigsperioden var fortsat præget af rationering på byggematerialer. Der kunne bygges ca. 20.000 lejligheder om året, men efterspørgslen var større. Man kunne kun komme i betragtning til en lejlighed, hvis man var gift og havde et barn eller et på vej. I slutningen af 1950'erne kunne enlige unge stadig ikke få en lejlighed, og ofte var der

[19] Vorre, B., s. 153
[20] Arkitektens ugehæfte, 1955
[21] Morgen, M. A., s. 17

heller ikke lejligheder til unge par uden børn. Først omkring midten af 1960'erne var økonomien og boligudbuddet kommet så langt, at boligsituationen blev stabiliseret[22].

Det var en lang proces. Fra arkitektbranchen efterlyste man tidligt, at mere struktur og offentlig styring af byggeriet kunne udnytte de få ressourcer bedre. På dette tidspunkt var en arkitekts opgave også at udtænke og tegne al aptering til boligerne – fra vinduer og døre til køkkener og andet inventar, der derefter var snedkerarbejde på byggepladsen. Ved brug af flere standardkomponenter kunne man spare meget.

I 1947 oprettedes det første boligministerium og samtidig oprettedes Statens Byggeforskningsinstitut som en forsknings- og formidlingsinstitution for nye byggemetoder, der mest effektivt kunne løse boligmangelen. Under Boligministeriet oprettedes i årene efter en række udvalg og kommissioner, bestående af arkitekter og ingeniører, der skulle arbejde med alt fra rationalisering til udvikling af nye byggeprincipper. Ud over effektivisering af arbejdsprocesser måtte man også tænke i arbejdsressourcer, da mængden af den faglærte arbejdskraft ikke var tilstrækkelig. Man måtte effektivisere arbejdsgangene og udtænke nye byggemetoder, hvor dele af byggeprocesserne kunne udføres af ufaglært arbejdskraft – det gav øget kapacitet og lavere udgifter til arbejdsløn. Vejen til nytænkning blev bl.a. banet af Boligministeriets cirkulære om "Statslån til utraditionelt byggeri" af 18. august 1953[23].

I 1956 var begrænsningen på materialer ophævet, så nu kunne der for alvor sættes gang i byggeriet. Nye materialer havde gjort deres indtog op igennem 1950'erne, og nye byggemetoder blev afprøvet. I 1958 blev der bremset op for de fordelagtige statslån til det almene byggeri, og i 1959 var det endegyldigt slut[24]. Det medførte en liberalisering af markedet, hvor det almene byggeris markedsandel faldt til fordel for de ikke-støttede private byggerier.

Fuldførte lejligheder i byer og bymæssig bebyggelse:			
	Off. støttet	Ikke off. støttet	I alt
1946	5.169	3.100	8.269
1948	11.998	4.887	16.885
1950	14.966	2.536	17.502
1952	14.661	1.549	16.210
1954	18.082	1.419	19.501
1956	14.840	1.553	16.393

Figur 5[25] – 1950'erne blev det almennyttige byggeris årti. De gunstige statslånsordninger satte produktiviteten op i højeste gear.

De nye byggesystemer tillod, at man byggede i højden. Danmarks første højhuse var blevet opført på Bellahøj i starten af 1950'erne *(ark. Eske Kristensen)*. Det var dog langt fra alle i branchen, der var fascineret af de nye boligformer. Nogle arkitekter kaldte det *"det rene vandvid"*. *"De Mennesker der tænker paa at anbringe en Moder og hendes Børn i tiende Etage, maa skamme sig. Der er Plads nok til at bygge Haverbyer paa"*, var kommentaren fra arkitekt Carl Brummer i et interview 12. juli 1944 omkring byggeriet på Bellahøj[26].

[22] Vorre, B., s. 156
[23] Kristensen, S. E., 1955
[24] Morgen, M. A., s. 19
[25] Morgen, M. A., s. 20
[26] Koch, S., s. 7

2.2.4 Arkitekten Svenn Eske Kristensen og hans mission

Arkitekten Svenn Ekse Kristensen (1905-2000), eller blot Eske Kristensen, var tidligt med i udviklingsarbejdet med modul- og montageprincipper. Udover egen tegnestue underviste han på Kunstakademiets Arkitektskole, og han var tillige meget aktiv i en række udvalgsarbejder, der skulle få stor betydning for eftertidens danske byggeprincipper. For at få ført sine tanke ud i livet var Eske Kristensen med til at starte Byggeriets Maskin Stationer (BMS) i 1953[27], og som formand for "Den Danske Modulkomite" og "Det Nordiske Moduludvalg" arbejde Eske Kristensen bl.a. tæt sammen med ingeniør P. E. Malmstrøm om udviklingen af det modulprojekterede byggeri, der var en forudsætning for brug af flere fabriksfremstillede byggekomponenter. Allerede dengang blev problematikker som kuldebroer og fugttransport i ydervægge drøftet[28].

Allerede i sin studietid på Kunstakademiet var Eske Kristensen optaget af tanken om, at kombinere større boligbyggeri med grønne miljøer. Et af forbillederne var Le Corbusiers boligbebyggelser med punkthuse, der frilægger de omkringliggende grønne arealer[29]. Det blev en målsætning for Eske Kristensen at sikre god trivsel blandt familierne i boligbebyggelserne. Han kæmpede imod for små lejlighedsstørrelser og ønskede overskuelige boligenheder omgivet af grønne arealer. For at optimere boligbyggerierne interviewede Eske Kristensen selv beboerne, der var flyttet ind i hans boligbyggerier om, hvad de synes om at bo og leve der.

Eske Kristensen skabte mange almennyttige boligbyggerier i forstæderne, men desværre nåede han ikke i mål med sin mission. I sin biografi fra 1977 skriver Eske Kristensen: *"Hvad boligbyggeriet angår, drager jeg det største suk. Teknisk er der fremskridt at spore, men boligernes størrelse, rumantal, form og miljø samt kollektive indretninger synes beklageligvis at stå i stampe. Og drømmen om afskaffelsen af "ghetto"-mentaliteten er ikke gået i opfyldelse. Der er stadig meget at gøre i byggeriets tjeneste"*[30].

2.2.5 Danmarks første industrialiserede byggeri

Danmarks første egentlige industrialiserede byggeri, bebyggelsen "Engstrands Allé" i forstadskommunen Hvidovre, blev skabt af arkitekten Eske Kristensen i 1952, som, sammen med sin ven og samarbejdspartner civilingeniør P. E. Malmstrøm og entreprenørdirektør R. A. Larsen (Larsen & Nielsen), var en af pionererne inden for udviklingen af efterkrigstidens etageboligbyggeri. Der blev etableret en fabrik på byggegrunden til fremstilling af betonelementer, og kranspor blev udlagt til montagearbejdet. Brugen af ufaglærte arbejdere førte til en konflikt med Murersvendenes fagforening. En voldgift afgjorde, at arbejdet kunne udføres af såvel murere som jord og betonarbejdere. Det åbnede vejen for det "utraditionelle byggeri"[31].

Byggeprocessen blev dokumenteret på film[32], og byggeriet skabte historie ved kun at kræve 15 % af de murertimer, som et traditionelt byggeri krævede[33]. I filmen ses, hvordan byggeriet var tænkt i moduler. Fundamenter og terrændæk støbes direkte i udgravninger i jord, dæk- og vægelementer udføres som præfabrikerede elementer, der støbes under åben himmel i en midlertidig produktion på byggepladsen. Vægelementerne varmeisoleres med letklinkerbeton.

---

[27] Kristensen, S. E., 1994, s. 54
[28] Dansk Ingeniørforening, publikation nr. 0
[29] www.kulturarv.dk
[30] Kristensen, S. E., 1977, s. 7
[31] Kristensen, S. E., 1994, s. 38
[32] "Filmen om Engstrands Allé"
[33] www.forstadsmuseet.dk

Få år efter, i 1954, gik Eske Kristensen i gang med projekteringen af et nyt projekt i Hvidovre, der er valgt som case til dette speciale. Det blev endnu et eksperimenterende byggeri, hvor erfaringerne fra Engstrand Allé skulle optimeres og anvendes i étplans boliger. Byggeprocessen kunne optimeres ved anvendelse af flere ens elementer, der kunne produceres på en fabrik under tag. Tidens nyeste idéer inden for byggematerialer og konstruktionsløsninger skulle afprøves. Den slags byggerier gav staten tilskud til i 1950'erne. Man ønskede at arkitekter og ingeniører skulle nytænke måden at bygge på.

2.2.6 Tiden efter – Starten på en ny epoke i dansk byggeri

For at sætte gang i byggeriet, der fortsat haltede bagefter, blev Landsbyggeloven og Montagecirkulæret vedtaget i 1960. Lovgivningen var målrettet utraditionelt byggeri: *"Et særligt program for offentlig støtte til et specielt tilrettelagt montagebyggeri"*, som det hedder i Boligministeriets cirkulære om det særlige byggeprogram fra 30. marts 1960[34]. Cirkulæret skulle sikre opførelse af minimum 7.500 boliger indenfor en 4-årig periode, og det blev en realitet.

For at få standardiserede bygningsdele skulle der projekteres på grundlag af den såkaldte modulordning. Modulordningen bygger på projektering indenfor et modulnet opbygget i 3M x 3M (30 x 30 cm) nettet for bærende konstruktioner og 1M x 1M (10 x 10 cm) nettet for de lette komponenter (lette vægge, skabe etc.). Modulprojekteret byggeri var lovkrav helt frem til bygningsreglement 1995, og det er fortsat måden at projektere større byggerier på.

En stor faktor for den øgede byggeri og velstand var økonomien. Efterkrigsårene var præget af økonomiske nedture, men fra slutningen af 1950'erne var der fremgang at spore. Dette satte for alvor gang i byggeriet og beskæftigelsen. I starten af 1960'erne var arbejdsløsheden faldet til 2-3%[35], hvilket svarer til fuld beskæftigelse, og man stod nu med en ny udfordring.

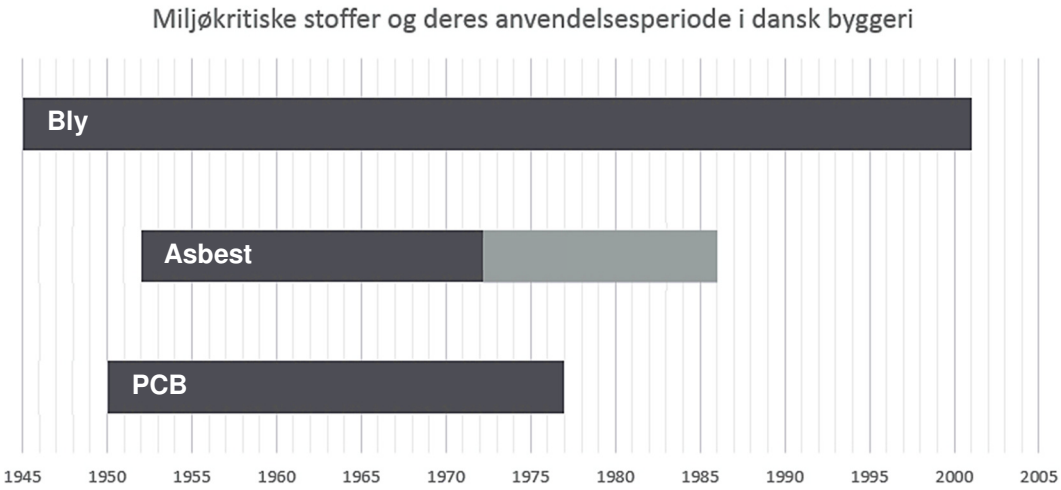
2.2.7 Bygningerne i dag – miljøkritiske stoffer lokaliseres ved renovering

Nogle af efterkrigstidens nye byggematerialer har efterfølgende vist sig at være skadelige for indeklimaet og for miljøet i forbindelse med nedrivning af bygningerne.

Ved renovering af bygninger fra periode skal der foretages undersøgelser og tages hånd om eventuelle miljøkritiske stoffer (BR15 §1.7). Kortlægning af disse miljøkritiske stoffer, er ikke en del af denne specialerapport samt undersøgelserne og målinger heri.

[34] "Cirkulære om et særligt byggeprogram for montagebyggeri"
[35] Vorre, B., s. 188

Figur 6 viser tidsperioderne for lovlig anvendelse af tre af de mest udbredte stoffer.



Figur 6 – Oversigt over tidsperioder for anvendelse af de tre mest udbredte typer af miljøkritiske stoffer i dansk byggeri. Bly blev tillige anvendt før 1945. Asbest blev anvendt med dispensation frem til 1986 (grå markering).

2.3 Udviklingen i Bygningsreglementets varmeisoleringskrav

Dansk byggelovgivning er fastlagt i bygningsreglementet med hjemmel i Byggeloven[36]. Det første landsdækkende bygningsreglement gældende uden for København og Frederiksberg udkom i 1961, og alle reglementer har indeholdt krav til bygningskonstruktioners maksimale varmetab.

2.3.1 De første lovkrav

De første isoleringskrav kan der læses om i "Forslag til Byggelov for Staden København" fra 1909[37]. Fyldestgørende isolering forstås på dette tidspunkt som enten et indskud af 3 cm brædder med høvlet overflade, eller 2,5 cm brædder der overfladebehandles med rør og puds mod beboelsesrummet. For ydervæggenes vedkommende står i "Københavns byggelov af 29. marts 1939", at ydervægge for beboelseslejligheder mindst skal isoleres svarende til 1½ stens mur[38]. Byggeloven var gældende frem til 1977.

2.3.2 Krav og regler ved efterkrigstidens byggerier

Efter anden verdenskrig nedsatte det nyoprettede boligministerium i 1948 et udvalg, der skulle se på mulighederne for et fælles bygningsreglement for hele landet undtagen København og Frederiksberg. Flere kommuner uden for hovedstaden kørte med selvstændig byggelovgivning i tiden før det første landsdækkende reglement. I 1955 fandtes således 67 bygningsvedtægter og 294 bygningsreglementer[39].

I tiden før det første landsdækkende bygningsreglement var der regler for varmeisolering af de boliger, der blev opført med statsstøtte. Statens Bygningsdirektorat under Indenrigsministeriet satte i 1943 regler for Statslånshuse for en-familier: *"Under flade tage må ikke lægges ler som indskud i tagbjælkelaget, men der skal temperaturisoleres med f.eks. isolationsmaater mindst 20 mm tykke på et lag 1" forskalling eller gulvpap mellem*

[36] www.retsinformation.dk, LBK nr. 1185 af 14/10/2010.
[37] Tøndering, T., s. 3
[38] Københavns byggelov, kapitel 5, §45
[39] www.danskbyggeskik.dk

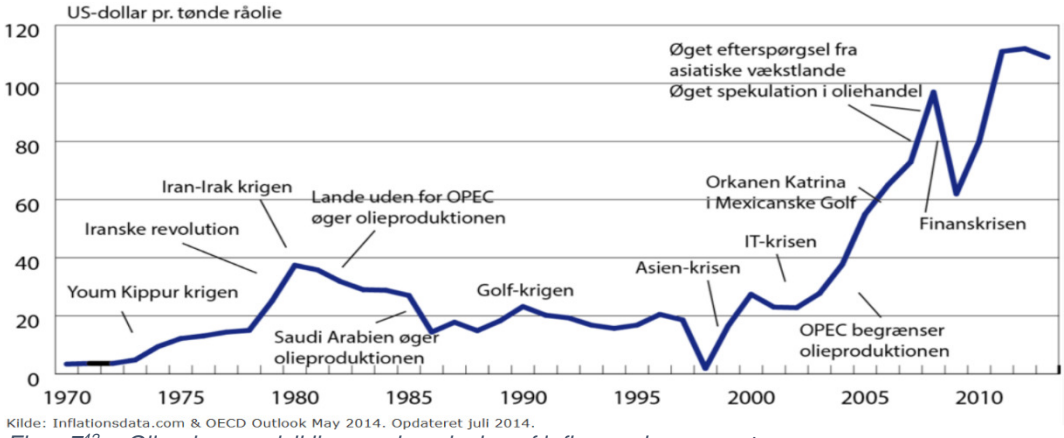
forskalling og et lag 1" pløjede brædder"[40]. For det statsstøttede etagebyggeri (byggerier med mere end én lejlighed) udgiver Ministeriet for Byggeri- og Boligvæsen i 1948 krav om, at varmegennemgangstallet (k-værdi) for ydervægge ikke måtte overstige 1,00 kcal/m² h ℃, og at tagkonstruktioner skulle isoleres med måtter, der i termisk henseende svarer til en 20 mm måtte af mineralfibre.

2.3.3 Krav og regler til varmeisolering 1960 til i dag

Efter indførelsen af reglerne for varmeisolering med Bygningsreglement 1961 blev bygningerne kun grundlæggende isoleret. I 1960'erne og 1970'erne var det almindeligt at fastlægge isoleringstykkelser ud fra, at midten af væggen overholdt kravet[41]. Mange kuldebroer præger disse byggerier.

1960'ernes var forbrugsfest og prestigebyggerier. I film fra perioden ses, at energi mere var et spørgsmål om oliefyrets kapacitet fremfor bygningskonstruktionernes isoleringsevne. Energipriserne var lave, så der var ikke incitament til at stramme lovgivningen omkring varmeisolering.

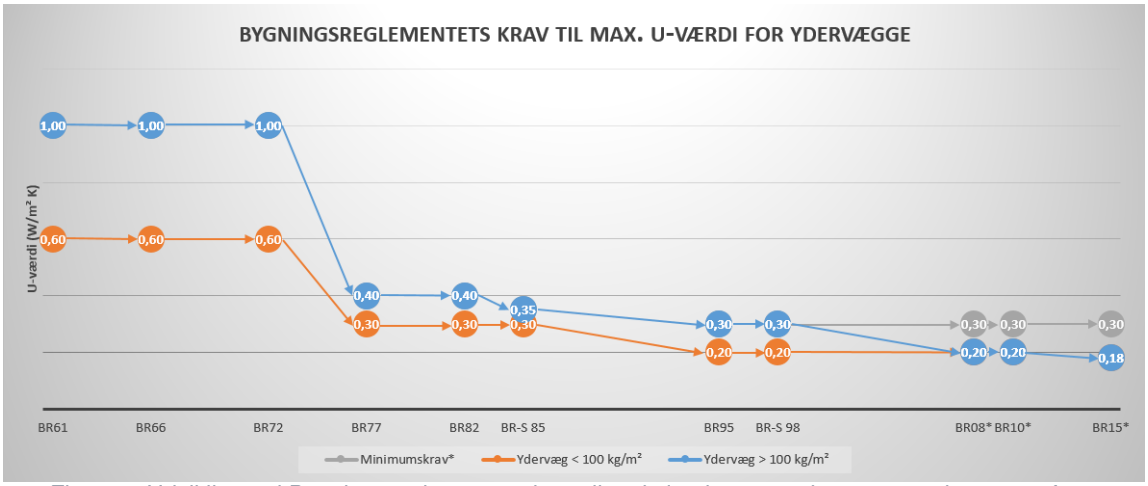
1970'erne kom til at blive en diametral modsætning til årtiet før. Krige i Mellemøsten første til oliekriser og stærkt stigende olielpriser (**Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**). I 1973 bestod Danmarks energiforsyning 90% af olie[42], så det var tid til ændringer. Bygningsreglementets varmeisoleringskrav fik deres hidtil største stramning i perioden fra BR72 til BR77 (Figur 8). De nye krav kom til at gælde fra 1. februar 1979, en overgangsperiode hvor dansk byggeri fik mulighed for at nytænke konstruktionsløsningerne til de nye, skrappe varmeisoleringskrav.



Figur 7[43] *– Olieprisens udvikling med angivelse af influerende parametre.*

I forhold til det store skridt i 1970'erne, så er der i årene efter kun justeret ganske lidt i varmeisoleringskravet. Men der er sket stramninger – ikke mindst i tæthedskrav og måden at regne på bygningers energiforbrug, som i høj grad har været med til at forbedre varmeisoleringen af vores huse. Og det har virket. I Danmark er energiforbruget til opvarmning halveret siden oliekriserne i 1970'erne[44].

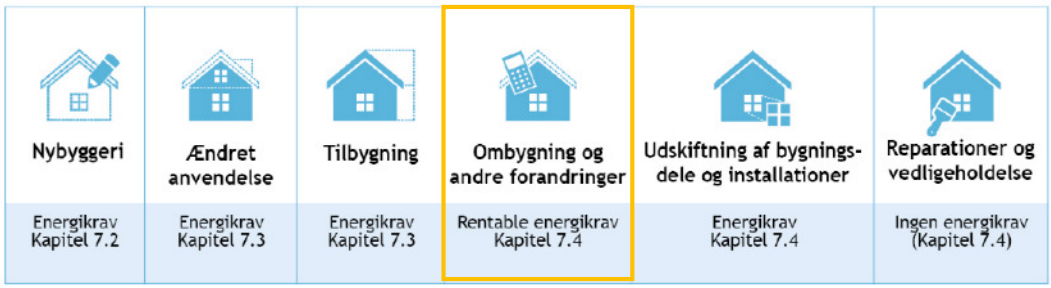
[40] Tøndering, T., s. 20
[41] Munch-Andersen, J., s. 85
[42] www.sa.dk/danmarkshistorien/nyt-i-arkivet/oliekrisen, Rigsarkivet
[43] https://ioa1.systime.dk/?id=c163
[44] Pedersen, C. et al., s. 7



*Figur 8 - Udviklingen i Bygningsreglementets krav til maksimalt varmetab gennem ydervægge fra første landsdækkende reglement til i dag. *Fra og med BR08 er det kravet for ombygninger (renoveringsarbejde), der er medtaget. Krav til nybyggeri er herefter markeret med grå.*

2.3.4 Krav og regler i dag

Gældende reglement er Bygningsreglement 2015 (BR15), der trådte i kraft den 1. januar 2016. BR10 udgår efter overgangsperioden, den 30. juni 2016. Kravene til varmeisolering er opdelt som vist på Figur 9. Der er her fokuseret på regelsættet omkring ombygning (renovering).



Figur 9 - Oversigt over de afsnit som energikravene er fordelt på i Bygningsreglement 2015[45]

Ombygning og renovering – Rentabilitetsberegning eller renoveringsklasser

Ved renovering af bygningskonstruktioner og installationer i den eksisterende bygningsmasse, er det rentable energirenoveringer, der er krav om at gennemføre. Fra BR15 er der tillige mulighed for frivillig anvendelse af renoveringsklasser.

Rentabilitetsberegning

Med rentabilitetsberegningen undersøges, om bygningsdelene skal energirenoveres op til dagens standard. For ydervægge er der fastlagt et maksimalt linjetab, U-værdi, på 0,18 W/m² K *(BR15 §7.4.2, stk. 1).*

Et energibesparende tiltag anses som rentabelt når:

$$\frac{\text{årlig besparelse} \times \text{levetid af tiltag}}{\text{investering}} > 1{,}33$$

For efterisolering af bygningsdele anvendes 40 års levetid, og "investering" skal forstås som ekstraomkostningerne for de energiforbedrende tiltag.

[45] BR15, Videncenter for energibesparelser i bygninger

Hvis et tiltag viser sig ikke at være rentabelt, skal der ses på, om det er rentabelt at gå noget af vejen. F.eks. er hulmursisolering rentabel, men vil ikke opfylde kravet til U-værdi. Hulmursisolering suppleret med en udvendig efterisolering vil få konstruktionen til at overholde kravet, men det er muligvis ikke en rentabel løsning. I dette tilfælde er der alene krav om at foretage hulmursisoleringen.

For alle krav gælder det, at tiltaget skal være fugtteknisk forsvarligt at udføre. Er det ikke det bortfalder kravet uanset rentabilitet.

Renoveringsklasser

Renoveringsklasserne benyttes frivilligt ved ombygninger af eksisterende bygninger som dokumentation for, at krav om energibesparelser er opfyldt.

Der er indført to renoveringsklasser:

- Renoveringsklasse 1 er den mest vidtgående, der primært er tiltænkt bygningsejere, som ønsker at vise deres bygning frem som noget ekstraordinært. Denne klasse indeholder ud over energikrav også krav til indeklimaet.
- Renoveringsklasse 2 er indført for at give mere fleksibilitet. Komponentkravene (krav til U-værdier), der anvendes i forbindelse med rentabilitetsberegningen, kan fraviges, hvis renoveringsklasse 2 opfyldes. Et eksempel på denne fleksibilitet kan være at der energirenoveres på gulvkonstruktioner, men for at spare penge ikke nok til at opfylde linjetabskravet. Dette kan der så kompenseres for, ved f.eks. at etablere et ventilationsanlæg med VGV, varmepumper og lignende installationsmæssige tiltag.

Med fokus på boliger gælder for begge renoveringsklasser, at:

- Bygningens behov for tilført energi til varme, varmt brugsvand, ventilation og køling skal reduceres med mindst 30 kWh/m² ved renoveringen
- Der skal være en andel af vedvarende energi i den samlede energiforsyning til bygningen – dette kan være fjernvarmeforsyning på opvarmningssiden
- Energirammen for den eksisterende bygning:

Renov.klasse	**Energiramme (kWh/m² pr. år):**	**Energimærke:**
1	52,5 + 1650 / opvarmet etageareal	A2010
2	110 + 3200 / opvarmet etageareal	C

Eftervisning af opfyldelse af renoveringsklasserne sker på samme grundlag som energirammeberegningerne ved nybyggerier efter SBi-anvisning 213[46].

De nye renoveringsklasser giver altså mulighed for at inkludere energiforbedring af andre dele af bygningen end klimaskærmen i den samlede beregning af det nedsatte energiforbrug.

[46] Aggerholm, S.

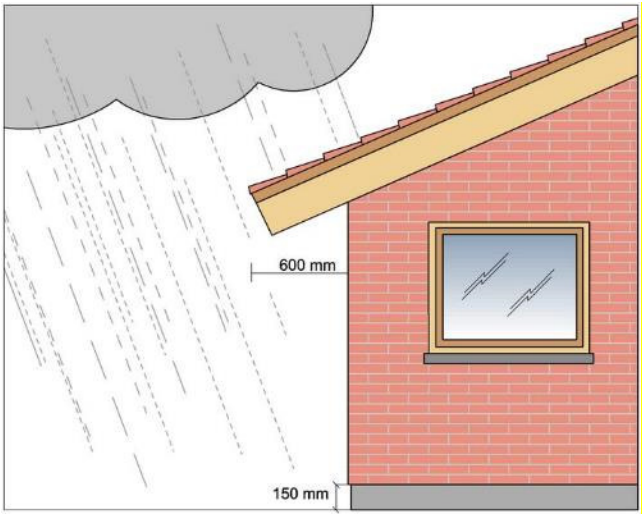
3. Teori og teknisk baggrundsdata

3.1 Klimaskærmens funktion

3.1.1 Klimaskærmens vigtigste egenskaber

En bygnings klimaskærm – ydervægge, tag, terrændæk, vinduer og døre etc. – skal først og fremmest kunne beskytte mod sol, vind og nedbør. I Danmark har klimaskærmen også den funktion, at den skal kunne holde på varmen i de kolde måneder. Klimaskærmen må kunne klare de temperatursvingninger den udsættes for. Der må f.eks. ikke kunne opstå kondens i eller på indersiden af ydervægge[47]. Derfor er det vigtigt, at de materialer der benyttes i konstruktionerne er testet og godkendt i det land, hvor de benyttes.

For at forebygge opfugtning af klimaskærmen kan der foretages konstruktive løsninger, som vist på Figur 10. Ydervæggen bør opbygges som en to-trins løsning, hvor evt., indtrængende fugt har mulighed for at blive ledt væk ved afstand mellem yderste facadelag og den resterende konstruktion.



Figur 10[48] – Eksempel på konstruktiv beskyttelse af ydervæggen mod nedbør. Et udhæng på 600 mm kan beskytte en facade på op til 4 m. Soklen bør være 150 mm høj, den skal være tæt og kunne tåle opsprøjt fra regnvand.

3.2 Grundlæggende varmeteori

I bygningsfysisk sammenhæng er den primære viden om varme, hvordan vi holder indetemperaturen i vores bygninger på et ønsket niveau, i beregningssammenhæng vil det typisk være 20 °C, med så lav varmetilførsel som muligt. Da udetemperaturen i Danmark oftest ligger under indetemperaturen, vil der ske en varmetransport (et transmissionstab) gennem klimaskærmen. For at mindske transmissionstabet isoleres klimaskærmen.

[47] Christensen, G. et al. 1974 s.2
[48] Brandt, E. m. fl., s. 69

3.2.1 Varmetab, λ-værdier og U-værdier

Varmetab fra bygninger regnes ud fra varmetabet gennem hver konstruktionstype i bygningen og mængden af hver type.

I efterkrigstiden regnedes efter Dansk Ingeniørforenings regler[49]. Betegnelsen dengang, og i de første bygningsreglementer, var for transmissionstabet "k-værdi" og enheden var kcal/m² h C°. I dag regnes bygningers varmetab efter reglerne fra Dansk Standard, DS418[50], og betegnelsen er "U-værdi" med enheden W/m² K. Principperne er de samme, og omregning mellem de to enheder er: 1 kcal/m² h C° ~ 1,163 W/m² K.

U-værdien udtrykker, hvor mange Watt der i løbet af 1 time passerer gennem 1 m² af konstruktionen, med en temperaturforskel på 1 °C mellem konstruktionens udvendige og indvendige side. Jo lavere U-værdi jo bedre isoleringsevne.

U-værdien er beregningsmæssigt den reciprokke værdi af konstruktionens samlede isolanser (R-værdier): $1/\Sigma R$. Isolanserne beregnes på baggrund af varmeledningstallene for de materialer, som normalkonstruktionen består af, og materialetykkelsen. Varmeledningstallet kendes under betegnelsen "Lambdaværdi" (λ-værdi), der er materialets evne til at lede varmen. Enheden for λ-værdien er W/m K, og det udtrykker, hvor stor varmemængde i Watt, der på 1 time ledes gennem 1 m² af materialet med 1 m tykkelse og med 1 °C forskel mellem materialets indvendige og udvendige side. Jo lavere λ-værdi jo bedre isolerer materialet.

3.2.2 Inhomogene materialelag

I de tilfælde, hvor normalkonstruktionernes enkelte lag består af sammensatte materialer, inhomogene lag, skal U-værdien korrigeres. Det kan f.eks. være en muret ydervæg med murbindere gennem isoleringslaget eller en træskeletvæg, hvor samme lag består af isoleringsmateriale afbrudt af massivt træ. Korrektionen foretages med procentdel af de enkelte materialer og deres respektive λ-værdier. Som eksempel for træskeletvæggen efter formlen:

$$\lambda_{vægtet} = \frac{\text{træ-\%} \times \lambda_{træ} + (100\% - \text{træ-\%}) \times \lambda_{isolering}}{100\%}$$

$\lambda_{træ}$ kan gennemsnitligt sættes til 0,13 W/mK[51] (afhængig af densitet og fugtindhold).

En typisk træskeletvæg med 45 mm stolper pr. 600 mm har en træprocent på 7,5%. Dertil skal lægges remme i top og bund, der samlet giver konstruktionen en træprocent på omkring 11%[52].

3.2.3 Overgangsisolans

Mellem konstruktionens yderste materialelag og luften på ydersiden sker en varmeudveksling, der vil variere over tid og sted på overfladen. Ved energiberegninger kan benyttes en gennemsnitsværdi for hele overfladen kaldet overgangsisolans (R_s, hvor "s" står for overflade (surface)).

Overgangsisolanserne skal medregnes i den samlede værdi for en normalkonstruktion. I DS418 findes værdier for overgangsisolanser på hhv. indvendige overflader (i – internal) og udvendige overflader (e – eksternal), og variationen i forhold til varmestrømmens

[49] Peschardt-Hansen, H. et al.
[50] DS418, 2011
[51] Træinformation
[52] Træinformation, s. 13

retning. Værdierne er gengivet i Tabel 1.

	Varmestrømmens retning		
	Opad	Vandret	Nedad
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Tabel 1 - Overgangsisolanser fra DS418 med enheden m²K/W.

3.2.4 Kuldebroer

Definitionen på en kuldebro er lokale områder, hvor konstruktionens isoleringsevne er lavere end for konstruktionen generelt, og hvor der, især om vinteren, kan være lavere overfladetemperaturer. Jo højere isoleringsgrad en konstruktion har, jo større relativ betydning har kuldebroerne.

Kuldebroer opstår ofte ved sammenbygning af bygningsdele f.eks. omkring tagfod og fundamenter, men også i forbindelse med inhomogene materialelag som murbindere i murede facadekonstruktioner. Kuldebroer kan også være bærende dele, f.eks. søjler i en facade, der af styrkemæssige grunde må være mere massive end facadekonstruktionen generelt. Typerne af kuldebroer kan opdeles i 4 kategorier:

- Geometriske kuldebroer (hjørner og forskydninger i konstruktionsdele)
- Konstruktive kuldebroer (massive bygningsdele, f.eks. en gennemført væg)
- Systematiske kuldebroer (gentagne kuldebroer såsom murbindere)
- Konvektive kuldebroer (hvor der opstår konvektion i konstruktionerne).

Kuldebroerne skaber linjetab i konstruktionerne og dermed også risiko for, at de indvendige overflader ud for kuldebroerne bliver koldere end overfladen generelt. Det giver større varmetab via kuldebroerne, men de nedsatte overfladetemperaturer giver også risiko for dårligt indeklima i form af trækgener, tilsmudsning af overfladerne i form af støvaftegninger samt lokalt højere relativ fugtighed med risiko for dannelse af skimmel og kondens på stederne.

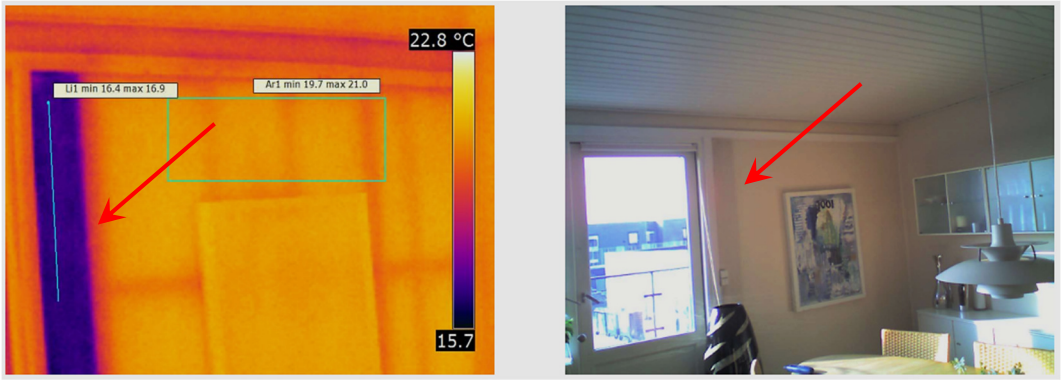
Kuldebroerne kan lokaliseres ved beregninger og simuleringer, f.eks. med programmet HEAT, som det gennemgås senere i denne specialerapport. I eksisterende byggerier kan kuldebroerne også lokaliseres ved bygningstermografering eller i grelle tilfælde med det blotte øje, hvor støvtegninger på overfladerne afslører dem, som det fremgår af Figur 11.

3.2.5 Sortsværtning og støvaftegninger

Særligt i ældre ejendomme med mangelfuld varmeisolering ses undertiden mørke aftegninger af støv eller andre partikler på ydervægge og lofter. Støvaftegningerne findes i to kategorier: Langsom sortsværtning med termisk årsag (kuldebroer) og hurtigt opstået sortsværtning kaldet "heksesod" med en kemisk proces (SVOC'er) som årsag[53]. Sidstnævnte er et område, der endnu ikke er tilstrækkeligt belyst i forskningen.

Partikler fra f.eks. levende lys, madlavning, husstøv og tobaksrøg kan være kilder til støvaftegningerne. De termiske årsager er f.eks. kuldebroer i konstruktionerne, hvor overfladetemperaturer der varierer 2-3 °C fra den øvrige konstruktion, er nok til at danne grundlag for sortsværtning. Et eksempel på dette ses på Figur 11.

[53] Christensen, G. et al, 2012



Figur 11 – Bygningstermografisk undersøgelse af betonetagebyggeri fra 1965. Tydelig kuldebro på termograferingsbilledet (t.v.) ses med det blotte øje som sortsværtning på væggen til højre for terrassedøren (t.h.).

Problematikken var allerede kendt i efterkrigstiden, hvor støvfigurer bl.a. omtales i SBis første anvisning om fugt, "Anvisning 7" fra 1951[54].

Termiske støvaftegninger kan i nogle tilfælde fjernes ved almindelig rengøring, og kan i nogen grad afhjælpes ved pålimning af alufolie bag en beklædningsplade. Alufolien kan bidrage til at udjævne temperaturforskellene[55].

3.3 Grundlæggende fugtteori

3.3.1 Fugt i bygninger

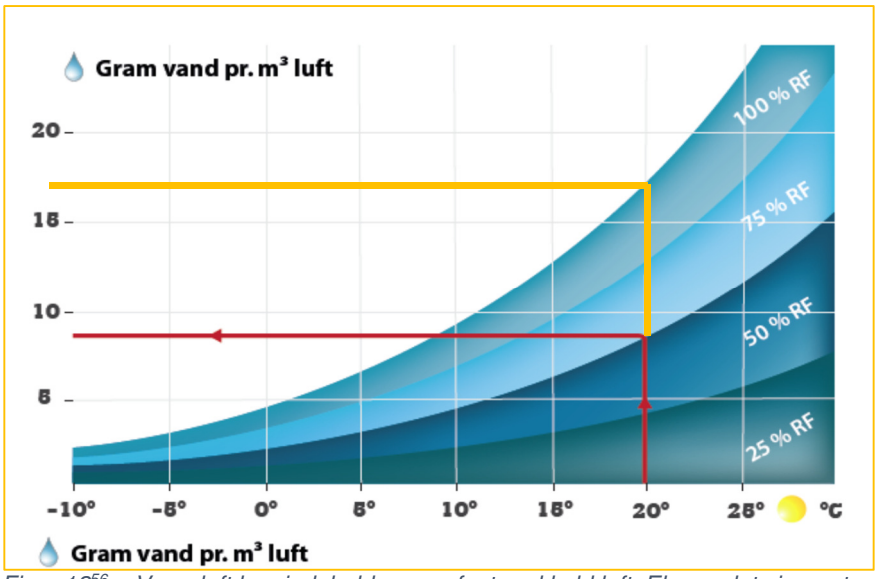
Fugt i bygninger og bygningskonstruktioner er problematiske, idet det kan:

- nedsætte materialernes isoleringsevne
- nedsætte materialernes levetid
- give indeklimaproblemer.

Luftens fugtindhold kan angives i absolut fugtindhold, hvor enheden er g/m³ luft, eller i % relativ fugtighed (RF), hvor fugtindholdet sættes i forhold til det maksimale fugtindhold i 1 m³ luft ved en given temperatur.

Varm luft kan indeholde mere fugt end kold luft. I det daglige kan fænomenet ses f.eks. på vandhaner, hvor der tappes koldt vand, eller på ydersiden af drikkeglas med koldt indhold. Der dannes kondens, da overfladerne køles så langt ned, at vanddampindholdet i luften omkring emnerne kondenserer. På Figur 12 forklares dette.

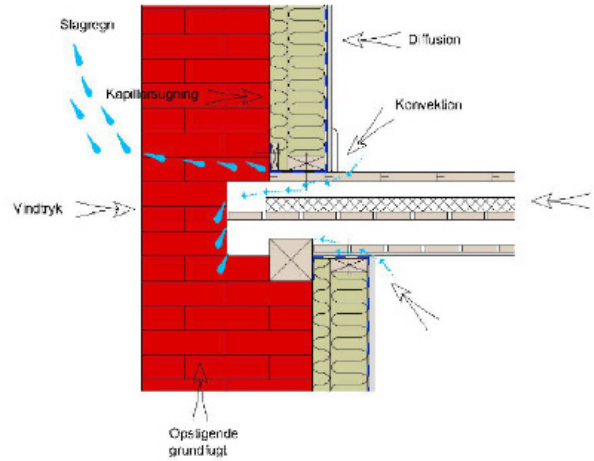
[54] Becher, P. et al. 1951, s. 101
[55] Christensen, G. et al., 2012, s. 2



Figur 12[56] – Varm luft kan indeholde mere fugt end kold luft. Eksemplet viser, at ved 20 °C 50% RF er luftens vandindhold 9 g/m³ luft [rød markering]. Falder temperaturen følges den røde linje vandret ad x-aksen. Ved omkring 13 °C vil den relative fugtighed være steget til 75% RF. Ved omkring 8 °C er mætningsdamptrykket nået (100% RF), og der vil opstå kondens. *Stiger RF til mætningsdamptrykket (100% RF) er vandindholdet 17,3 g/m³ luft [gul markering]. Herefter ses kondens.*

Når et rum i en bygning opvarmes til en højere temperatur end i tilstødende rum eller udendørs, vil der opstå et højere damptryk i dette rum. Særligt i vintermånederne vil vanddampen i luften dermed blive presset mod de koldere områder gennem bygningskonstruktionerne med risiko for kondensation. Denne transportform kaldes diffusion. Luftstrømning, og dermed fugttransport, kan også ske via utætheder i klimaskærmen, hvor transporten drives af vind eller termisk opdrift, hvilket kaldes konvektion. I begge tilfælde er der risiko for kondensation inde i konstruktionen, der kan nedsætte konstruktionens varmeisoleringsevne og resultere i bygningsskader.

Udenfor opvarmningsperioden vil der typisk ske en udtørring af konstruktionen, men hvis kondensationen i vintermånederne har været høj, kan udtørringen være utilstrækkelig, og i så fald vil der over årene ophobes mere og mere fugt i konstruktionen.



Figur 13 – Principtegning af fugtens bevægelser omkring en detalje af ydervægskonstruktion[57]

[56] Christensen, J. H., s. 5
[57] Peuhkuri, R. et al., s. 7

Fugten i luften kan også sætte sig på indvendige overflader med risiko for skimmelvækst (se side 30), hvis overfladerne er koldere end rummets temperatur. Fokus luftens fugtindhold, f.eks. ved korrekt opvarmning og ventilation, er derfor særligt vigtig i bygninger, hvor der er væsentlige kuldebroer i klimaskærmskonstruktionerne.

Særligt udsatte for fugt er konstruktioner med organisk materiale. Allerede i 1950'ere beskrev SBi, at bygningskonstruktioner der blev varmeisoleret skulle beskyttes mod luftens vanddampindhold, enten ved at placere varmeisoleringen på den udvendige side eller ved at sikre et damptæt lag i konstruktionen[58] (mere om dampspærrer side 35).

Et materiales damptæthed kaldes også dampdiffusionsmodstand eller damppermeabilitet, enheden er µg/m×s×Pa. Værdien her skal være så lav som muligt for at opnå stor damptæthed. Dampdiffusionsmodstanden kan også angives som Z-værdi, enheden er Pa×s×m²/kg. Z-værdien er altså den trykforskel der skal være i 1 sekund for at drive 1 kg vanddamp gennem 1 m² af konstruktionsdelen. Z-værdien skal altså være så høj som mulig for at være mere tæt.

3.3.2 Fugtligevægt ved absorption og desorption

Fugtindholdet i porøse materialer vil altid forsøge at tilpasse sig luftfugtigheden i omgivelserne. Et materiale der er tørrere end luften omkring materialet vil suge fugt til sig, kaldet absorption. Modsat vil et materiale der er fugtigere end luften afgive fugt, kaldet desorption. Under et kaldes denne proces sorption, og det kan beskrives som materialets hygroskopiske egenskaber.

Hvor meget fugt et materiale vil kunne optage afhænger i høj grad af materialets porestruktur, -størrelse og -fordeling. Grove porer kan hurtigere optage fugten, men ved en fin porestruktur kan fugten trænge længere ind i materialet og bindes stærkere.

3.3.3 Fugtkilder og fugtbelastningsklasser

Bygninger bliver udsat for fugt både udvendigt og indvendigt. Fugtkilderne kan f.eks. være:

- Udefrakommende fugt som nedbør, oversvømmelse, grundfugt og luftfugtighed i udeluften
- Lækager fra installationer og konstruktive fejl
- Byggefugt og indbygning af våde byggematerialer
- Luftfugtighed fra personer og deres adfærd

• Mennesker (ånding og sved)	3,5 kg/dag
• Tøjtørring (ophængt indendørs)	1,8 kg/dag
• Personlig hygiejne	1,3 kg/dag
• Madlavning	0,9 kg/dag
• Opvask	0,4 kg/dag
• Rengøring af bolig	0,2 kg/dag
• Planter	0,2 kg/dag
• Diverse	0,2 kg/dag
Totalt	**8,5 kg/dag**

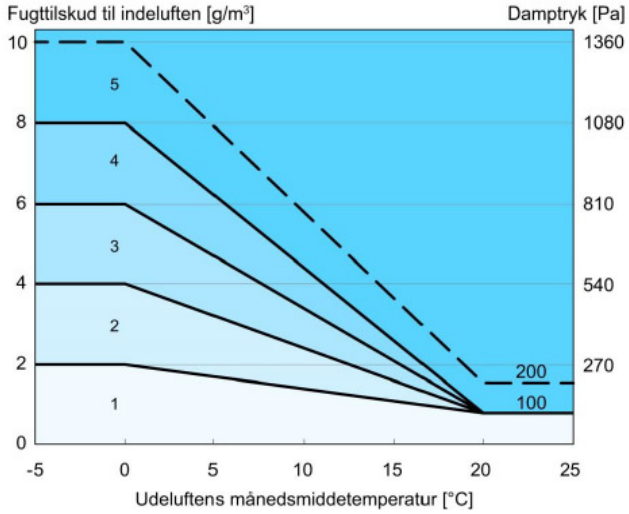
Figur 14 (t.h.) – Fugtproduktion fra forskellige kilder i en husholdning på to voksne og to børn[59]

En stor fugtkilde er fra bygningens brugere (Figur 14). Tilført fugt fra personer varierer meget ift. bygningens brug, beboertæthed og brugeradfærd. I forbindelse med simuleringer er der brug for nogle gennemsnitsværdier for tilført fugt ved forskellig anvendelse af bygninger.

[58] Becher, P. et al. 1951, s. 40
[59] Møller, E. B., forelæsningsnotat "Fugtkilder"

Fugtbelastningsklasser er et datasæt, der kan anvendes i forbindelse med fugttekniske simulerings- og beregningsopgaver. Ud fra udeluftens månedsmiddeltemperatur og den fastlagte fugtbelastningsklasse, kan fugttilskud eller øget damptryk aflæses. Værdierne for de forskellige klasser fremgår af Figur 15.

I denne specialerapport behandles et alment udlejningsbyggeri med lejligheder i rækkehuse. Boligtypen vil typisk betegnes som ”ukendt beboertæthed”, og er placeret i klasse 3, højere placeret end f.eks. parcelhuse, der ligger i klasse 2.

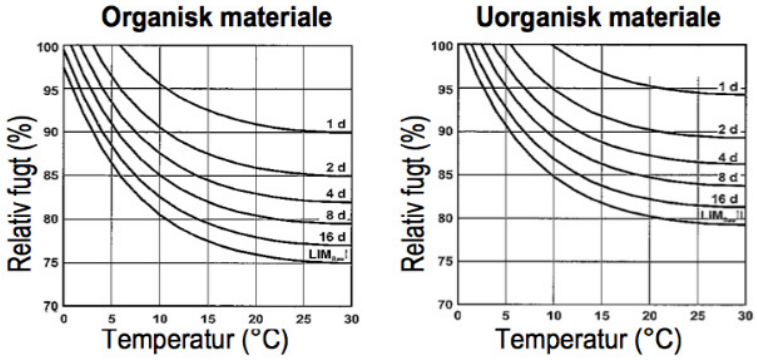


Figur 15[60] - Fugttilskuddet eller et øget damptryk afhænger dels af udeluftens månedmiddeltemperatur, dels af, brugeradfærden (bygningens anvendelse), udtrykt ved fugtbelastningsklasser. Her udtrykt i henhold til DS/EN ISO 13788 (Dansk Standard, 2013). De viste kurver er grænsekurver mellem fugtbelastningsklasserne. Det ses, at der er betydelig forskel på det forventede fugttilskud i de kolde perioder af året, mens der ikke forventes noget betydende fugttilskud i de varmeste perioder for nogen af klasserne, da udluftning må forventes om sommeren.

Ændret beboeradfærd (se side 35), og efterisolering af eksisterende konstruktioner kan ændre på de betingelser, som en bygning oprindeligt var konstrueret til. Derfor er det vigtigt at tænke fugtproblematikkerne ind, når eksisterende bygninger renoveres. Først med Bygningsreglement 2010 blev det indført i lovgivningen, at energirenoveringer skal udføres fugtteknisk forsvarligt.

3.3.4 Grundlæggende om skimmelsvampe

Tilstedeværelse af fugt kan føre til vækst af skimmelsvampe. Sporerne fra skimmelsvamp findes i luften, og hvor de rette fugt- og temperaturmæssige forhold er til det, kan sporerne udvikle sig på ganske kort tid, som det fremgår af Figur 16. Af figuren fremgår også, at der er risiko for skimmelvækst ved luftfugtighed >75% RF.



Figur 16[61] – Skimmelsvampe kan udvikle sig når rette klima, næring og tid er til stede. Af kurverne fremgår, hvor hurtig skimmelsvamp kan udvikle sig ved et givent fugt- og temperaturniveau. Organiske materialer (t.v.) kan f.eks. være tapet mens uorganiske materialer (t.h.) f.eks. kan være på beton. Af figuren ses også, at skimmelsvamp ikke har de rette levevilkår ved <75% RF.

[60] Brandt, E., s. 65
[61] Møller, E. B., forelæsningsnotat ”Skimmelsvampe”

Skimmelsvamp er ikke et materialenedbrydende problem, men et indeklimaproblem, da sporer fra visse typer af skimmelsvampe er sundhedsskadelige. Og så er skimmelsvampe et tegn på, at der er et fugtproblem, hvilket betyder, at der også kan være grobund for andre, materialenedbrydende svampe som f.eks. hussvamp og tømmersvamp.

Med udgangspunkt i fugtbelastningsklasserne, nævnt på side 29, og udeluftens månedsmiddeltemperatur og -fugtighed efter referenceåret TRY[62], kan der gives en god indikation på, hvornår de indvendige overfladetemperaturer bliver kritiske, f.eks. i forhold til skimmelvækst (>75% RF) og hvornår der kan opstå kondens (100% RF), se Figur 17. Der kan læses mere om simuleringer efter TRY på side 54.

Fugtbelastningsklasse	Beskrivelse	Kritisk overfladetemperatur	
		Dug	Skimmel
1	Tørre lagerhaller uden tilskuer, industribygninger uden fugtproduktion	4,1°C	8,2°C
2	Boliger med lav beboelsestæthed, kontorer og forretninger	9,5°C	13,8°C
3	Boliger med høj beboelsestæthed og idrætshaller med mange tilskuer	11,5°C	15,9°C
4	Storkøkkener, kantiner samt bade- og omklædningsrum	14,3°C	18,8°C

Figur 17[63] – Kritiske indvendige overfladetemperaturer for fugtbelastningsklasserne 1-4 med i årets fugtigste måned (januar, udeforhold: -0,6 °C og 94% RF) efter referenceåret TRY.

3.3 Efterisolering – komfort eller energibesparelse?

3.3.1 De første cm isolering giver største energibesparelse

Tabel 2 viser sammenhængen mellem isoleringstykkelse og indvendig overfladetemperatur i en situation, hvor der uden isolering er en indvendig overfladetemperatur på 15,9 °C. Tabellen viser, at der ikke skal meget isolering til for at bryde en kuldebro og skabe en overfladetemperatur, der ikke er nær så kritisk ift. skimmelvækst.

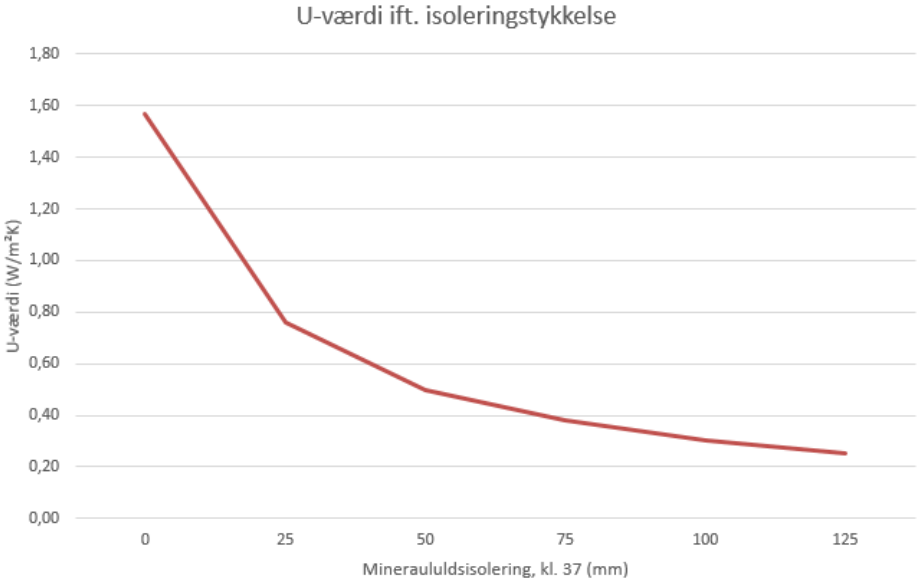
Isolering (mm)	Indvendig overfladetemperatur (°C)	Reduceret varmetab (%)
0	15,9	0 %
25	18,0	52 %
50	18,7	68 %
75	19,0	76 %
100	19,2	81 %
125	19,4	84 %

Isoleringstykkelse, ubrudt (mm)	U_{ny} W/m²K:
0	1,57
25	0,76
50	0,50
75	0,38
100	0,30
125	0,25

Tabel 2. (t.v.) Sammenhæng mellem tykkelse af efterisolering og temperaturen på den indvendige overflade af en massiv fuldstensmur ved udetemperatur på 0 °C og indetemperatur på 20 °C64.

[62] Brandt, E. et al., s. 66
[63] Poulin, H. L. et al.
[64] Christensen, G. et al., 2015

(t.h.) Regnes U-værdierne for de forskellige indvendige efterisoleringstykkelser ses, at der stadig er et stykke vej ned til BR-krav ved ombygning på 0,18 W/m²K.



Figur 18 – Energiforbruget falder kraftigst ved de første mm isolering (data i Tabel 2).

Tabel 2 og Figur 18 viser, at det er de første mm isoleringsmateriale, der har størst effekt i forhold til energibesparelser og i særdeleshed af komforthensyn, hvor kuldenedfald og kuldestråling reduceres, hvormed trækgener mindskes. Men skal vi ned på BR15-krav ved ombygning (0,18 W/m²K), så er det ikke længere de tynde isoleringsmængder, der kan klare opgaven.

Nogle løsninger går mere på komforten
Nogle steder rettes fokus mere på at opnå et fornuftigt indeklima (komfort-hensyn), og så er det ikke givet, at energibesparelsen sikrer projektets rentabilitet.

Indvendig efterisolering nedsætter temperaturen i den oprindelige ydervæg, hvilket kan skabe problemer med fugt. Derfor frarådes større isoleringslag end 100 mm flere steder, medmindre der foretages en fugtteknisk beregning[65].

Isover har i samarbejde med DTU et helt nyt forskningsprojekt i gang, hvor sikkerheden for, at der ikke opstår fugtproblemer i den indvendigt efterisolerede konstruktion vægtes meget højt, hvilket i høj grad nedsætter energibesparelsen. I korte træk er idéen, at holde en luftspalte mellem den oprindelig ydervæg og den efterisolerende konstruktion. I konstruktionen indbygges en fugtstyret affugter, der skal sørge for at holde konstruktionen tør, så vækstbetingelser for skimmelsvampe ikke opstår. Et øget ønske om at skabe en fugtsikker indvendig efterisolering resulterer i øgede udgifter til elforbrug og drift. DTUs undersøgelser viser, at besparelsen på det nedsatte varmeforbrug kan risikere at blive brugt på udgifter til el og drift – men indeklimaet forbedres[66].

[65] Peuhkuri, R. et al., s. 3
[66] IDA Syn & skøn

3.4 Efterisolering – udvendig eller indvendig løsning?

3.4.1 Udvendig efterisolering bør være første valg

Følges de nyeste vejledninger og erfaringer hos de mest anerkendte forskere og erfaringsblade på området, herunder BYG-ERFA[67] og Videnscenter for energibesparelser i bygninger[68], så bør efterisolering af bygningers ydervægge altid foretages som udvendig efterisolering, hvor det overhovedet er muligt.

Ved udvendig isolering kan der bl.a. opnås følgende fordele:

- Beskyttelse af eksisterende konstruktioner – hvis murværk af dårligt brændte sten lukkes ude i kulden, kan det give frostskader
- Kuldebroer pakkes bedst muligt ind. Ved indvendig isolering vil f.eks. tværgående skillevægge med forbindelse til ydervæggene skabe kuldebroer
- Bedste sikring mod såvel udefra- som indefrakommende fugt inde i den isolerede konstruktion
- Opnå ca. 30% bedre energieffektivitet ved udvendig isolering fremfor indvendig isolering med samme isoleringstykkelse[69].

Der kan dog være flere årsager til, at en indvendig efterisolering er den eneste mulige løsning. F.eks. ønsker eller krav om at bevare bygningens udvendige form og arkitektur, eller ved fortløbende facader med flere interessenter, der ikke kan blive enige om at efterisolere samtidig.

3.4.2 Indvendig efterisolering – en mulighed der rummer overvejelser

Indvendig efterisolering rummer nogle praktiske udfordringer. Det kan f.eks. være nødvendigt at installationer (radiatorer mv.) må flyttes og eventuel må beboere i ejendommen genhuses i forbindelse med etableringen. Mere uforudsigelige er de bygningsfysiske problematikker, der kan følge – f.eks. risiko for skimmelvækst, dårligt indeklima og i værste tilfælde materialenedbrydning pga. fugt.

Videncenter for energibesparelser i bygninger nævner nogle opmærksomhedspunkter, der er vigtige at have med i overvejelserne[70]:

- Kuldebroer omkring skillevægge og etagedæk, vil reducere den forventede energibesparelse
- Vanskeligheden ved at tætne indersiden af efterisoleringen for at undgå, at fugtig indeluft trænger ind i konstruktionen
- Den gamle facade bliver koldere, og er mere udsat for frostskader
- Isoleringen optager plads indendørs (dog bedre udnyttelse af rummene, der nu kan benyttes helt ud til væggen).

Når ovenstående problematikker er overvejet og undersøgelser foretaget, kan planlægning af indvendig efterisolering fortsætte. Der findes en række produkter til indvendig efterisolering, som baserer sig på tre typer af konstruktioner:

- Traditionel forsatsvæg af pladematerialer, dampspærre og en skeletkonstruktion med isoleringsmateriale. Løsningen kræver fugtsimuleringer inden udførelse
- Kapillaraktive plader med hygroskopiske egenskaber (side 29), der tillader fugttransport. Ingen dampspærre eller diffusionstæt maling må benyttes

[67] Christensen, G. et al., 2015
[68] Peuhkuri, R. et al.
[69] Christensen, G. et al., 2015
[70] Peuhkuri, R. et al., s. 3

(silikatmalling kan f.eks. benyttes), og ophængning kræver særlige beslag, da materialet er porøst
- Hårde isoleringsplader med lukket porestruktur, der er fuldt lukkede for fugtgennemtrængning (f.eks. celleglas-produkter).

Hvilke ydervægstyper og efterisoleringstyper der er anbefalelsesværdige at kombinere, giver BYG-ERFA deres bud på i Tabel 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 3[71] – BYG-ERFA har set på erfaringerne ved kombinationer af fordkellige typer af ydervægskonstruktioner og indvendig efterisolering. Ud fra erfaringerne se konklusionerne i skemaet.

Vægoverfladen skal renses grundigt inden nogen form for indvendig isolering foretages. Særligt maling, tapet, tapetklister og snavs skal fjernes, da dette kan danne god grobund for mikroorganismer som skimmelsvamp[72]. Som udgangspunkt skal væggen renses helt ned til den rå overflade. Et pudslag på den indvendige side af facadevæggen kan være så tæt, at det utilsigtet kan komme til at fungere som et dampspærrende lag. Der er dog varierende holdninger til, om et sådan pudslag bør fjernes. Videncenter for energibesparelser i bygninger er kommet med eksempler, hvor eksisterende pudslag er bibeholdt[73], det samme omtales i erfaringsblade[74].

Inden valg af indvendig efterisolering, bør en undersøgelse af den eksisterende facade foretages. Særligt murværk kan være udsat for efterfølgende frostskader, så muren skal være i god stand, for at der kan efterisoleres indvendigt. I erfaringsblade[75] defineres nogle emner, der skal sikres*:*
- *"At den indvendige del af muren ikke allerede er eller kan forventes at blive opfugtet af slagregn trængt gennem væggen"*
- *"At der ikke er opstigende grundfugt eller fugtindtrængning fra terræn"*
- *"At den udvendige overflade ikke har forhøjet fugtindhold, frostsprængninger, nedbrudte fuger, smuldring, saltudfældning eller afskallet maling og puds".*

3.4.3 Kilder til udefrakommende fugt

Udefrakommende fugt skal også med i tankerne, når indvendig efterisolering overvejes. Herunder er de tre vigtigste kilder til udefrakommende fugt:

[71] Christensen, G. et al., 2015, s. 4
[72] Peuhkuri, R. et al., s. 4
[73] Peuhkuri, R. et al.
[74] Christensen, G. et al., 2015
[75] BYG-ERFA blad 09 10 29

- Slagregn
- Opstigende grundfugt
- Sommerkondens

Beton er væsentlig tættere og ikke nær så fugtsugende som f.eks. teglsten. Ved betonelementbyggerier anses ovenstående problematikker som en mindre risiko, hvorfor de ikke uddybet i denne specialerapport.

3.4.4 Indbygning af en dampspærre

Luften i bygninger bliver tilført fugt i form af vanddamp i større eller mindre grad. For at hindre at denne fugt skal trænge ud i bygningens ydre konstruktioner med skader til følge, bør der oftest indbygges et damptæt lag på den varme side af konstruktionens isolerende lag. Det damptætte lag er ligeledes med til at sikre bygningens tæthedsplan. Beton i en vis tykkelse fungerer som damptæt lag. I lette konstruktioner vil det damptætte lag typisk være en tætsluttende dampspærre f.eks. af plastfolie.

Ofte er det praktisk at beskytte dampspærren ved at placere den et stykke inde i konstruktionen, op til 1/3 ind i det isolerende lag. Placeres dampspærren for langt inde i konstruktionen er der risiko for, at den fugtige luft nedkøles så meget, at den relative fugtighed bliver kritisk høj, og der kan opstå skimmel og/eller dannes kondens inde i konstruktionen.

Ved brug af plastfolie anbefales i praksis en tykkelse på minimum 0,20 mm[76]. I denne tykkelse er plastfoliens Z-værdi (se damptæthed, side 29) væsentlig bedre end minimumskravet, men her ses også på, at plastfolien skal kunne tåle håndtering og montering på byggepladsen uden at blive utæt. I en let konstruktion, hvor der på udvendig side af det isolerende lag monteres en vindspærre, skal den indvendige dampspærre være 10 gange så tæt som det vindtætte lag længere ude i konstruktionen.

Ved montering af dampspærren er det vigtigt at sørge for overlap på min. 100 mm i samlinger samt korrekt klæbning mod tilstødende bygningsdele og gennemføringer. Monteringsdetaljer kan bl.a. ses i BYG-ERFA blad (39)151229[77]. Selv mindre utætheder i dampspærren kan være problematiske (se side 101).

3.5 Betydningen af beboeradfærd

Beboernes adfærd kan have stor indflydelse på, om der f.eks. opstår problemer med skimmelvækst i boligejendomme. Problematikken består dels af måden at bo på ift. fugtbelastning (side 29), men også brugen af den efterisolerede bolig har betydning. F.eks. kan det skabe store problemer, hvis der bores i vægge med dampspærre for opsætning af inventar. En punkteret dampspærre kan skabe store problemer i ydervægskonstruktionen.

Temperaturen indendørs har ligeledes stor betydning. Generelt bør man ikke have uopvarmede rum i boligen i fyringssæsonen. Hvis soveværelset f.eks. holdes koldt, kan det give risiko for høj luftfugtighed, og der kan opstå skimmelvækst, hvor overfladetemperaturen bliver lavest. Det er ikke problematisk at nedkøle et enkelt rum f.eks. om natten. Man skal blot huske at lufte godt ud om morgenen og derefter varme op igen i løbet af dagen.

[76] Schjønning, C. et al., s. 2
[77] Hansen, M. H. et al.

Særligt i bygninger med ringe isolerede ydervægge er det vigtigt at holde større møbler i afstand fra væggen. Møbler op af dårligt isolerede ydervægge kan give samme effekt som indvendig efterisolering uden dampspærre – den eksisterende vægoverflade isoleres, overfladetemperaturen falder, og der opstår stor risiko for skimmelvækst bag møblerne.

Der kan søges inspiration til vejledning af beboere i flere forskellige kilder. F.eks. anbefaler BYG-ERFA[78], at:

- *"Holde en jævn temperatur i alle rum – også soveværelser,*
- *udlufte hyppigt – dog kun kortvarigt i den kolde årstid,*
- *anvende emhætte og ventilation i badeværelse mest muligt,*
- *aftørre overflader og gulve efter badning – og om muligt udlufte gennem vindue,*
- *sikre afstand (fx 50 mm) mellem større møbler og ydervægge af murværk, beton eller letbeton,*
- *holde øje med synlige tegn på kondens eller skimmelvækst i tilgængelige rum og på indvendige overflader".*

Oprindeligt var boliger indrettet med køkken i separat rum fra beboelsen. Bade foregik ofte ved en såkaldt etagevask med vand og sæbe, frem for lange brusebade. Lejlighedsbyggerier har gennem tiden været opført med fælles vaske- og tørrerum, således at fugtpåvirkninger herfra ikke belastede boligerne. Siden efterkrigstidens byggerier blev opført, er der sket væsentlige ændringer i måden boliger anvendes på. I takt med at der i samfundet stilles øget krav til komfort i boliger, foretages flere og længere bade. Boliger bliver ligeledes i stigende grad udstyret med egen vaskemaskine og tørretumbler, hvorved fugtbelastningen øges.

[78] BYG-ERFA Wiki

4. Eksisterende forhold

4.1 Den valgte case

CASE:	”GRENHUSENE”		
Beliggende:	Arnold Nielsens Boulevard, Bibliotekvej og Avedøre Havnevej – 2650 Hvidovre		
Opførelsesår:	1957-1958	Projekteret: 1953	Arkitekt: Svenn Eske Kristensen
Havearkitekt:	Palle Schmidt		Ingeniør: B. B. Bendtsen
Ejerforhold:	Alment (DAB afd. 1305)		Håndværkerudgift pr. hus: kr. 32.900,- (1953)
Bygherre:	Hvidovre Almennyttige Boligselskab ved Dansk Almennyttigt Boligselskab (DAB)		
Beskrivelse:	*158 tæt-lave sammenbyggede boligenheder i een etage med egen have.*		

4.1.1 Beskrivelse af byggeriet – ”Grenhusene”

Grenhusene er en almen DAB-boligafdeling, der er beliggende mellem Arnold Nielsens Boulevard og Avedøre Havnevej (på opførelsestidspunktet Hvidovre Boulevard) i forstadskommunen Hvidovre ved København. Bebyggelsen er opført i 1957-58 som såkaldt ”utraditionelt byggeri” – en betegnelse som arkitekten Svenn Eske Kristensen selv benyttede[79].

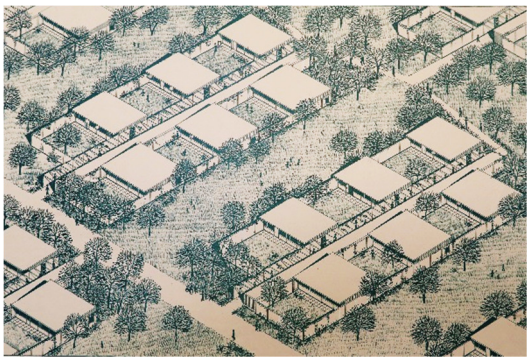
Eske Kristensen havde studeret de lave, sammenbyggede boligformer. Hans konklusion kan læses i datidens fagblad for arkitekter[80], hvor Eske Kristensen beskriver de tæt-lave bebyggelser som *”boligformer som søger at komme eenfamiliehusets boligmæssige fordele så nær som muligt, samtidig med at opnå en økonomisk fordelagtigere løsning”*. Ulempen ved de rækkehuslignende boligformer var ifølge Eske Kristensen særligt nabo-indkig i haverne. Som det tidligere er beskrevet, på side 18, var besøg i færdigbyggede projekter en del af Eske Kristensens udviklingsarbejde. I flere rækkehuskvarterer havde beboerne efterfølgende opbygget hegn for at opnå private, lukkede haver. Inspirationen til de gydelignende adgangsveje havde Eske Kristensen hentet fra de smalle gyder i Dragør.

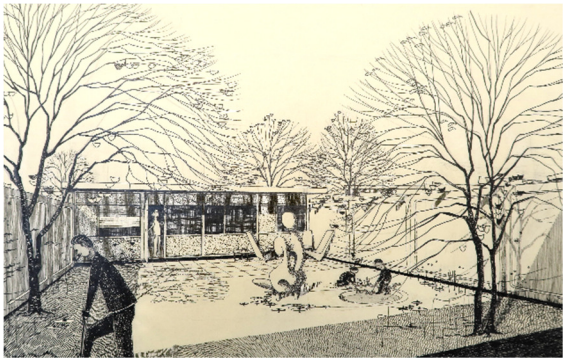
Som beskrevet side 16, skete der ofte ændringer i statslånsordningerne. Det ramte også projektet med Grenhusene. Det første projekt med 149 boliger blev myndighedsgodkendt allerede i foråret 1954, men reglerne i en ny Boligstøttelov i oktober samme år, satte en stopper for dette og mange lignende projekter med lav bebyggelse. To år senere, forud for vedtagelsen af en ny byggestøttelov, der satte førstegangslejen i nybyggeri ned, blev projektet genoptaget. Det opførte projekt indeholder 158 boliger.

Tanken var at skabe en helt ny boform til lejere med familie, som også ønskede en have til deres bolig. Disse tanker om privatliv skulle ved hjælp af så mange standardelementer som muligt, kombineres med de økonomiske fordele ved etagebyggeriet. De mange standardelementer gjorde samtidig indretningen af boligerne meget fleksibel, og i dag er der ikke mange af boligerne, der er indrettet med den oprindelige rumfordeling.

[79] Kristensen, S. E., 1977, s. 80
[80] Arkitektens Ugehæfte, 1955

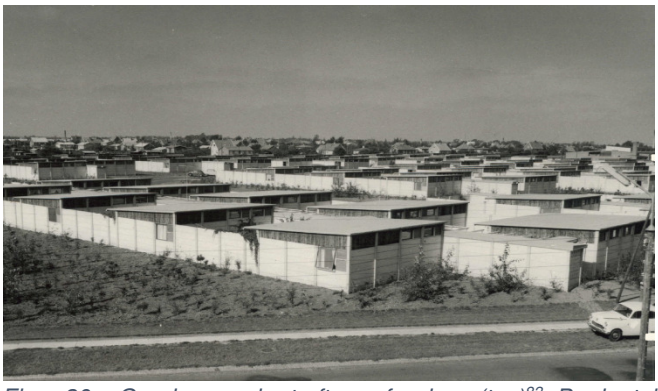
Navnet Grenhusene kommer af bebyggelsens udformning, hvor husene ligger som blade på de grene, der dannes af adgangsvejene til de enkelte boliggrupper (se Figur 20). De enkelte grene består dels af en pergola-overdækket adgangsvej og dels af en "service-gren", hvor pulterrum samt forsyningsrør er placeret, og mod "hovedvejen" et affaldsrum.

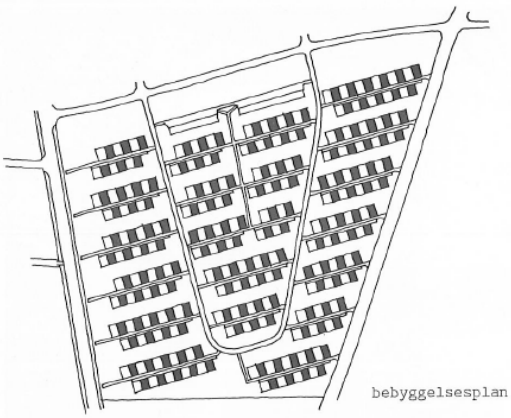




Figur 19[81] - Arkitekt Svenn Eske Kristensens tegninger af Grenhusene. Hver gren består af en pergola-overdækket gang med huse og private haver liggende forskudt på hver side.

Det var vigtigt for Eske Kristensen, at holde kørende og gående trafik adskilt og skabe en bebyggelse med lys, luft og grønne arealer omkring. Landskabsarkitekten Jørn Palle Schmidt fik stramme tøjler, da det samtidig skulle være billigt. Der blev valgt en skovlignende beplantning af arealerne mellem "grenene". Små træer kunne hurtigt plantes i lige rækker, der var markeret efter en markør monteret på en harve. En græsplæne ville kræve finplanering af arealerne, hvilket ville fordyre projektet[82] – også her var projektet industrialiseret og rationaliseret.





Figur 20 – Grenhusene kort efter opførelsen (t.v.)[83]. Beplantningen står på lige rækker mellem bebyggelsens grene. Arkitektens tanke om en U-formet "hovedvej" for kørende trafik og boligerne adskilt med private haver som blade på grene ud fra "hovedvejen" (t.h.)[84]

Grenhusprojektet kom i høj grad til at præge datidens udvikling af række-, kæde- og gårdhavehuse. I bogen om 50'ernes boligbyggeri er Grenhusene omtalt som *"periodens mest nyskabende sociale boligbebyggelse"*[85] ud fra bebyggelsesstruktur og boligtype.

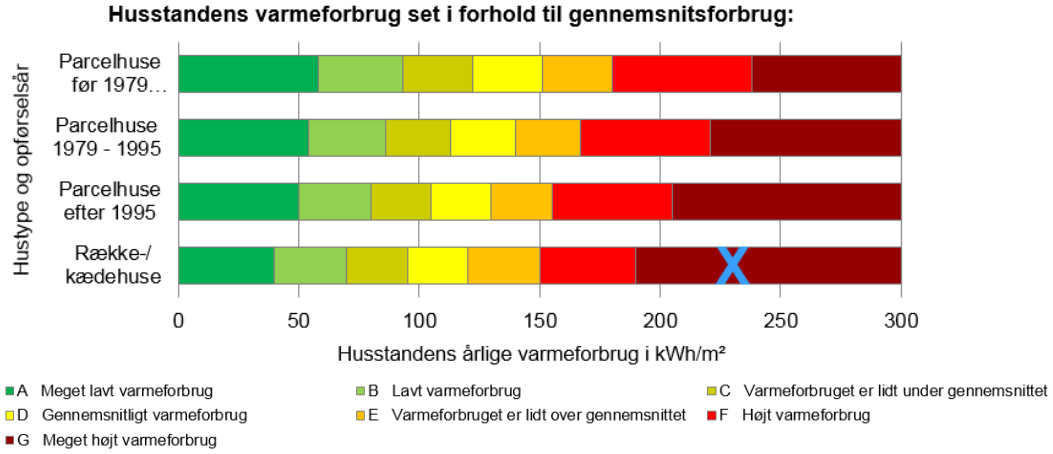
Grenhusene var nytænkende byggeri, og Eske Kristensen lagde meget arbejde i projektet. Det ses bl.a. ud fra mængden af beskrivelser og præsentationstegninger i arkitektens tegningsarkiv[86]. Udover at materialevalget i bebyggelsen er meget

[81] Danmarks Kunstbibliotek
[82] Lund, A., s. 122
[83] DAB
[84] Arctander, P. et al.
[85] Hermann, E., s. 115
[86] Danmarks Kunstbibliotek

nytænkende efter datidens forhold, så er bebyggelsen også modulprojekteret og tilpasset de nye krav til montagebyggeri, som først blev indført som lovkrav i bygningsreglementet i 1961. Landsforeningen for bygnings- og landskabsarkitektur har også fundet byggeriet og baggrunden interessant, hvorfor de i august 2013 indstillede "Grenhusene" til fredning[87]. I skrivende stund er bebyggelsen dog helt uden fredningsstatus[88].

4.1.2 Grenhusenes varmeforsyning og forbrug

Grenhusene er i dag, som på opførelsestidspunktet, forsynet med fjernvarme. Leverandøren er FD Hvidovre. Det varme brugsvand produceres decentralt ved el-vandvarmere i de enkelte boliger. Fjernvarmeforbruget var i 2015-2016 (april-marts) 2.711 MWh[89], hvilket omregnet svarer til et forbrug på 228 kWh/m² år. Det svarer til et meget højt varmeforbrug sammenlignet med lignende boliger (se Figur 21).



Figur 21 - Grafisk visning af Grenhusenes varmeforbrug pr. m² sammenlignet med lignende bebyggelser, der placerer Grenhusene i højeste kategori med "Meget højt varmeforbrug".

I Danmark har det siden 1999 været lovpligtigt at afregning af varme skal ske efter individuel måling i den enkelte bolig[90]. Det sker ikke i Grenhusene, der har fået dispensation af Hvidovre Kommune. Varmeafregningen i boligafdelingen sker kollektivt, hvor den samlede varmeregning fordeles m²-mæssigt på de enkelte boliger. Argumentet for en dispensation er bl.a., at individuel måling ville få beboerne til at spare så meget på varmen, at der ville opstå øgede problemer med fugt, skimmelsvamp og bygningsskader i de dårligt isolerede boliger.

4.2 Grenhusenes konstruktionsprincipper

Da denne specialerapport har vægten på ydervægskonstruktionerne, er der i dette afsnit primært gået i detaljer med denne bygningsdel.

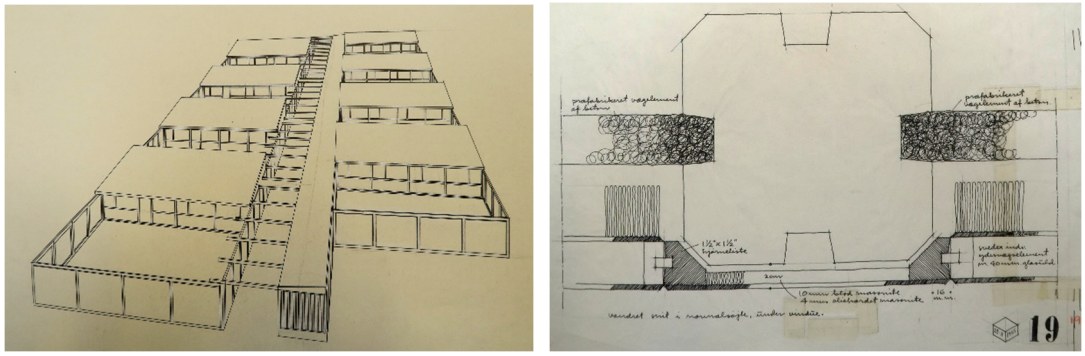
4.2.1 Det overordnede byggeprincip

Bebyggelsens opbygning bærer præg af, at brugen af standardelementer i så stort omfang som muligt var et af arkitektens mål og et krav i forhold til datidens statsstøtteordninger. Alt fra anlæg af udearealer til konstruktionsopbygninger blev rationaliseret. Brugen af tynde yder- og skillevægskonstruktioner gav en arealgevinst på

[87] Landsforeningen for bygnings- og landskabsarkitektur
[88] www.kulturarv.dk/fbb, søgning på Grenhusene
[89] DAB
[90] www.brunata.dk

9% svarende til 41 kr/m². Dermed kom opførelsesprisen for bebyggelsen ned på kr. 410,-/m² [91].

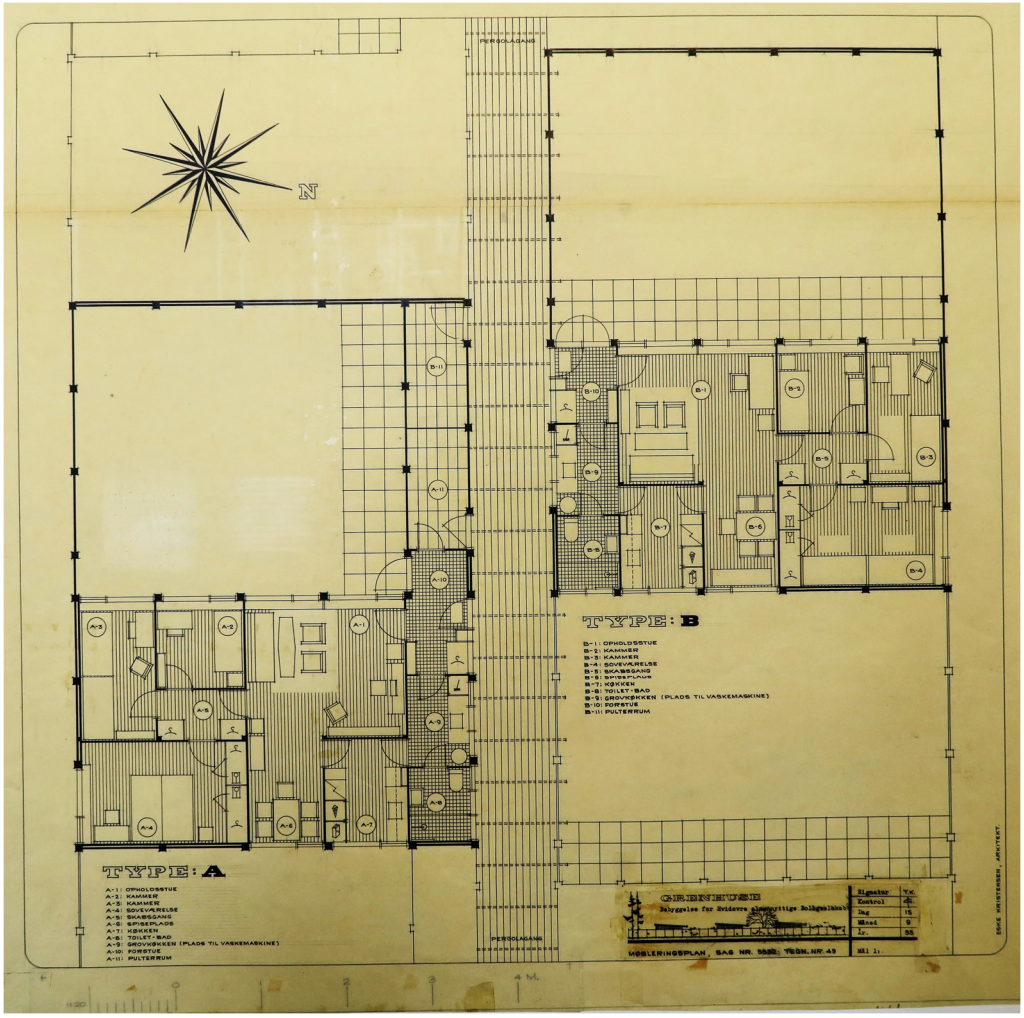
Bebyggelsen er projekteret over et modulnet på 60 cm. Hovedbyggeprincippet ses af Figur 22 og består af bærende betonsøjler i et fast modul pr. 240 cm. Ydervæggene består af betonelementer, hvor der går 5-6 elementer i højden til en fuld vægsektion alt efter terrænet, for elementerne er ført ned i jorden og danner ligeledes sokkel. Konstruktionsprincippet er illustreret på de første registreringstegninger, Figur 24. Her ses betonelementerne, der er fikseret i betonsøjlerne, hvilket danner råhuset og den bærende/stabiliserende del. Efterfølgende er der opbygget en let indvendig konstruktion. De opdelte elementer muliggjorde at bruge de samme elementer til brystninger under vinduespartier. Principperne følger Dansk Standards anvisninger for opførelse af betonplankeværker fra marts 1950 (se bilag B.2.2). For hver "gren" er der opsat et langt betonplankeværk for hver facade. Der hvor der ønskedes boliger er der opbygget en bagvæg med isolering efter datidens krav. De mellemliggende sektioner tjener som plankeværk for de lukkede, private haver. I princippet kan dette system fortsættes i en uendelighed, det er kun et spørgsmål om, hvor mange boliger der skulle være i hver "gren-enhed".



Figur 22 – Hovedkonstruktionsprincippet i "Grenhusene" (t.v.). Ydervæggene var projekteret efter princippet for et betonplankeværk. Hvor der skulle være boliger opbyggedes en bagvæg med isoleringer efter datidens forhold (t.h.)[92].

Størrelsen af de enkelte boliger på 85 m², var grænsen for datidens kvadratmeter-tilskud. Der blev opført 2 boligtyper, A og B, der fremgår af Figur 23. Eneste forskel ligger i, at pulterrum for begge boliger er placeret i den ene grenside, hvilket har ført til lidt ændringer i indgangsrummene. I bilag B.2 findes yderligere tegningsmateriale.

[91] Jensen, G. E.
[92] Danmarks Kunstbibliotek



Figur 23 – Boligernes indretning og deres placering på hver side af "grenen". Der er kun meget lille variation i indregningen for de 2 boligtyper.

Der indgår ganske få forskellige betonelementer i bebyggelsen, da støbning skulle ske med færdig udvendig overflade. Forme til dette var meget dyre at fremstille, så de skulle bruges fuldt ud. De enkelte elementer måtte ikke være større, end de kunne løftes med en almindelig traktor med løftegrej, da alternativet på dette tidspunkt var en dyr kran på skinnesystem, der skulle opbygges på stedet.

Tagfladerne er udført med tagpapdækning og svagt fald, så nogle ydervægge er højere end andre. Denne højdeforskel er udført i træskelet med udvendig listebeklædning. Årsagen til dette er igen prisen på betonforme. Om specialelementer skriver Eske Kristensen *"…de vil blive dyre at fremstille og vanskelige at tilpasse til det øvrige, derfor slutter alle elementer i samme vandrette højde og alt hvad der bygges op over denne højde udføres af let tildannelige materialer i tømrer- eller snedkerudførelse"*[93].

Byggeprincippet følger det, der senere blev kendetegnet for 1960'ernes byggerier – gentagelsesprincippet med præfabrikerede betonelementer, modulprojekteret og industrialiseret byggeri. Eske Kristensen beskriver selv det vigtige i, at de ydre konstruktioner, råhuset, hurtigt kunne etableres. Bagvæggen med isolering blev først

[93] Arkitektens Ugehæfte, 1955

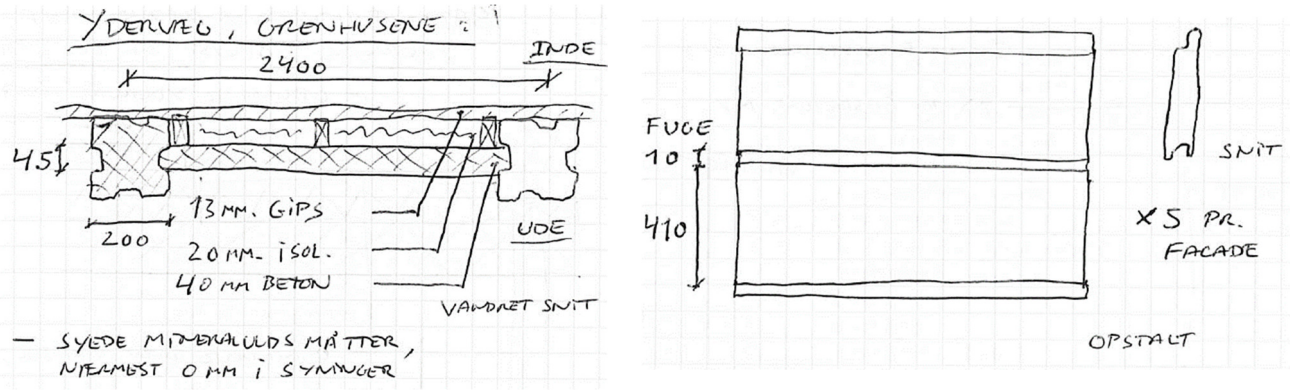
etableret efterfølgende indefra. Skillevægge udførtes i Gipsonit, for at beboerne nemt skulle kunne ændre indretningen efter behov. Eneste undtagelse er vægge omkring baderum, der er udført af præfabrikerede betonelementer[94].

Konstruktionsprincipper og materialevalg var nye, og det var ikke alle løsninger, der kunne få topkarakter. På et møde den 16. marts 1959 arrangeret af boligforeningerne i Hvidovre, lød der allerede kritik af Grenhusenes kvalitet. En unavngiven lejer stillede spørgsmålstegn ved, om byggeriet efter kun 6 måneders brug var saneringsmodent. Lejeren kritiserede i skarpe vendinger byggeriet, som han kaldte "Rævefarmen", og sagde dertil: *"Dørene kan ikke lukkes – skillevæggene falder ned – loftet er så utæt, at man kan undvære lys i de månebelyste aftener – vinduesrammerne gaber indtil 3-4 cm, og sådan kunne jeg blive ved"*[95]. I en artikel i lokalavisen den 17. april 1959 konkluderedes dog, at hovedparten af beboerne var tilfredse med deres bolig. De største problemer var omkring tætning og isolering. Samlet set må boligerne også være tilfredsstillende, da beboerne bliver boende længe, og enkelte har boet i husene fra opførelsestidspunktet. Ventetiden på en bolig i Grenhusene er i dag over 20 år[96]. Og hvad konstruktionerne angår, så er der kun sket ganske få ændringer siden opførelsen.

4.2.2 Ydervæggens opbygning – registreringer og ændringer

Inden der kan foretages simuleringer på de eksisterende ydervægskonstruktioner, som skal danne grundlag for optimeringsforslag, er det vigtigt at få fastlagt så præcist som muligt, hvilke materialer der indgår i konstruktionerne.

Der var flere beskrivelser omkring ydervæggene, der ikke umiddelbart stemte overens med de oprindelige tegninger, hvorfor et "detektivarbejde" måtte sættes i gang. De første registreringer ud fra visuel besigtigelse og samtaler med DABs afdelingsinspektør fremgår af skitserne Figur 24.



Figur 24 – De første skitser efter visuel besigtigelse og samtaler med DABs lokalinspektør gav grobund for en nærmere undersøgelse, da konstruktionerne ikke helt svarede til det oprindelige tegningsmateriale.

Svedex-elementer eller ej?

På det oprindelige tegningsmateriale er der angivet, at bagvæggene skulle bestå af "Svedex-elementer" (Figur 22). Det stemte ikke overens med beskrivelsen fra boligselskabets inspektør, der har set flere af ydervæggene åbnet. Men for at be- eller afkræfte brugen af "Svedex", og for at kunne beregne og simulere på konstruktionerne, måtte oplysninger om produktet findes frem.

[94] Arkitektens Ugehæfte, 1955
[95] Jensen, G. E., s. 32
[96] www.dab-bolig.dk

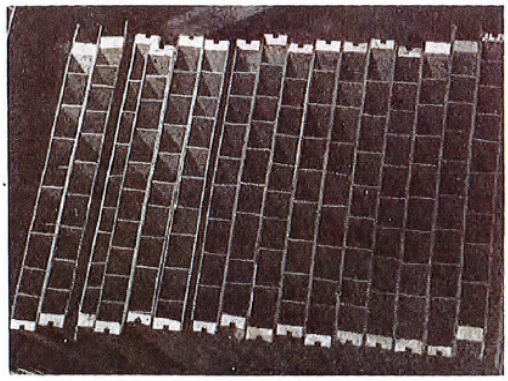
Produktet findes ikke i dag. Efter flere forespørgsler, blandt andet hos SBi og hos den hollandske producent, der i dag fremstiller døre, var der ikke kendskab til vægelementerne. "Svedex" som plademateriale blev fundet i et ældre nummer af Registreringstidende for vare- og fællesmærker, hvor materialet beskrives som cementbundne beklædningsplader (Figur 25). Igen var det modstridende med boligselskabets oplysninger, hvor tidligere boreprøver viste almindelige gipsplader (Gipsonit i datiden).

Ved en søgning i ældre litteratur blev det endeligt fastslået, hvad et "Svedex-element" er. I bogen "Rationelt Byggeri" fra 1955 er produktet beskrevet og illustreret (Figur 25). Vægelementerne er 60 cm brede og beskrives som *"To træfiberplader er med et lamelsystem af det samme materiale forbundet til en stiv væg. Hulrummene fyldes med klinkerbeton el. lign."*[97].

dexalith panel

Svedex Deuren B.V., Svedexweg 21, Varsseveld, Holland.
Erhverv: fabrikation og handel.
Fuldmægtig: Firmaet Hofman-Bang & Boutard, København.

Klasse 19: cementbundne beklædningsplader (byggematerialer, ikke af metal) med vejrbestandige, lydisolerende og flammebestandige egenskaber.

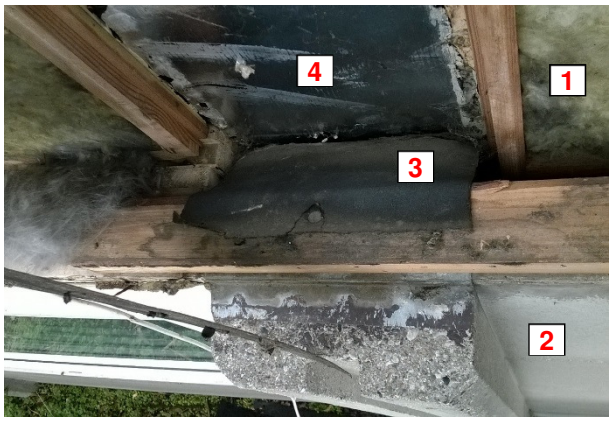


Figur 25 – Beskrivelse af "Svedex" beklædningsplader (t.v.)[98] og illustration af "Svedex-elementer" (t.h.)[99], som et præfabrikeret, let element, der på byggepladsen blev udstøbt med letklinkerbeton.

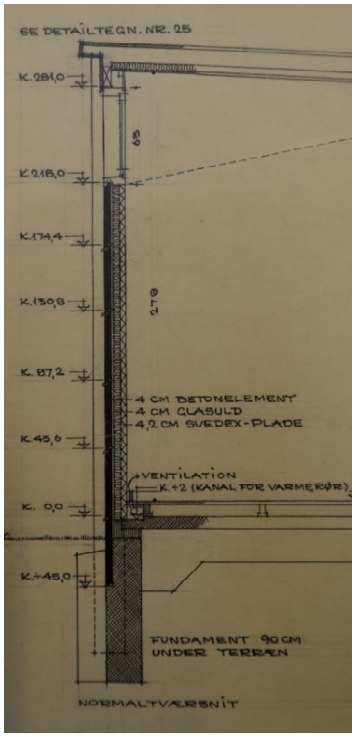
Ydervægskonstruktionen med betonelementer og bagvedliggende "Svedex-element" var tidligere anvendt bl.a. i byggeriet "Klostervænget" i Viborg (arkitekt Fritz og Jens Madsen), der blev opført i 1955-56, altså få år før Grenhusene i Hvidovre. Omkring dette projekt er konstruktionsprincipperne beskrevet: *"Facaderne består yderst af et betonelement 4 cm tykt", og "Når denne plade er monteret, opsættes indvendig 60 cm bredde "Svedex"elementer, bestående af to 5 mm hårde fiberplader, udstøbt med klinkerbeton. På bagsiden er påklæbet 5 cm mineraluldmåtter"*[100].

I forbindelse med en tidligere destruktiv undersøgelse foretaget for boligselskabet, blev der taget nogle billeder af den åbne ydervægskonstruktion (Figur 26 og Figur 27). Ud fra disse billeder og beskrivelser fra boligselskabet konkluderedes, at der ikke er anvendt "Svedex-elementer" eller "Svedex-plader" til ydervægskonstruktionerne i Grenhusene.

[97] Rambøll, B. J., s. 214
[98] www.tidsskrift.dk
[99] Rambøll, B. J, s. 214
[100] Kjeldsen, M., s. 78



Figur 26[101] – Destruktivt indgreb i en gavl, hvor den øverste træbeklædning er pillet ned. T.v. ses direkte ind på gavlen, hvor vindspærre af asfaltpapir er første lag efter træbeklædningen. Ydervægskonstruktionerne består inderst af et træskelet med isolering (1). (A) viser den del, der ses oppe fra og ned t.h. Yderst betonelementerne (2) der går ind i betonsøjlerne. Betonsøjlerne rager ca. 8 cm længere ud end elementerne. Bag betonsøjlerne er der fastgjort tagpap (3) og inderst et tyndt lag alufolie direkte mod den indvendige beklædning. Oplyst af DAB, at der ingen isolering er bag søjler! (En lukket gavl kan ses på Figur 64).



Figur 27 – (t.v.)[102] oprindelig tværsnit-tegning af ydervægs-konstruktion, hvor "Svedex-elementer" var tænkt anvendt. (t.h.)[103] Konstruktionen (samme som (1) på Figur 26) er i stedet udført med traditionelle, papirbeklædte gipsplader (Gipsonit) og mineraluldsisolering – nogle steder med syede måtter som det ses her.

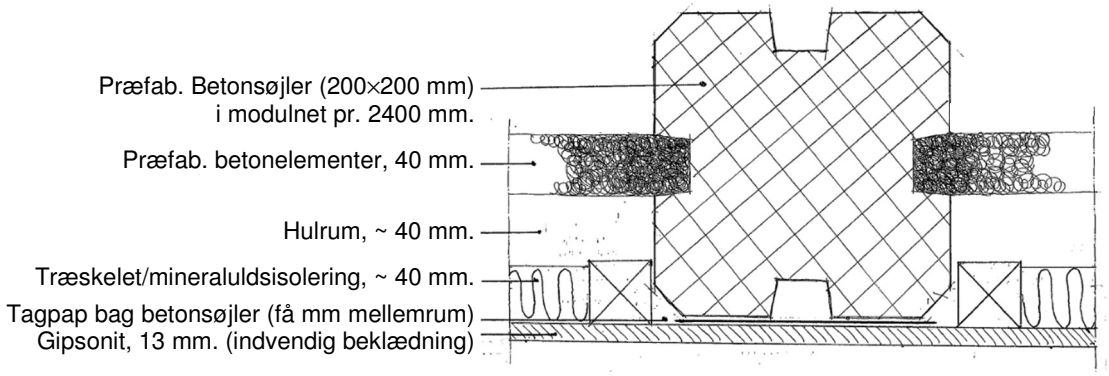
Billederne og beskrivelserne bekræfter i stedet, at der er tale om de oprindeligt beskrevne betonelementer udvendigt. Den inderste del af konstruktionen består af en traditionel træskeletkonstruktion med isoleringsmateriale.

[101] DAB
[102] Danmarks Kunstbibliotek
[103] DAB

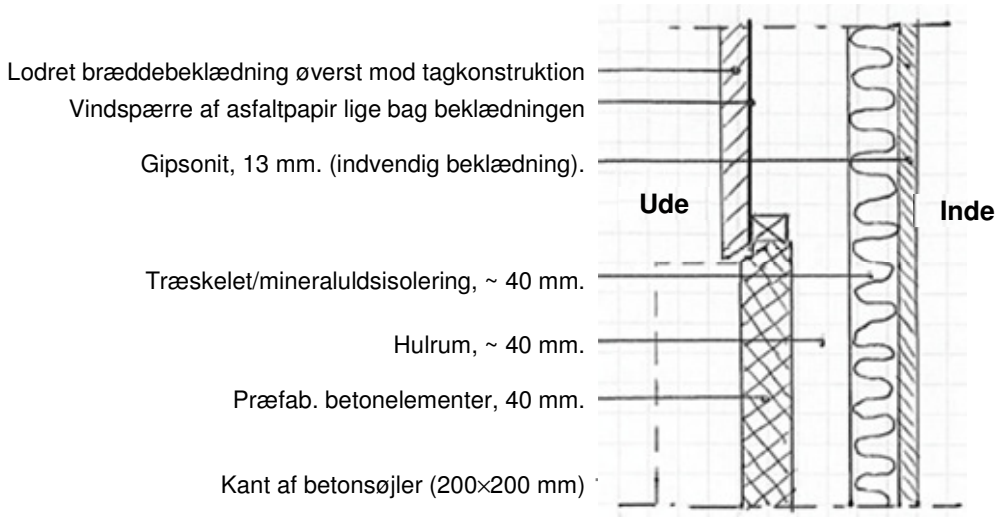
Mineraluldsisolering var i 1950'erne i en overgangsperiode, hvor man fortsat benyttede isolering i syede måtter samtidig med indførelsen af de nye isoleringsblokke uden papir omkring (se side 14). Det ser vi her, hvor begge typer er anvendt (Figur 26 og Figur 27). Bag betonelementerne (Figur 27) er der alle besigtigede steder anvendt mineraluld i syede måtter. Som beskrevet på side 14, så er tykkelsen af isoleringen meget varierende, når der er tale om syede måtter – fra 0-40 mm i dette tilfælde. Bag øverste træbeklædning (Figur 26) er der enten isoleret med syede måtter eller med datidens nye isoleringsblokke uden papir. For sidstnævnte er isoleringstykkelsen mere præcis 40 mm.

Undersøgelserne og billederne er drøftet med bl.a. Rockwools tekniske service[104], der er overbeviste om, at isoleringsmaterialerne på billederne er fra byggeriets opførelse. Hvad angår den indsyede isolering på Figur 27, så skulle det angiveligt være glasuld, der har været udsat for sollys, hvorved det har fået det grå, fehår-lignende udseende.

Efter undersøgelserne kan ydervægskonstruktionerne fastlægges som skitseret på Figur 28 og Figur 29.



Figur 28 – Vandret snit i ydervæg med udvendige betonelementer. Skitse ud fra registreringer.



Figur 29 – Lodret snit i ydervæg i overgangen mellem udvendige betonelementer og træbeklædning. Skitse ud fra registreringer.

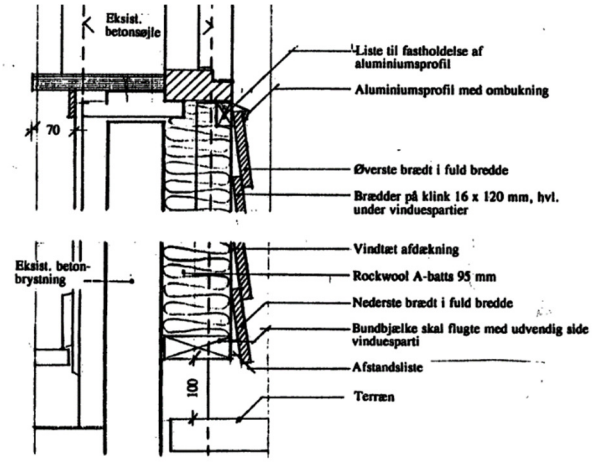
[104] Rockwool A/S

4.2.3 Gennemførte renoveringsprojekter

Ydervægge

Mod egen gårdhave består ydervæggen af vinduespartier med brystning af samme betonelementer som øvrige facader – fortsat med bærende betonsøjler, som det ses på billedet Figur 30. Disse ydervægge er renoveret i forbindelse med udskiftning af vinduer i 1995. Udenpå den eksisterende betonbrystning er der etableret en let konstruktion med 95 mm mineraluldsisolering (tegningen Figur 31).

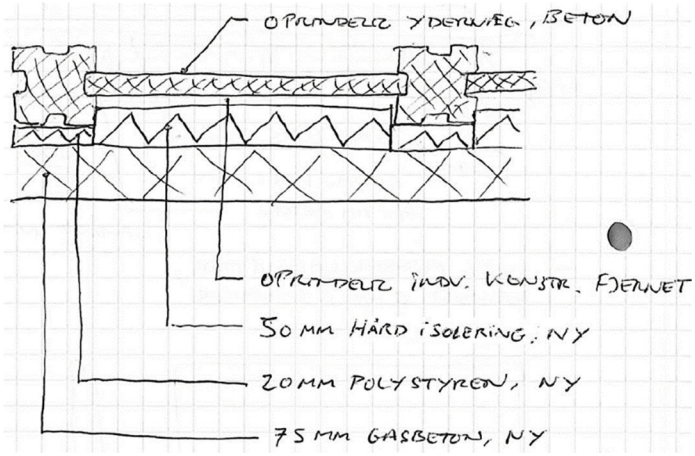
Figur 30 - Grenhusenes havefacader var oprindeligt udført med brystning af 2 vægelementer i beton og store vinduespartier[105]



Figur 31 – De nuværende havefacader er efterisoleret med 95 mm mineraluld og beklædt med træ.

Boligselskabet har jævnligt problemer med fugtskader på de kolde ydervægge, og der er også flere henvendelser omkring skimmelsvamp i nogle af boligerne. Særligt i badeværelserne har problemet været omfattende, hvorfor mange af de 158 boliger har fået renoveret og efterisoleret ydervægskonstruktionerne her (skitse Figur 32).

[105] Kristensen, S. E., 1977, s. 81



Figur 32 – Vandret snit i ydervæg i badeværelser. Boligselskabet har renoveret ydervæggene i badeværelserne i mange boliger. Den indvendige del af ydervæggen er fjernet, og der er isoleret med hård isolering og opsat ny gasbetonvæg på indvendig side. Skitse ud fra oplysninger (DAB)

Derudover har enkelte beboere opsat et ekstra lag gips på indvendig side af ydervæggene, men ellers er der ikke kendskab til renoveringer af ydervæggene.

Tagkonstruktionen
Tagkonstruktionen er renoveret og efterisoleret i 1984, hvor der ovenpå det oprindelige tag udlagdes ca. 100 mm hård mineraluld og ny tagpapbelægning.

Der vil ikke blive gået dybere ind i principperne for tagkonstruktionen i denne specialerapport. Det bør dog nævnes, at der ud fra tegningsmaterialet på den efterisolerede konstruktion ses nogle problematikker omkring manglende ventilation. Et forhold der nok bør undersøges nærmere i en anden undersøgelse.

Udover disse tiltag er varmeisoleringen i bebyggelsen som oprindeligt udført. Grenhusene fremstår i dag som på Figur 33. De oprindelige betonelementers overflade står i fin stand trods næsten 60 års påvirkning af vind og vejr. Betonelementerne udfor gårdhaverne er lidt mere medtagede.

Figur 33 – (t.v.) Grenhusene i dag. Ydervæggene består yderst af 5-6 betonelementer nederst, alt efter terrænniveau. Elementerne fortsætter ned i jorden og danner samtidig sokkel. Øverst mod tagkonstruktionen er det yderste konstruktionslag lodret bræddebeklædning. Betonelementernes stand er relativ fin på trods af vind og vejr. Ud for gårdhaverne (rød pil + t.h.) er betonelementerne mere medtaget, og har fået en mørkere overflade.

4.3 Metoder og materialer

Casen (kapitel 4.1) benyttes til at underbygge de teoretiske afsnit i kapitel 3, og er valgt ud fra følgende parametre:

- Opført som industrialiseret betonelementbyggeri som et af de første efter 1950’ernes nye byggeprincipper med modulprojekteret byggeri
- ”Eksperimenterende” og ”utraditionelt” byggeri af arkitekten bag udviklingen af det danske modul- og montageprincip
- Byggeri med udlejningsboliger, der typisk ligger i en højere fugtbelastningsklasse end fritliggende enfamilieboliger
- Tæt-lav bebyggelse med ens lejlighedstyper, med løsninger og problemstillinger, der også findes i større bebyggelser fra samme periode.

4.3.1 Undersøgelsesmetoder

Der er generelt fokuseret på ydervæggene. Undersøgelsen er sket via granskning af tegningsmateriale, litteratur om datidens konstruktionsprincipper og samtaler med boligselskabets inspektør.

Tegningsmateriale vedrørende de oprindelige konstruktionsprincipper er primært fremskaffet via Danmarks Kunstbibliotek, der rummer arkitekten Svenn Eske Kristensens meget omfangsrige tegningsarkiv. Hvidovre Kommunes byggesagsarkiv rummer oplysninger om renovering af tagkonstruktioner og bebyggelsens lette facader mod gårdhaver, hvor sidstnævnte var særlig interessante ift. dette speciale, men ikke originaltegninger.

Bebyggelsen hører under boligselskabet DAB, der tidligere har foretaget destruktive indgreb i ydervægge og boreprøver i den indvendige pladebeklædning. For at få fastlagt, hvad der er opført på stedet, er der taget flere møder med boligselskabets inspektør, Michael Skov (DAB), der kunne bidrage med billeder og oplysninger fra de tidligere undersøgelser.

Endvidere er foretaget visuel besigtigelse samt ikke-destruktive målinger.

4.3.2 Undersøgelser i marken

Der er udført temperatur- og fugtmåling i en 49 dages periode fra 11. februar til 30. marts 2016. Fugtniveauet i boligerne er en vigtig parameter i forhold til efterisolering (se kapitel 3.3). Gennemsnitlige fugtbelastningsklasser findes i anvisningerne, men beboeradfærd kan give andre forhold, hvilket kan afdækkes med målinger af de reelle forhold i repræsentative boliger med elektroniske dataloggere.

Resterende undersøgelser blev foretaget 18. februar 2016, hvor målet bl.a. var at få klarlagt konstruktionsopbygning og varmeisoleringsniveau. I alt 5 forskellige boliger indgik i undersøgelserne.

På undersøgelsesdagen blev foretaget visuel besigtigelse med målinger, fotoregistrering og bygningstermografering i Bolig 1 og Bolig 5. Vejrforholdene på besigtigelsestidspunktet fremgår af Tabel 4. Disse data er vigtige for bl.a. bygningstermografering og overflademålinger indvendigt på ydervæggene.

Forudsætninger og vejrforhold på termograferingstidspunktet					
Ude:	Vejrforhold:	Overskyet, ingen bygningsdele opvarmet af solen.			
	Temperaturer:	Luft temperatur:	0,5 °C	Reflekteret temperatur:	- 5 °C
	Vindforhold:	Svag vind fra syd og sydvest (lille vindpåvirkning)			
	Bemærkninger:	-			
Inde:	Temperaturer:	Bolig 1, generelt:	22,0 °C	Bolig 1, soveværelse:	18,7 °C
		Bolig 5, generelt:	20,6 °C	Bolig 5, soveværelse:	18,5 °C

Tabel 4 - Vejrforhold på lokationen på besigtigelsestidspunktet den 18. februar 2016.

Endvidere indgår fotoregistreringer fra tidligere destruktive undersøgelser udført af DAB (side 43).

4.3.3 Måleudstyr

Der er anvendt fugt-/temperaturloggere, termograferingskamera og typer af termometer.

Fugt-/temperaturloggere og deres placering

Forud for opsætningen af loggerne blev de programmeret til logning hver 30. minut, og logningsperioden var 11. februar 2016 til 30. marts 2016.

Der blev udvalgt 4 boliger af forskellig type og med forskellig beboersammensætning (angivet i Tabel 5), som gerne skulle være repræsentative for den samlede bebyggelse. I alt 16 loggere af typerne Tinytag Ultra og Testo 175h1 blev opsat i 4 boliger, og dertil blev 1 logger opsat som udendørs reference.

Hus nr.:	Boligtype:	Beboer-sammensætning:	Loggerplaceringer:
Bolig 1	Boligtype B	2 voksne	Grovkøkken, køkken, soveværelse og kammer
Bolig 2	Boligtype A	2 voksne og 2 børn	Grovkøkken, køkken, soveværelse og kammer
Bolig 3	Boligtype A	2 voksne og 2 børn	Grovkøkken, køkken, soveværelse og kammer
Bolig 4	Boligtype B	2 voksne	*Grovkøkken, soveværelse samt badeværelse og stue**

*Tabel 5 - Boliger og beboersammensætning, hvor loggere blev opsat for langtidsmåling af temperatur og fugt. *I bolig 4 er der kun anvendt målinger fra grovkøkken og soveværelse.*

Vejledning for placering af dataloggerne er fulgt, som beskrevet i BYG-ERFA erfaringsbladet om langtidsmåling af fugtforhold[106]:

"Dataloggere måler luften omkring udstyret – ikke på overfladerne – og de placeres:

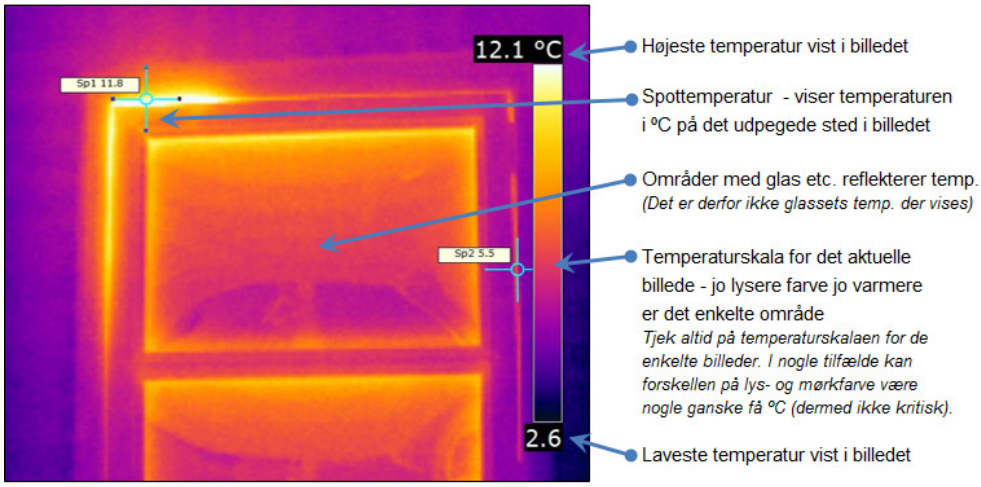
- *på steder, der er repræsentative for de konkrete formål,*
- *ofte 1,8-2,0 meter over gulv – fx oven på et skab eller tilsvarende – så de ikke udsættes for overlast og er uden for børns rækkevidde,*
- *længst muligt væk fra vinduer og døre".*

Figur 34 - Fugtlogger af typen Tinytag Ultra.

[106] Christensen, G., 2014

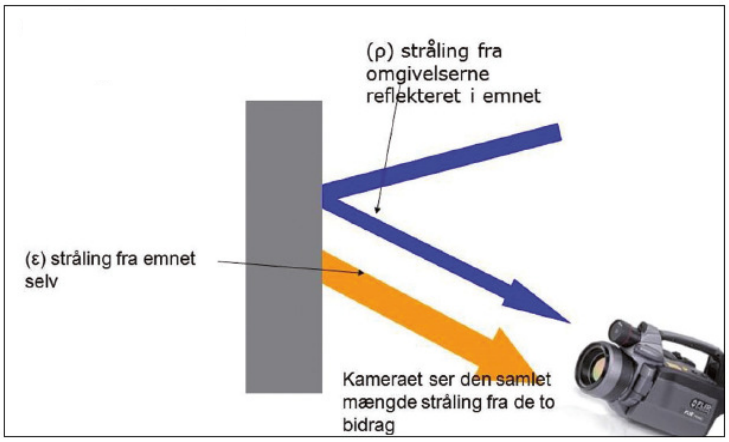
Termograferingskamera

Bygningernes eksisterende varmeisoleringsniveau er undersøgt med bygningstermografering, der tager varmetekniske billeder af bygningsdelenes overflader. Ved hjælp af de viste overfladetemperaturer kan termiske afvigelser, f.eks. kuldebroer, i bygningens klimaskærm lokaliseres. Samtidig er billederne et godt værktøj til visuelt at forklare om konstruktionernes varmetekniske tilstand, f.eks. overfor lægfolk. Termografibillederne aflæses som beskrevet på Figur 35.



Figur 35 - Vejledning til læsning af termografibilleder.

Inden bygningstermograferingen påbegyndes er der en række parametre, der skal være korrekt indstillet – herunder stråling fra omgivelserne (ρ), der reflekterer i det målte emne, samt materialets emissivitet (ε), der er stråling fra det målte emne (se Figur 36). Stråling fra omgivelserne er mest relevant udendørs, hvor f.eks. temperaturen fra en klar himmel vil være væsentlig lavere end luftens temperatur. Dette bidrag skal måles og indtastes i kameraet forud for termograferingen. Indendørs vil strålingen fra omgivelserne ligge tæt på rumtemperaturen, hvorfor denne bruges i praksis.

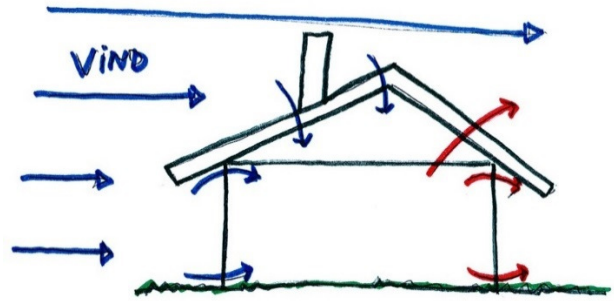


Figur 36[107] – Et termografi-kamera opfanger tre former for stråling og omsætter disse data til et termografisk billede.

Derudover skal termografen orientere sig om vejrforholdene på lokationen, f.eks. er vindstyrke og –retning interessant ift. korrekt læsning af de varmetekniske billeder, ligesom solpåvirkning af en bygningsdel kan give ikke-retvisende resultater. Når et hus påvirkes af vind, opstår der overtryk på vindsiden og undertryk på læsiden, som det er illustreret på skitsen Figur 37. Indvendigt på vindsiden vil utætheder vise sig tydeligst ved

[107] Poulin, H. L. et al., s. 10

termograferingen, og luftstrømmene vil føles som træk. Modsat læsiden, hvor utæthederne vil være knapt så tydelige på billederne.



Figur 37 - Skitse af forholdene ved vindpåvirkning af en bygning. Vindretning og styrke er væsentlige oplysninger for korrekt aflæsning af termograferingsbilleder.

Det anvendte termograferingskamera – Flir T250
Det anvendte termografiudstyr har en opløsning på 320x240 pixels og kan anvendes til professionel bygningstermografering med billeder på kortere afstand[108]. Målingernes usikkerhed er: +/- 2 ℃.

Kameraet blev ved målingerne indstillet til en emissivitet på 0,96, der svarer til et gennemsnitsværdi for gængse byggematerialer. Øvrige indstillinger fremgår af Tabel 4, hvor ude- og indetemperaturer er registreret.

Pyrometer
Til overfladem̊alinger af temperatur er der i undersøgelsen anvendt TROTEC Laser pyrometer model BP25. Med apparatet foretages berøringsfri temperaturmålinger på overfladerne.

BP25 måler indenfor -50 ℃ – 260 ℃ med følgende usikkerheder:
-50 til 20 ℃: +/- 3,5 ℃, 20 til 260 ℃: +/- 1,5 ℃.

Det er tillige muligt at måle luftfugtighed mellem 0-100% RF med en usikkerhed på:
+/- 3,5% (i intervallet 20-80% RF).

Termo-/hygrometer
I forbindelse med undersøgelserne blev der anvendt TROTEC BC21 for måling af aktuelle temperaturer ude og inde.

BC21 måler indenfor -30 ℃ – 100 ℃ med følgende usikkerhed:
+/- 1 ℃.

Det er tillige muligt at måle luftfugtighed mellem 0-100% RF med en usikkerhed på:
+/- 2% (ved 25 ℃ og op til 95% RF)

[108] Poulin, H. L. et al., s. 21

Figur 38 - Anvendt måleudstyr. Fra venstre termograferingskamera Flir T250, lasertemometer TROTEC BP25 og længst mod højre termometer TROTEC BC21.

4.3.4 Analyser og programmer

Beregning af konstruktionernes varmeisoleringsevne er foretaget med U-værdiberegninger i Excel efter retningslinjerne i DS418[109], herunder overgangsisolanser jf. DS418, 6.2. Se tillige afsnittet om varmeteori side 25. Dertil er der foretaget simulering af kuldebroer med programmet HEAT2.

Fugtberegninger er dels foretaget efter Glasers metode og simulering med programmet WUFI Pro. Fremgangsmåden har været først at benytte det mest simple værktøj (Glaser), for derefter at undersøge kritiske forhold nærmere med WUFI Pro.

Varme- og fugtsimulering med Glaser og WUFI

Generelt bør man ikke anvende mere avancerede programmer, end opgaven kræver. Det er blot vigtigt at huske, at de simple programmer har deres begrænsninger, der skal tages højde for, når resultaterne vurderes.

Beregning af en konstruktions U-værdi er den mest simple beregning, og det er grundlaget for de øvrige beregninger og simuleringer. Indenfor fugtsimulering er Glasers beregningsmetode den mest simple. Første del af Glaser-beregningen beregner U-værdi samt temperaturfald for hvert materialelag, hvoraf der gives en indikation på den indvendige overfladetemperatur. Anden del beregner fugtforhold i overgangen mellem hvert af konstruktionens lag.

Glaser-metodens begrænsninger ligger bl.a. i:

- Stationær metode, hvor materialeparametre antages at være konstante
- Fordampning og kondensation, som har betydning for temperaturen, indgår ikke
- Forhold som slagregn, solindstråling og langbølget stråling indgår ikke
- Materialernes hygroskopiske egenskaber medtages ikke
- Beregningen omhandler kun vanddampdiffusion
- Metoden er 1-dimensional
- Beregningerne foretages for én måned af gangen
- Beregner på den sikre side, så kritiske niveauer bør undersøges nærmere i mere avancerede simuleringsprogrammer.

Mere avancerede simuleringer kan foretages med det dynamiske fugtsimuleringsprogram WUFI[110]. WUFI regner grundlæggende fugtdiffusion som Glasers metode. Dertil har WUFI følgende forcer ift. Glaser:

[109] Dansk Standard
[110] Forskningsinstituttet Frauenhofer, Tyskland

- Kan regne med fugtlagring i materialelag
- Medtager vejrforhold fra specifikke geografiske områder
- Regner ikke kun diffusion – også kapillartransport fra udefrakommende fugt, f.eks. i form af slagregn eller opstigende grundfugt
- Instationær beregning der tager hensyn til skiftende temperaturer og fugtforhold
- Giver mulighed for simulering af udtørringstid

WUFI fås i en 1D- og 2D-version. Til denne specialerapport er der anvendt WUFI Pro version 5.3 (1D), da konstruktionerne ikke er komplicerede.

Vejrdata for Lund i Sverige er benyttet, da WUFI ikke rummer danske vejrdata.

De undersøgte bygninger har ydervægge mod verdenshjørnerne nordvest, sydvest, sydøst og nordøst. Generelt er der taget udgangspunkt i retning mod sydvest, da det antages at være mest kritiske retning pga. risikoen for slagregn. Retning mod nord giver mindre udtørring, men i praksis har et beregningseksempel ikke vist den store forskel i udtørringen, hvis retningen blev ændret fra sydvest til nord.

Simuleringerne er generelt foretaget over 5 år for at opnå ens variationer over årene. Indstillingerne er vist i bilag B.6.1.

Kuldebrosanalyse med HEAT2

Overslagsmæssige overfladetemperaturer for enkelte normalkonstruktioner kan findes med simple beregningsværktøjer, der typisk er i 1D, så som beregninger efter Glasers metode. Hvis et mere nøjagtigt resultat ønskes, kan simuleringsprogrammet HEAT2[111] anvendes. Med HEAT2 kan flere normalkonstruktioner bygges sammen i en 2D-bygningsmodel, og der kan regnes detaljeret på temperaturfaldet gennem konstruktionen, som det er illustreret på Figur 39.

Figur 39 – Simpel illustration af 1D-beregning efter Glasers metode (t.v.). Metoden tager kun hensyn til én normalkonstruktion. 2D-beregning med HEAT2 (t.h.). Den ekstra dimension i HEAT2 kan regne med flerdimensionelle varmestrømme. For f.eks. en betonsøjle vil det betyde et større udeareal, der påvirkes af udetemperaturen. Temperaturforløbet i søjlen vil samtidig påvirke simuleringen i den tilstødende væg.

Ud fra resultaterne kan overfladetemperaturer samt risikoen for kondens og dermed skimmelvækst vurderes. I situationer hvor det kan være nødvendigt at beregne kuldebroer 3-dimensionelt bruges beregningsprogrammet HEAT3. Til denne specialerapport er anvendt HEAT2 version 9, der kunne lånes til studiebrug.

Indstillingerne i HEAT2 omfatter bl.a. materialedata i form af λ-værdier for de enkelte materialer samt randbetingelser for konstruktionerne i form af temperaturer og overgangsisolanser. Her er anvendt samme værdier som for Glasers metode. Indstillingerne er vist i bilag B.7.

[111] Blocon, Sverige

4.3.5 Temperatur- og fugtforhold

Data for fugtniveauer og temperaturforhold er hentet fra SBi 224[112], hvor gennemsnitlige værdier fremgår af Tabel 6.

Måned	Luft-tem-peratur	RF_{ude}	Inde-tem-peratur	Fugtbelastningsklassegrænser ved 20°C			
	TRY	TRY		% RF			
	°C	%	°C	1-2	2-3	3-4	4-5
januar	-0,6	94	20	35	46	58	69
februar	-1,1	91	20	35	46	58	69
marts	2,6	91	20	39	49	58	69
april	6,6	82	20	45	53	58	69
maj	10,6	78	20	50	56	60	69
juni	15,7	67	22	55	59	64	69
juli	16,4	74	23	59	62	66	69
august	16,7	71	23	61	64	66	69
september	13,7	85	22	58	62	65	69
oktober	9,2	87	20	51	57	63	69
november	5	91	20	45	53	61	69
december	1,6	88	20	38	49	59	69

Tabel 6[113] – Anvendte månedsgennemsnit for udvendige temperaturer og relativ fugtigheds-% iht. referenceåret TRY, samt gennemsnitlige indvendige temperaturer. Fugtbelastningsklassegrænserne (%RF) er i henhold til DS/EN ISO 13788.

Ud fra referencemålingerne i Tabel 6 er der to måneder, der er særligt interessante at undersøge. Fugtmæssigt skiller januar sig ud som mest fugtige måned med en middel-RF på 94%, mens februar skiller sig ud som den koldeste måned med en ude-middeltemperatur på -0,6 °C.

Hvor der er foretaget stationære beregninger (Glasers-metode) er der foretaget flere beregninger for forskellige måneder. For fugtforholdene er der primært set på resultaterne for januar måned, og for overfladetemperaturer er der primært set på februar måned. Da der i HEAT2 analyseres på temperaturer, er udetemperaturer for februar måned anvendt.

Hvor ikke andet er nævnt, er der i beregninger og simuleringer taget udgangspunkt i fugtbelastningsklasse 3, idet der beregnes for boliger med ukendt beboelsestæthed og ventilation, herunder lejeboliger som Grenhusene.

4.3.6 Anvendt materialedata

Hvor det har været muligt, er materialedata (λ-værdier og damppermeabilitet) for de eksisterende konstruktioner hentet fra historisk materiale så tæt på opførelsestidspunktet som muligt. Disse oplysninger er primært hentet fra "Regler for beregning af varmetab fra bygninger" af 1953[114]. Øvrige materialedata er hentet fra SBi-anvisning 224[115] samt datablade fra producenter.

[112] Brandt, E. et al.
[113] Brandt, E. et al., s. 66
[114] Peschardt-Hansen, H. et al.
[115] Brandt, E, et al.

Isoleringsværdien af ældre mineraluld kan diskuteres. Så længe isoleringslaget er homogent kan der regnes med værdier fra datidens lister over materialedata. Sandheden er dog, at isoleringsmåtterne i de fleste tilfælde ikke er lagt tæt sammen på opførelsestidspunktet, eller at det senere er faldet noget sammen. Den reelle isoleringsværdi må derfor påregnes at være ringere end det listerne over materialedata foreskriver. Erfaringsmæssigt gik der mange år, før håndværkerne lærte at isolere korrekt, så selvom den praktiske varmeledningsevne for isoleringsmaterialer kan findes ved opslag – f.eks. glasuldsmåtte i papir (1953), 70 kg/m³, λ-værdi: 0,042 W/mK[116] – så vil det være mere korrekt, at regne med en λ-værdi på 0,05 W/mK[117]. Tykkelserne af de ældre isoleringsmåtter indsyet i papir eller stof, kan også variere meget, som omtalt på side 14. Isoleringstykkelse angivet som 4 cm kan derfor reelt være alt fra 0 - 4 cm, tyndest i syningerne.

U-værdi for mineraluld i den oprindelige konstruktion er derfor markeret med * i Tabel 7. Ud over ovenstående forbehold, så er isoleringslaget reelt et inhomogent materialelag, da det består af en træskeletkonstruktion med isoleringsmåtter mellem træstolper. Da værdien i forvejen er korrigeret er der valgt ikke at korrigere for flere ting. Der regnes derfor med en samlet λ-værdi på 0,05 W/mK.

Af Tabel 7 fremgår materialedata, der er anvendt i beregninger og simuleringer for eksisterende konstruktioner i denne specialerapport, inkl. tidligere renoveringer.

Materiale	**Isolans** m²K/W	**Varme-ledningsevne** W/mK	**Dampper-meabilitet** kg/m s Pa
Beton (1950'erne)	-	2,12	$0{,}002 \times 10^{-9}$
Gasbeton (nye plader)	-	0,17	$0{,}067 \times 10^{-9}$
Gipsplade (Gipsonit)	-	0,26	$0{,}026 \times 10^{-9}$
Hulrum, svagt vent.	0,09	-	$0{,}2 \times 10^{-9}$
Mineraluld (1950'erne)*	-	0,050	$0{,}2 \times 10^{-9}$
Mineraluld, kl. 37	-	0,037	$0{,}2 \times 10^{-9}$
Polystyren (EPS), kl. 38	-	0,038	$0{,}004 \times 10^{-9}$
Træbeklæd., nåletræ	-	0,15	$0{,}002 \times 10^{-9}$

Tabel 7 – Anvendte materialedata i specialerapportens beregninger og simuleringer.

Hulrum mellem betonelementer og den isolerede konstruktion
Den eksisterende konstruktion indeholder et hulrum mellem de yderste betonelementer og den isolerede konstruktion ind mod boligen. Der er ikke direkte projekteret lufttilførsel til dette hulrum, men beregningsmæssigt antages det at være svagt ventileret.

[116] Peschardt-Hansen, H. et al., s. 23
[117] Rockwool A/S

For beregninger af U-værdier på konstruktionerne er der taget udgangspunkt i Dansk Standards forskrifter (DS418, 6.4.2), hvor isolansen for svagt ventilerede hulrum er beskrevet som den halve værdi af et ikke-ventileret hulrum (DS418, tabel 6.4.1).

For simulering i WUFI er luftskiftet i hulrummet erfaringsmæssigt antaget til 10 1/h med udeluften.

4.4 Resultater

I dette kapitel præsenteres væsentlige resultater fra undersøgelsen af case-byggeriet Yderligere beregninger og simuleringer findes i bilagsrapporten. Plantegninger af de undersøgte boliger med loggerplaceringer og steder for overflademålinger ses af bilag B.2.3.

Ved besigtigelsen kunne det konstateres, at der ikke er varmekilder i køkken og grovkøkken. Øvrige rum har radiatorer – ingen rum har gulvvarme.

4.4.1 Logning af fugt og temperatur

Data fra logningerne i 4 boliger + en udendørsreference er samlet på grafer for samme rumtyper, og resultaterne findes i bilag B.3. Resultaterne er behandlet i afsnit 4.4.2.

4.4.2 Fugtbelastning og kritiske overfladetemperaturer

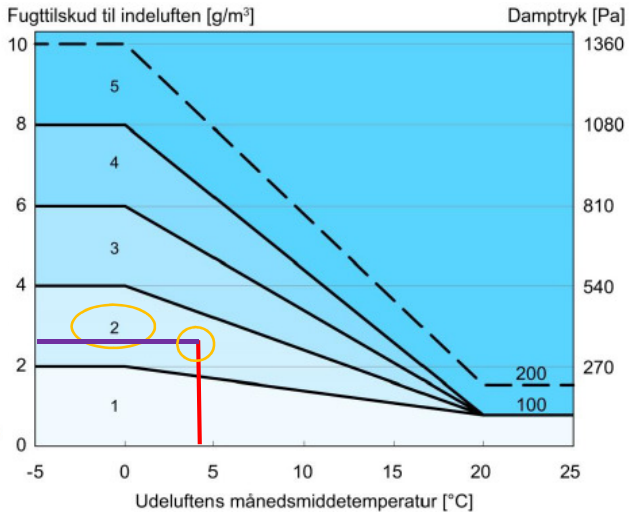
Ud fra logningerne er boligernes fugtbelastningsklasse fastlagt efter principperne vist på Figur 40. Eksemplet er valgt ud fra bolig og rum med laveste gennemsnitlige rumtemperatur i måleperioden og høje RF-målinger = grovkøkken i Bolig 2 (data i bilag B.3.2).

Grovkøkken, Bolig 2

	Inde	Situation 2
Temperatur	16,8 °C	4,4 °C
Max fugt (g/m^3)	14,3	6,5334
RF	54,1 %	81,4 %
Absolut fugt	7,74	5,32
Fugttilførsel		**2,42**

Inde = Loggermålinger, gennemsnit 11/2 til 30/3 2016

Situation 2 = beregnet ud fra udemålinger, gennemsnit 11/2 til 30/3 2016



Figur 40 – Eksempel på udregning af fugttilførsel ud fra gennemsnitlig temperatur og relativ fugtighed i en af boligerne og samtidig udereference (t.v.). Udregnet fugttilførsel indplaceres i grafen med grænseværdier (t.h.)[118], hvorefter fugtbelastningsklasse kan konkluderes. I dette tilfælde ligger målingen i fugtbelastningsklasse 2.

[118] Brandt, E., s. 65

Kritiske overfladetemperaturer i boligen (side 31) kan beregnes efter data vist på Figur 40 for gennemsnitlig temperatur og %RF i rummet. Som eksempel tages igen udgangspunkt i grovkøkkenet i Bolig 2:

- Gennemsnitligt måltes 16,8 °C og 54,1% RF i logningsperioden.
- RF% x mætningsdamptryk = aktuelt damptryk =>
  0,541 x 1.913 Pa = 1.035 Pa

- Dermed kan $RF_{kritisk}$ beregnes (75% RF)
  1.035 Pa / 0,75 = 1.380 Pa
- Det kritiske damptryk slås op i damptrykstabellen, SBi-anvisning 224[121]. Ved at interpolere i tabellen fås, at den kritiske overfladetemperatur = 11,76 °C.

- Kondens på overfladen slås op i damptrykstabellen (1.035 Pa). Ved at interpolere i tabellen fås, at kondens på overfladen = 7,46 °C

Samtlige loggerdata for grovkøkken og soveværelse i de udvalgte boliger er behandlet ved brug af Excel. Ved at indlæse alle målerdata i et regneark, hvor data fra damptrykstabel og fugtbelastningsklassegrænser er indtastet, kunne data behandles efter principperne vist på Figur 40 og i ovenstående beregning.

Resultaterne ses af Tabel 8 til Tabel 11 (bilag B.3.6), hvor bolig og rum er markeret med lilla, overfladetemperatur er markeret med hhv. rød for dugpunkt (100% RF) og gul for kritisk (75% RF). Fugtbelastningsklasserne er fordelt efter %-andel, markeret med lyseblå, og den gennemsnitlige fugtbelastningsklasse er markeret med mørkeblå.

Indeforhold:	**Bolig 1 - Grovkøkken**		Temp. max.:	28,2 °C	RF max.:	51,7 %RH	Dugpkt. max:	14,3 °C	Kritisk 75%, max:	18,8 °C	Fugtklasse 1:	18%	Fugtklasse 4:	4%
Antal målinger:	2350	logninger	Temp. minimum:	21,1 °C	RF min.:	22,7 %RH	Dugpkt. min.:	0,7 °C	Kritisk 75%, min.:	4,8 °C	Fugtklasse 2:	56%	Fugtklasse 5:	4%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	23,8 °C	RF gen.:	35,8 %RH	Dugpkt. gen.:	7,6 °C	Kritisk 75%, gen.:	11,9 °C	Fugtklasse 3:	16%	Fugtklasse, gen.:	2
Indeforhold:	**Bolig 1 - Soveværelse**		Temp. max.:	23,9 °C	RF max.:	50,1 %RH	Dugpkt. max:	10,8 °C	Kritisk 75%, max:	15,2 °C	Fugtklasse 1:	28%	Fugtklasse 4:	1%
Antal målinger:	2349	logninger	Temp. minimum:	18,3 °C	RF min.:	29,6 %RH	Dugpkt. min.:	1,6 °C	Kritisk 75%, min.:	5,7 °C	Fugtklasse 2:	60%	Fugtklasse 5:	1%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	21,2 °C	RF gen.:	39,2 %RH	Dugpkt. gen.:	6,7 °C	Kritisk 75%, gen.:	11,0 °C	Fugtklasse 3:	8%	Fugtklasse, gen.:	2

Tabel 8 - Resultater fra logninger i Bolig 1.

Indeforhold:	**Bolig 2 - Grovkøkken**		Temp. max.:	23,4 °C	RF max.:	99,8 %RH	Dugpkt. max:	18,3 °C	Kritisk 75%, max:	23,0 °C	Fugtklasse 1:	20%	Fugtklasse 4:	4%
Antal målinger:	2350	logninger	Temp. minimum:	10,4 °C	RF min.:	35,2 %RH	Dugpkt. min.:	-0,3 °C	Kritisk 75%, min.:	3,7 °C	Fugtklasse 2:	48%	Fugtklasse 5:	3%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	16,8 °C	RF gen.:	54,1 %RH	Dugpkt. gen.:	7,4 °C	Kritisk 75%, gen.:	11,7 °C	Fugtklasse 3:	22%	Fugtklasse, gen.:	2
Indeforhold:	**Bolig 2 - Soveværelse**		Temp. max.:	26,1 °C	RF max.:	47,9 %RH	Dugpkt. max:	12,3 °C	Kritisk 75%, max:	16,8 °C	Fugtklasse 1:	10%	Fugtklasse 4:	2%
Antal målinger:	2349	logninger	Temp. minimum:	18,3 °C	RF min.:	27,2 %RH	Dugpkt. min.:	-0,1 °C	Kritisk 75%, min.:	3,9 °C	Fugtklasse 2:	45%	Fugtklasse 5:	3%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	23,4 °C	RF gen.:	38,8 %RH	Dugpkt. gen.:	8,5 °C	Kritisk 75%, gen.:	12,9 °C	Fugtklasse 3:	38%	Fugtklasse, gen.:	2

Tabel 9 - Resultater fra logninger i Bolig 2.

Indeforhold:	**Bolig 3 - Grovkøkken**		Temp. max.:	23,4 °C	RF max.:	69,0 %RH	Dugpkt. max:	14,3 °C	Kritisk 75%, max:	18,9 °C	Fugtklasse 1:	25%	Fugtklasse 4:	4%
Antal målinger:	2350	logninger	Temp. minimum:	15,1 °C	RF min.:	26,7 %RH	Dugpkt. min.:	-0,3 °C	Kritisk 75%, min.:	3,7 °C	Fugtklasse 2:	47%	Fugtklasse 5:	2%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	20,2 °C	RF gen.:	43,1 %RH	Dugpkt. gen.:	7,2 °C	Kritisk 75%, gen.:	11,4 °C	Fugtklasse 3:	19%	Fugtklasse, gen.:	2
Indeforhold:	**Bolig 3 - Soveværelse**		Temp. max.:	26,9 °C	RF max.:	48,2 %RH	Dugpkt. max:	11,5 °C	Kritisk 75%, max:	15,9 °C	Fugtklasse 1:	30%	Fugtklasse 4:	2%
Antal målinger:	2349	logninger	Temp. minimum:	18,0 °C	RF min.:	26,3 %RH	Dugpkt. min.:	1,1 °C	Kritisk 75%, min.:	5,2 °C	Fugtklasse 2:	51%	Fugtklasse 5:	1%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	22,9 °C	RF gen.:	35,9 %RH	Dugpkt. gen.:	6,9 °C	Kritisk 75%, gen.:	11,2 °C	Fugtklasse 3:	13%	Fugtklasse, gen.:	2

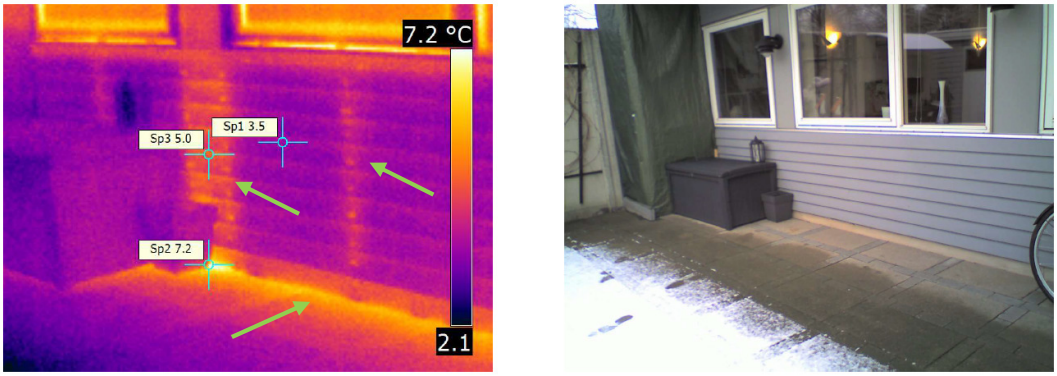
Tabel 10 - Resultater fra logninger i Bolig 3.

Indeforhold:	**Bolig 4 - Grovkøkken**		Temp. max.:	26,5 °C	RF max.:	45,0 %RH	Dugpkt. max:	10,7 °C	Kritisk 75%, max:	15,1 °C	Fugtklasse 1:	45%	Fugtklasse 4:	0%
Antal målinger:	2350	logninger	Temp. minimum:	20,7 °C	RF min.:	22,5 %RH	Dugpkt. min.:	1,2 °C	Kritisk 75%, min.:	5,3 °C	Fugtklasse 2:	49%	Fugtklasse 5:	0%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	22,8 °C	RF gen.:	33,9 %RH	Dugpkt. gen.:	6,0 °C	Kritisk 75%, gen.:	10,2 °C	Fugtklasse 3:	3%	Fugtklasse, gen.:	1
Indeforhold:	**Bolig 4 - Soveværelse**		Temp. max.:	26,3 °C	RF max.:	43,8 %RH	Dugpkt. max:	11,1 °C	Kritisk 75%, max:	15,5 °C	Fugtklasse 1:	57%	Fugtklasse 4:	0%
Antal målinger:	2349	logninger	Temp. minimum:	22,2 °C	RF min.:	22,1 %RH	Dugpkt. min.:	1,1 °C	Kritisk 75%, min.:	5,2 °C	Fugtklasse 2:	36%	Fugtklasse 5:	0%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	23,5 °C	RF gen.:	31,3 %RH	Dugpkt. gen.:	5,5 °C	Kritisk 75%, gen.:	9,7 °C	Fugtklasse 3:	3%	Fugtklasse, gen.:	1

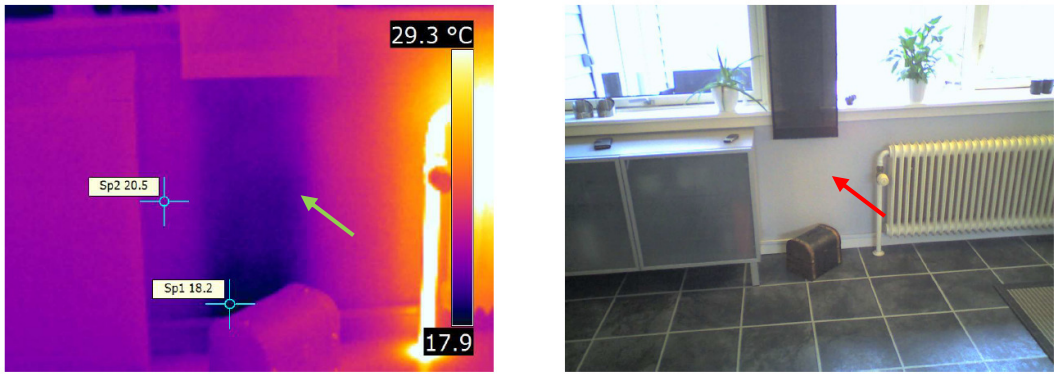
Tabel 11 - Resultater fra logninger i Bolig 4.

4.4.3 Resultater ved besigtigelse – Termografering

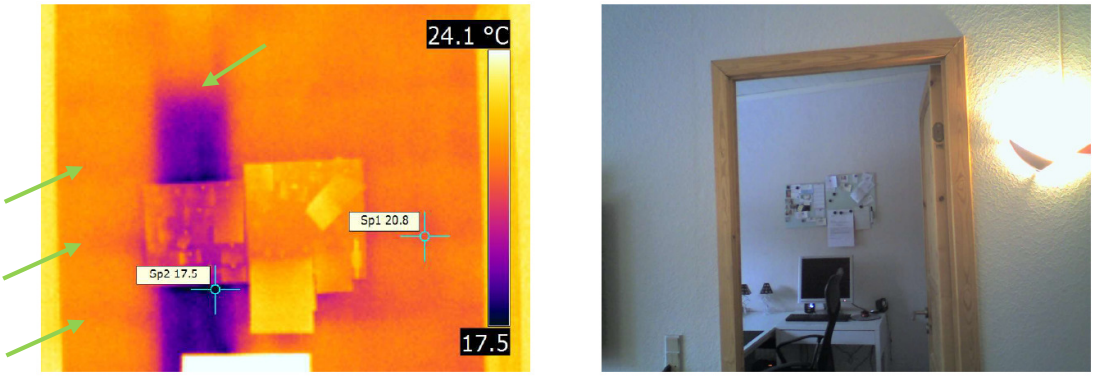
I to udvalgte boliger blev der i forbindelse med besigtigelsen foretaget en bygningstermografisk undersøgelse. En samlet termograferingsrapport findes som bilag B.4. De væsentligste resultater er medtaget herunder.



Figur 41 – Ved de efterisolerede vægge mod gårdhaverne ses tydelige kuldebroer ved betonsøjler, træskelet og ikke mindst langs bygningens sokkel (grønne pile) [Bolig 1, termografirapport side 3].

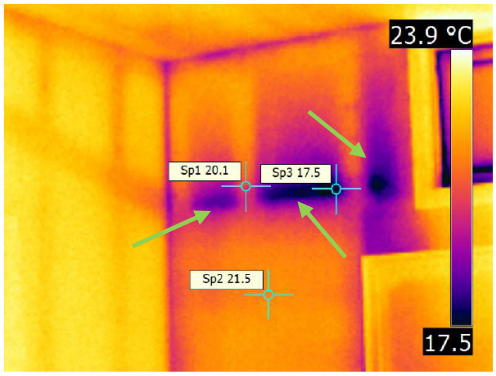


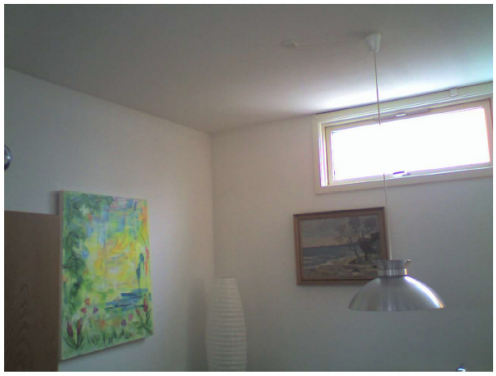
Figur 42 – Selvom væggen er efterisoleret udvendigt ved gårdhaverne ses stadig variationer i overfladetemperaturen på indersiden (betonsøjle grøn/rød pil) [Bolig 1, termografirapport side 4].



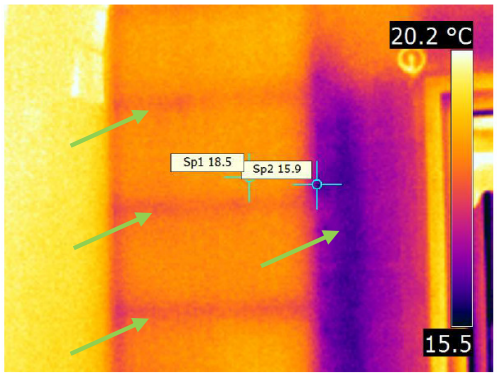
Figur 43 – Ved ydervægge med oprindelig isolering ses konstruktionsopbygningen tydeligt pga. temperaturforskellene. Det ses, hvor betonsøjlerne stopper, og fugerne mellem betonelementerne træder også frem som mindre kuldebroer (grønne pile) [Bolig 1, termografirapport side 7].

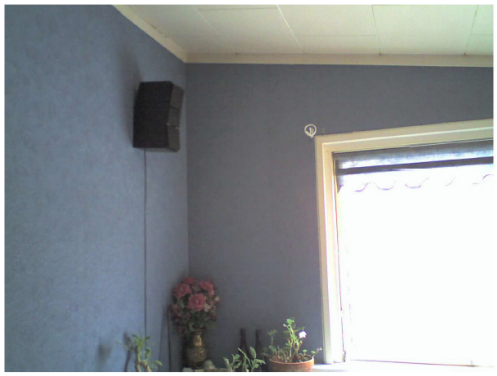
Figur 44 – Bygningernes varmetab ses tydeligt udefra, selvom ydervægskonstruktionerne har svagt ventileret hulrum, der kan snyde på termografering [Bolig 1, termografirapport side 13].



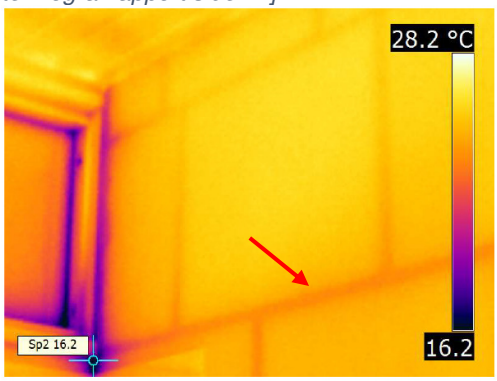


Figur 45 – Flere steder kan der konstateres områder, hvor der mangler isoleringsmateriale (grønne pile) [Bolig 5, termografirapport side 18].





Figur 46 – Område med mangelfuld isolering. Konstruktionsopbygningen ses tydeligt, da betonsøjle og fuger mellem yderste betonelementer danner kuldebroer (grønne pile) [Bolig 5, termografirapport side 21].



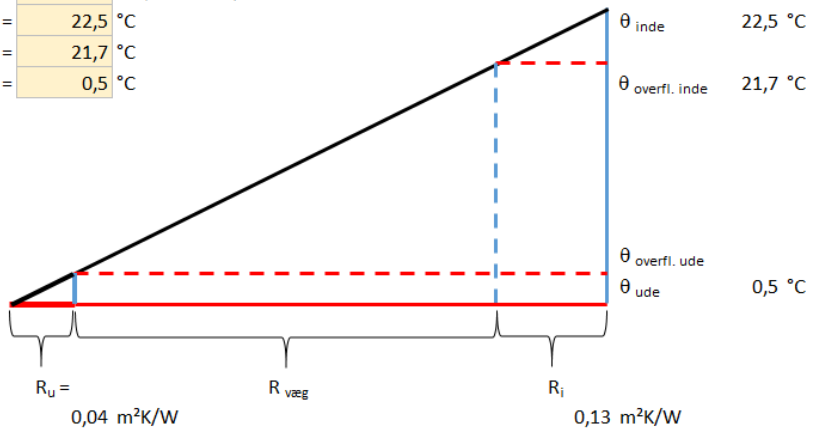
Figur 47 – Badeværelsernes nye konstruktionsopbygning bekræftes, da fugerne mellem de indvendige gasbetonblokke isolerer ringere end selve blokkene (rød pil) [Bolig 5, termografirapport side 22].

4.4.4 Resultater ved besigtigelse – Overflademålinger

I de undersøgte boliger blev der i udvalgte rum foretaget overflademålinger med pyrometer for undersøgelse af ydervæggenes varmeisoleringsniveau. Resultaterne af udvalgte målinger fremgår af Figur 48 og Figur 49.

Konstruktion beregnet: Grenhusene - Ydervæg med betonelement

Konstruktion:	Vandret	R_i =	0,13 m²K/W
θ_{inde} =	22,5 °C		
$\theta_{overfl.\ inde}$ =	21,7 °C		
θ_{ude} =	0,5 °C		

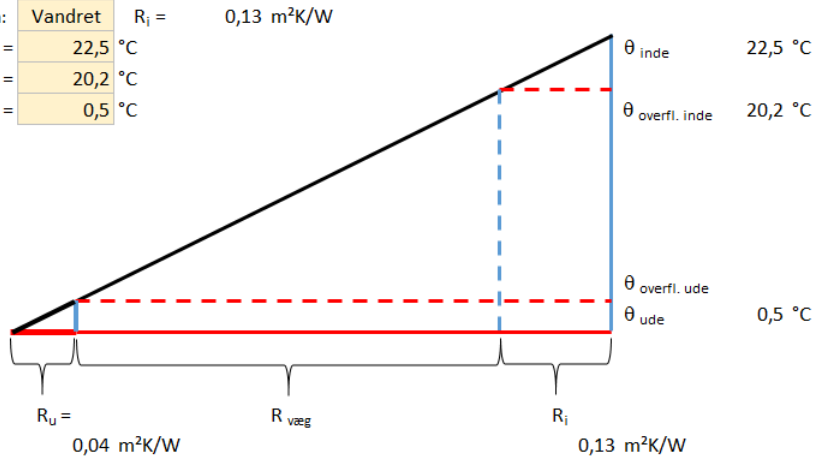


$$\frac{\theta_{inde} - \theta_{ude}}{R_{tot}} = \frac{\theta_{inde} - \theta_{overfl.\ inde}}{R_i}, \text{ hvor } R_{tot} = R_i + R_u + R_{konstr.}$$

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{\theta_{inde} - \theta_{overfl.\ inde}}{R_i \times (q_{inde} - q_{ude})} \qquad U = \mathbf{0,28\ W/m^2K}$$

Konstruktion beregnet: Grenhusene - Ydervæg med betonsøjle

Konstruktion:	Vandret	R_i =	0,13 m²K/W
θ_{inde} =	22,5 °C		
$\theta_{overfl.\ inde}$ =	20,2 °C		
θ_{ude} =	0,5 °C		



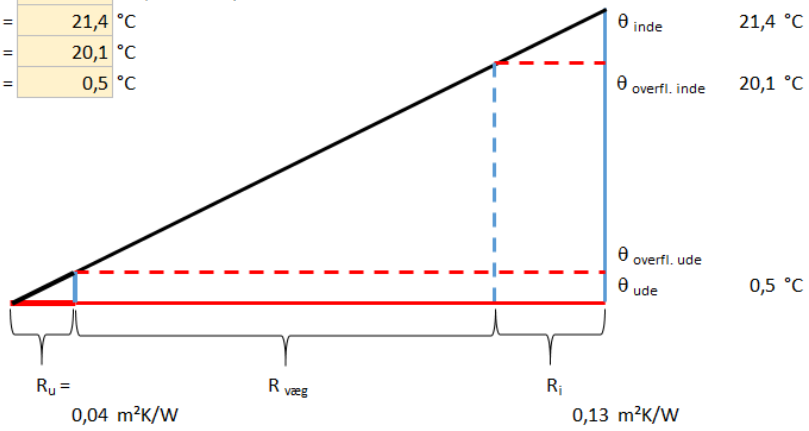
$$\frac{\theta_{inde} - \theta_{ude}}{R_{tot}} = \frac{\theta_{inde} - \theta_{overfl.\ inde}}{R_i}, \text{ hvor } R_{tot} = R_i + R_u + R_{konstr.}$$

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{\theta_{inde} - \theta_{overfl.\ inde}}{R_i \times (q_{inde} - q_{ude})} \qquad U = \mathbf{0,80\ W/m^2K}$$

Figur 48 – Resultat af overflademåling og beregning på ydervæg i stuen hhv. ud for betonsøjle (øverst) og på væggen ved siden af (nederst), Bolig 1.

Konstruktion beregnet: Grenhusene - Ydervæg med betonelement (temp. logger i soveværelse)

Konstruktion:	Vandret	R_i =	0,13 m²K/W
q_{inde} =	21,4	°C	
$q_{overfl.\ inde}$ =	20,1	°C	
q_{ude} =	0,5	°C	



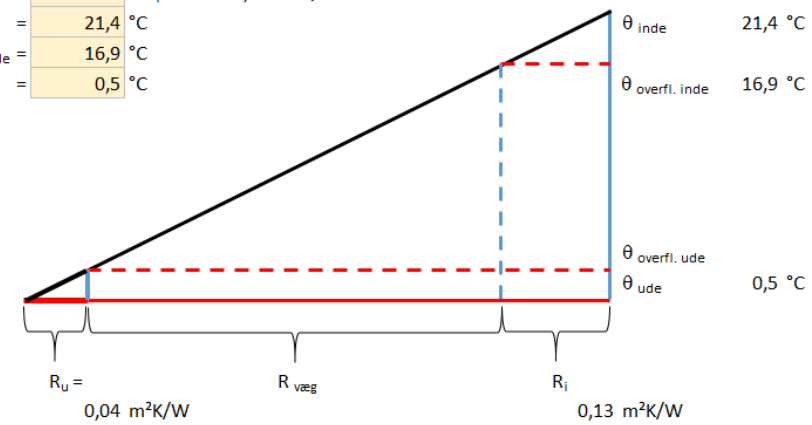
$$\frac{\theta_{inde} - \theta_{ude}}{R_{tot}} = \frac{\theta_{inde} - \theta_{overfl.\ inde}}{R_i}, \text{ hvor } R_{tot} = R_i + R_u + R_{konstr.}$$

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{\theta_{inde} - \theta_{overfl.\ inde}}{R_i \times (q_{inde} - q_{ude})}$$

U = 0,48 W/m²K

Konstruktion beregnet: Grenhusene - Ydervæg med betonsøjle (temp. logger i soveværelse)

Konstruktion:	Vandret	R_i =	0,13 m²K/W
q_{inde} =	21,4	°C	
$q_{overfl.\ inde}$ =	16,9	°C	
q_{ude} =	0,5	°C	



$$\frac{\theta_{inde} - \theta_{ude}}{R_{tot}} = \frac{\theta_{inde} - \theta_{overfl.\ inde}}{R_i}, \text{ hvor } R_{tot} = R_i + R_u + R_{konstr.}$$

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{\theta_{inde} - \theta_{overfl.\ inde}}{R_i \times (q_{inde} - q_{ude})}$$

U = 1,66 W/m²K

Figur 49 – Resultat af overfladeмåling og beregning på ydervæg i soveværelse hhv. ud for betonsøjle (nederst) og på væggen ved siden af (øverst), Bolig 1. Indetemperatur er her taget fra loggermåling samme tid og sted.

4.4.5 Varmeisoleringsniveau og fugtberegninger efter Glasers-metode

Resultaterne af beregning efter Glasers metode er vedlagt som bilag B.5.1). Resultaterne af udvalgte beregninger findes i Figur 50 til Figur 53.

06-05-2016 Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer (eksist.)

Beregning for: 01 - Januar | Overgangsisolans: 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætningsdamptryk p_m Pa	Damppermeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusionsmodstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,73	-0,6	581,0				546,1	94
					0,1	616,3				546,1	89
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,040	2,12	0,02	0,34	0,5	631,9	2,00E-12	2,00E+10	85,76		
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,040	-	0,09	1,64						631,9	100
					2,1	711,2	2,00E-10	2,00E+08	184,07	711,2	100
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	14,60	16,7	1902,0	2,00E-10	2,00E+08	184,07		
										895,3	47
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,91	17,6	2015,0	2,60E-11	5,00E+08	460,17		
										1.355,4	67
Indvendig overgangsisolans			0,13	2,37	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	1,13	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	2,09E+10	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,886** W/m²K *0,89*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

$ΣZ_v$ = 2,00E+10 $Δp_v$ = 85,8
$ΣZ_i$ = 7,00E+08 $Δp_i$ = 644,2

Figur 50 – Resultat af korrigeret Glaser-beregning for eksist. ydervæg med betonelementer.

29-04-2016 Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg udfor betonsøjle (eksist.)

Beregning for: 01 - Januar | Overgangsisolans: 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætningsdamptryk p_m Pa	Damppermeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusionsmodstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	2,62	-0,6	581,0				546,1	94
					2,0	706,4				546,1	77
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	6,18	8,2	1087,2	2,00E-12	1,00E+11	541,05		
										1.087,2	100
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	3,28	11,5	1354,5	2,60E-11	5,00E+08	0,92		
										1.354,5	100
Indvendig overgangsisolans			0,13	8,52	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	0,31	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	1,01E+11	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **3,181** W/m²K *3,18*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

$ΣZ_v$ = 1,00E+11 $Δp_v$ = 541,1
$ΣZ_i$ = 5,00E+08 $Δp_i$ = 0,9

Figur 51 - Resultat af korrigeret Glaser-beregning for eksist. ydervæg ud for betonsøjle.

20-04-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg udfor betonsøjle (eksist.)

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisolan: 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 2-3

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætningsdamptryk p_m Pa	Damppermeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusionsmodstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	2,62	-0,6	581,0				546,1	94
					2,0	706,4				546,1	77
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,200	2,12	0,09	6,18			2,00E-12	1,00E+11	526,24		
					8,2	1087,2				1.072,4	99
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	3,28			2,60E-11	5,00E+08	2,63		
					11,5	1354,5				1.075,0	79
Indvendig overgangsisolans			0,13	8,52	20,0	2337,0				1.075,0	46
		ΣR =	0,31	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	1,01E+11	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	528,9	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	3,181	W/m²K	3,18
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 52 - Resultat af Glaser-beregning for eksist. ydervæg ud for betonsøjle, hvor fugtbelastningsklassen er sat ned til fugtbelastningsklasse 2.

06-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med træbeklædning (eksist.)

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisolan: 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

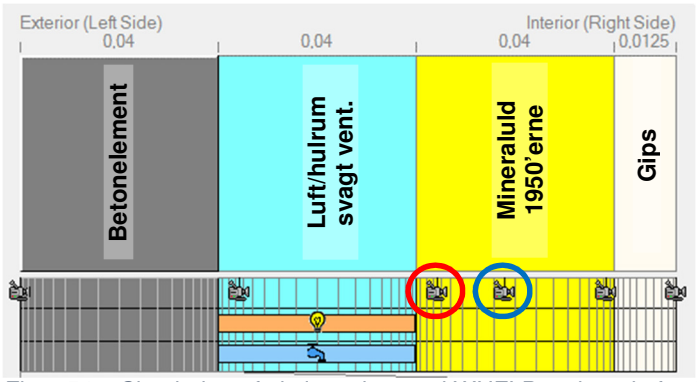
Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætningsdamptryk p_m Pa	Damppermeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusionsmodstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,65	-0,6	581,0				546,1	94
					0,0	612,5				546,1	89
Træbeklædning, nåletræ (ventileret)	0,025	0,15	0,17	2,69			2,00E-12	1,25E+10	197,11		
					2,7	743,2				743,2	100
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,060	-	0,09	1,45			2,00E-10	3,00E+08	227,93		
					4,2	823,6				823,6	100
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	12,91			2,00E-10	2,00E+08	151,95		
					17,1	1948,4				975,6	50
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,81			2,60E-11	5,00E+08	379,88		
					17,9	2050,2				1.355,4	66
Indvendig overgangsisolans			0,13	2,10	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	1,28	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	1,35E+10	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,783	W/m²K	0,78
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

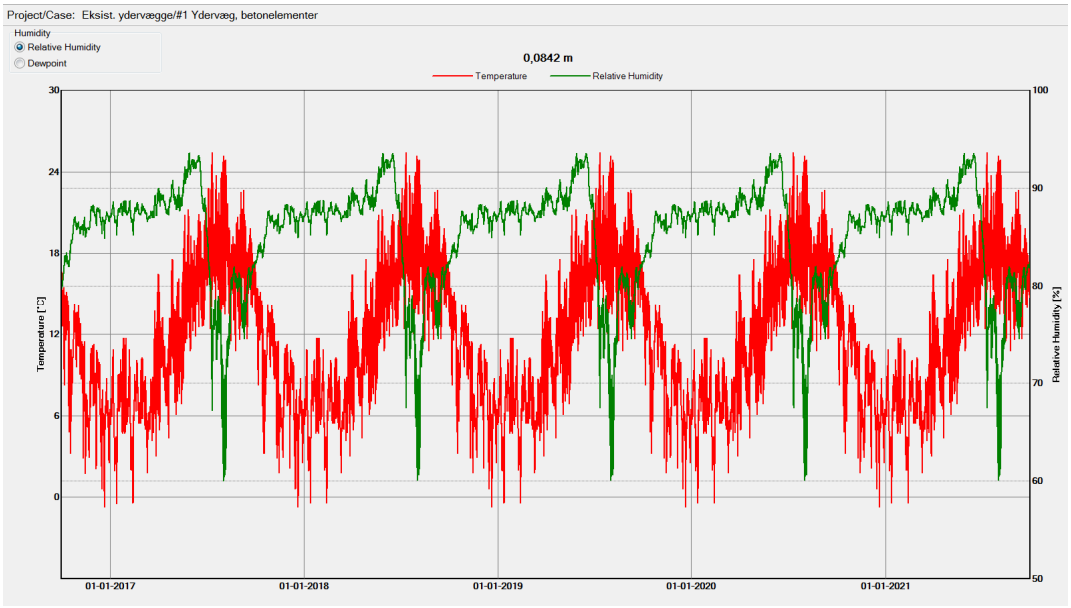
$ΣZ_u$ =	1,25E+10	$Δp_u$ =	197,1
$ΣZ_i$ =	7,00E+08	$Δp_i$ =	531,8

Figur 53 - Resultat af korrigeret Glaser-beregning for eksist. ydervæg med bræddebeklædning.

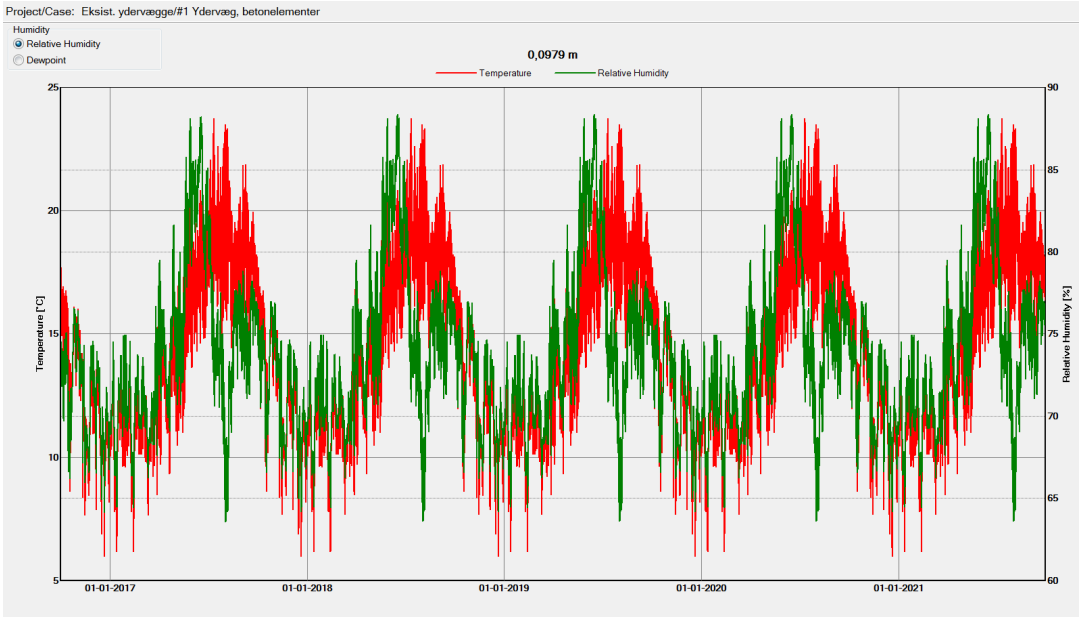
4.4.6 Fugtsimuleringer i WUFI



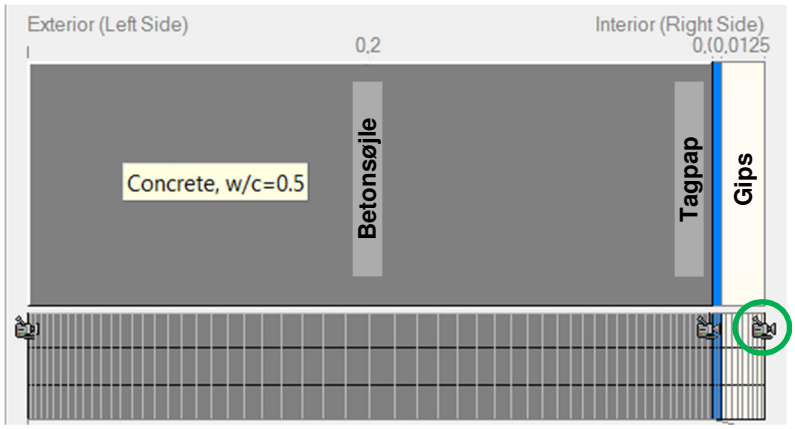
Figur 54 – Simulering af eksist. ydervæg i WUFI Pro viser de forskellige materialelag (bilag B.6.2). Kameraplaceringer med ring omkring er simuleringer vist i dette afsnit.



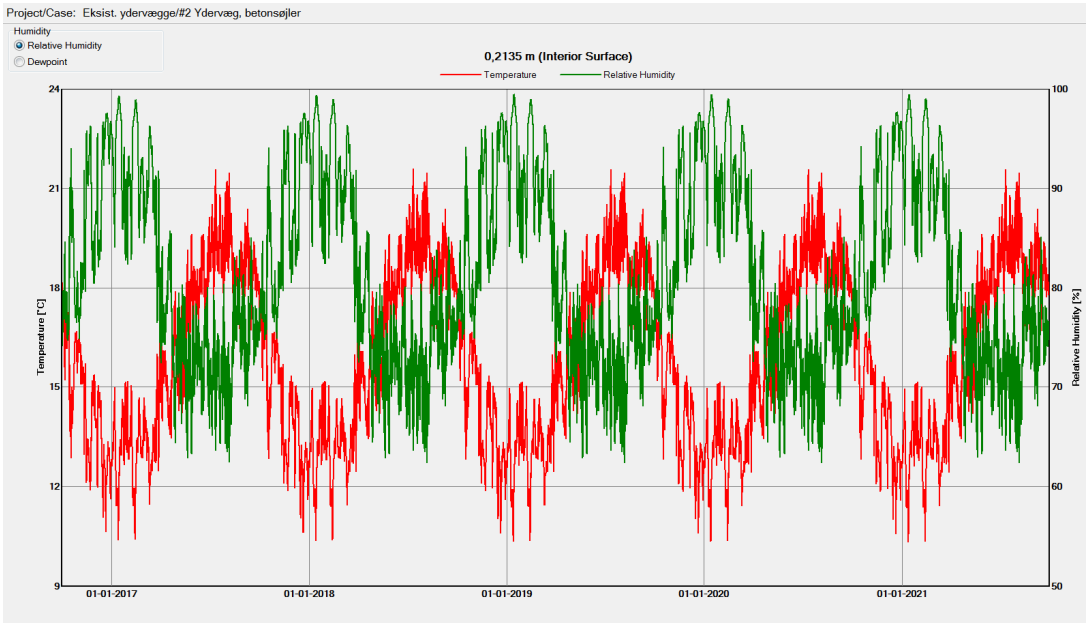
Figur 55 – Resultat af simulering i yderste del af eksisterende isoleringslag i ydervægskonstruktion med udvendige betonelementer (rød markering på).



Figur 56 - Resultat af simulering i midterste del af eksisterende isoleringslag i ydervægskonstruktion med udvendige betonelementer (blå markering på).

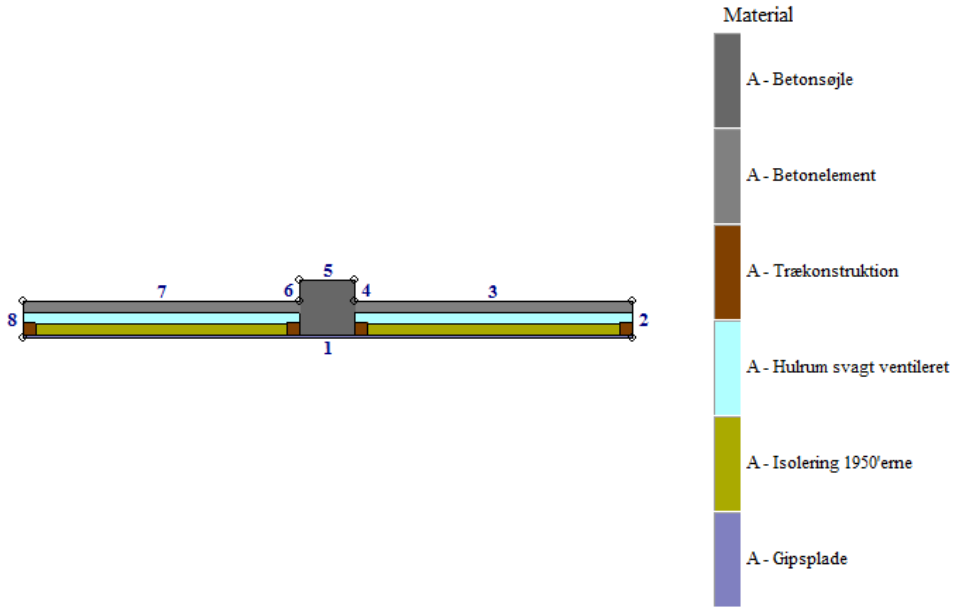


Figur 57 – Simulering af eksisterende ydervæg ud for betonsøjle i WUFI Pro viser de forskellige materialelag. Kameraplaceringer med ring omkring er simuleringer vist i dette afsnit (bilag B.6.2).

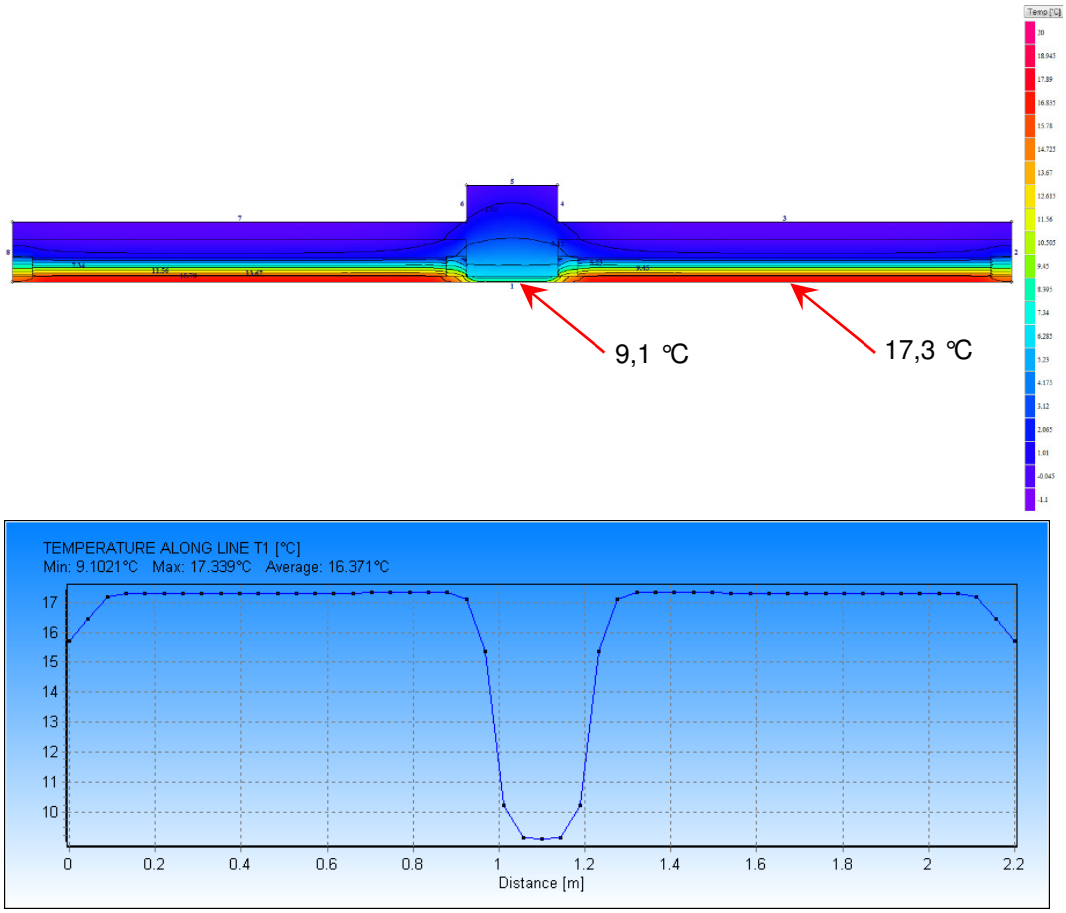


Figur 58 - Resultat af simulering ved indvendig overflade i ydervægskonstruktion udfor betonsøjle (grøn markering på Figur 57).

4.4.7 Simulering af varmeisolering og kuldebroer i HEAT2



Figur 59 - Opbygning af model af eksist. ydervæg i HEAT2 (bilag B.7.1).



Figur 60 – Resultat af varmestrømme i eksist. ydervæg simuleret i HEAT2. De 2 røde pile viser spottemperatur ud for hhv. betonsøjle og væggen med betonelementer. Skemaet nederst viser temperaturforløbet langs hele ydervæggens indvendige side.

4.5 Vurdering af eksisterende forhold

I dette afsnit foretages en foreløbig vurdering af de eksisterende forhold i bebyggelsen, som en deldiskussion. Den endelige diskussion og konklusion i kapitel 6.1.

4.5.1 Overfladetemperaturer på ydervæggene

I Tabel 12 ses beregnede overfladetemperaturer ud fra de registrerede konstruktioner.

Isoleringsmængde:		**Overfladetemp. Glaser:**		**Overfladetemp. HEAT2:**		**Temp. variation:**
Ydervæg:	**Betonsøjle:**	**Ydervæg:**	**Betonsøjle:**	**Ydervæg:**	**Betonsøjle:**	**(Markeret):**
~ 40 mm	0 mm	17,6 °C	11,5 °C	**17,3 °C**	**9,1 °C**	8,2 °C

Tabel 12 - Resultater af eksisterende konstruktioners indvendige overfladetemperaturer. Temperaturer fra HEAT2-simulering er anvendt til beregning af variation.

Med udgangspunkt i de kritiske overfladetemperaturer (Figur 17, side 31) kan det konstateres, at selve vægoverfladen ikke har risikofyldte overfladetemperaturer. I fugtbelastningsklasse 3, der normalt anvendes for boliger af denne type, ligger risikoen for skimmelvækst < 15,9 °C.

Ud for betonsøjlerne ses derimod stor risiko. Her er temperaturen så lav, at der er risiko for kondens på vægoverfladen selv i fugtbelastningsklasse 2, der er en kategori lavere end normalt anvendt for lignende boliger. Risiko for skimmelvækst i den laveste fugtbelastningsklasse 1 ligger på 8,2 °C. Resultatet her viser, at temperaturen ved søjlerne ligger meget tæt på denne temperatur.

Samtidig viser temperaturvariationen mellem overfladetemperaturen for betonsøjlerne og på væggen ved siden af, at der er risiko for sortsværtning (omtalt side 26).

4.5.1 Grenhusenes isoleringsniveau

Undersøgelserne i den eksisterende bebyggelse afslørede meget lave isoleringsniveauer set i forhold til i dag, mange kuldebroer og overfladetemperaturer på kritiske niveauer. Forhold der bekræftedes ved bygningstermograferingen (afsnit 4.4.3).

I Tabel 13 er der set på ydervæggenes varmeisolering ift. kravet ved statsstøtte (gældende på opførelsestidspunktet), beregnet værdi ud fra registrering af opbygning samt registrerede målinger af overfladetemperaturer (beregninger i bilag B.5.1)

Konstruktionsdel:	Statsstøtte-krav[119]:	Beregnet:	Registreret:
Ydervæg (betonelementer og –søjler) oprindelig	1,18 W/m² K	1,09 W/m² K	0,58 W/m² K
Ydervæg (betonelementer og –søjler) efterisoleret, stue	-	0,32 W/m² K	0,33 W/m² K

Tabel 13 - Skema over krav og beregnede U-værdier på eksist. ydervæg.

For den oprindelige ydervæg ser beregningen ud til at overholde kravet, så bebyggelsen er konstrueret i forhold til gældende krav. Overflademålingerne afviger meget fra de beregnede værdier, og der kan næppe kalkuleres med, at de oprindelige konstruktioner er så godt varmeisoleret, som det her er målt.

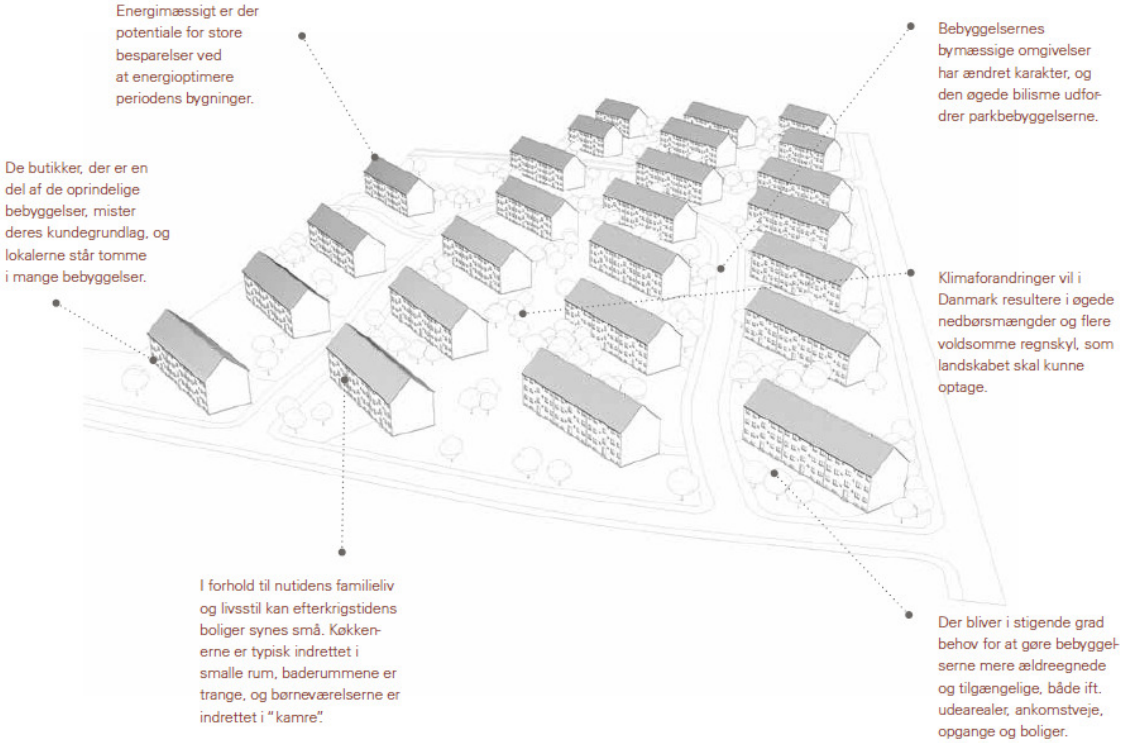
For den efterisolerede konstruktion ved havefacaden rammer beregnet og målt temperatur indenfor en rimelig afvigelse. Der kan derfor bedre regnes med, at den samlede vægkonstruktions U-værdi ligger lige under kravet. Det er lidt overraskende da det helt op i 1960'erne, hvor de første lovkrav til varmeisolering var kommet, var normalt af regne en konstruktions U-værdi som det bedst isolerede område i konstruktionen. Der blev derfor kun sjældent taget højde for kuldebroer i konstruktionerne (se side 21).

Metoden der er anvendt til beregning ud fra overflademålingerne er meget usikker. Selv små ændringer på 0,1 °C på de målte overfladetemperaturer giver en væsentlig forskel på resultatet. Overgangsisolansen der indgår i beregningen er en fastsat værdi jf. DS418[120]. I virkelighedens verden kan denne værdi afvige en del fra den fastsatte værdi, hvilket vil påvirke beregningen. Det gælder således om at være meget omhyggelig med overflademålingerne på stedet – og alligevel vil usikkerheden være stor. Flere målinger på samme væg vil oftest give et varierende resultat, så en præcis udregning vil være svær at opnå.

[119] Se omtale side 26
[120] Dansk Standard

5. Energioptimering af efterkrigstidens byggerier

Efterkrigstidens byggerier præger i stor grad det danske boligmarked. Alene af de almene etageboliger er 21% fra perioden 1940-1959[121], hvor gunstige statslånsordninger prægede byggeriet. Verden har ændret sig og de mange byggerier fra efterkrigstiden står i dag overfor en række nye krav og ændrede behov.



Figur 61[122] – Efterkrigstidens byggerier står i dag overfor en række nye udfordringer. En af de mange udfordringer er et stort varmetab ved de eksisterende konstruktioner.

Der er store besparelser at hente ved at energirenovere periodens byggerier, jf. Figur 62. Mange af byggerierne er energirenoveret en eller flere gange, nogle byggerier kan med fordel energirenoveres igen, mens der stadig er byggerier fra perioden, hvor der stort set intet er ændret siden opførelsen – som det f.eks. er tilfældet med Grenhusene, der er casen i denne specialerapport.

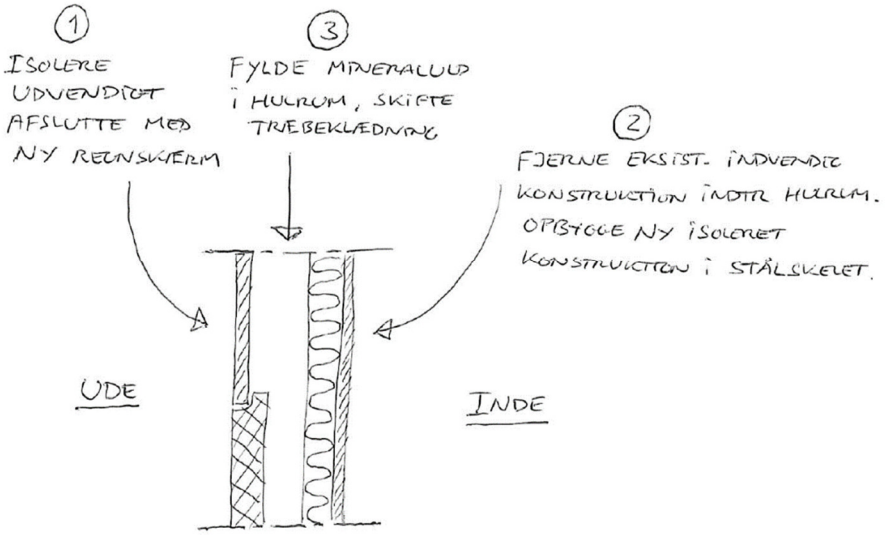
Bygningsalder	1951-1960	1961-1972	1973-1978	1979-1998
Energibesparelsespotentialer	1.540	1.327	443	571

Figur 62[123] – Energibesparelsespotentialet i TJ pr. år ved gennemførelse af de mest almindelige energibesparende foranstaltninger i efterkrigstidens etageboliger.

5.1 Baggrund for valgte løsningsmodeller

De undersøgte ydervægskonstruktioner kan efterisoleres udvendigt, indvendigt eller som fyld i vægkonstruktionens hulrum, som skitseret på Figur 63.

[121] Bech-Danielsen, C., s. 34
[122] Bech-Danielsen, C., s. 70
[123] Bech-Danielsen, C., s. 73



Figur 63 – Skitse (lodret snit) af eksist. ydervægskonstruktion med tanker om mulige efterisoleringsløsninger – 1) udvendig isolering, 2) indvendig isolering og 3) isolering af hulrum.

Efterisolering af boligbyggeri er blevet et stor forretningsområde med mange aktører og mange forskellige isoleringsprodukter, men traditionelle stenulds- og glasuldsprodukter er fortsat mest udbredt. I denne specialerapport er der kun undersøgt løsninger med mineraluldsprodukter.

De fugttekniske undersøgelser er begrænset til områderne med udvendige betonelementer/betonsøjler ud fra følgende argumenter:

- Disse områder dækker den største del af ydervæggen
- Disse områder er mest kritiske, da isoleringstykkelserne her bliver tyndest
- Det er mest oplagt at området mod tag med udvendig træbeklædning vil blive udført som en særskilt løsning, hvor den eksisterende træbeklædning fjernes.

Figur 64 – Billede af gavl i Grenhusene. Område med betonelementer (1), betonsøjler (2) og træbeklædning (3).

Konstruktionsopbygningen af den eksisterende ydervæg er gennemgået i kapitel 4.2.1, hvor skitserne Figur 28 og Figur 29 viser følgende:

- Betonelementet (tykkelse: 40 mm) er centreret i betonsøjlerne (tykkelse: 200 mm), hvilket betyder, at betonsøjlerne rager 80 mm ud på begge sider af elementet (se Figur 65). For at nedsætte kuldebroen ved betonsøjlerne, må efterisoleringslaget gå ud over denne tykkelse med løsning (1) og (2) på Figur 65.
- Hulrummet mellem de udvendige betonelementer og den indvendige trækonstruktion er ca. 40 mm. Dette hulrum vil kunne isoleres med løsning (3) på Figur 63.

5.1.1 Løsningsmodellernes fordele og ulemper

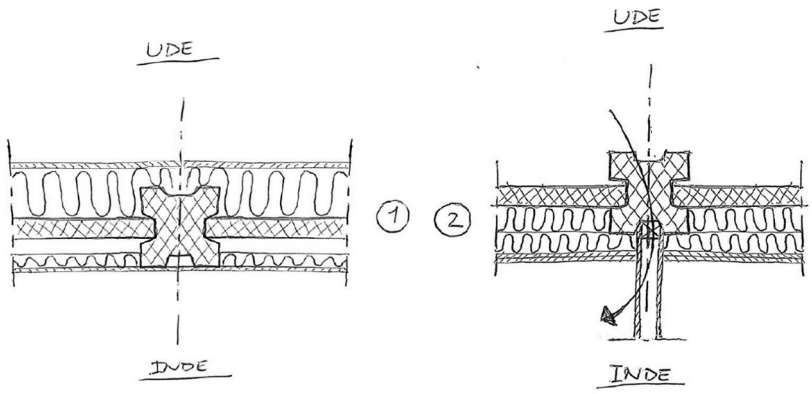
Der er fordele og ulemper ved alle løsningsforslag. En fordel uanset løsning er bedre boligkomfort, bl.a. ved at arealet helt ud til ydervæggen gøres anvendelig. Resultater af en 'brainstorm' af de forskellige løsningers forcer ses i Tabel 14.

	(1) Udvendig isolering	(2) Indvendig isolering	(3) Hulrumsisolering
Fordele:	- Bedre boligkomfort - Mest sikker fugtteknisk - Ny, tæt klimaskærm - Kuldebroer elimineres, ~30% større besparelse - Første 25 cm ekstra isolering påvirker ikke bebyggelsesprocent	- Bedre boligkomfort - Bevarer bygningens udvendige arkitektur	- Bedre boligkomfort - Nem at gå til = billigst - Oplagt og velkendt - Ændre ikke på arkitektur
Ulemper:	- Ændrer arkitektur - Tager dagslys - Kan kræve ændring af andre bygningsdele, tagudhæng etc.	- Adgang til alle boliger - Genhusning ved udførelse - Konstruktionen tager bolig-m² - Tager dagslys Evt. flytning af radiatorer og andre installationer - Der dannes kuldebroer f.eks. ved skillevægge - Eksist. klimaskærm "lukkes ude" = risiko for frostskader - Fugtteknisk risikofyldt	- Begrænset isol.mængde - Eksist. klimaskærm "lukkes ude" = risiko for frostskader - Kuldebroer bliver relativt større, f.eks. gennemgående søjler - Ventileret hulrum kan ikke opretholdes

Tabel 14 - Umiddelbare fordele og ulemper ved de forskellige løsningsforslag.

5.1.2 Parametre af betydning for efterisolering

Konstruktionernes eksisterende kuldebroer får relativt større betydning ved efterisolering, som omtalt på side 26. Derfor er det væsentligt at se på, hvordan kuldebroerne elimineres mest muligt ved efterisolering, som vist på Figur 65. Isoleringsgraden ud for kuldebroerne skal som minimum sikre, at overfladetemperaturen ud for kuldebroen ikke afviger mere end ca. 2 °C fra den øvrige konstruktion. I modsat fald kan der være risiko for sortsværtning, som omtalt på side 26. Lave overfladetemperaturer giver tillige risiko for skimmelvækst og eventuelt fugtskader, jf. side 31.



Figur 65 – Skitse (vandret snit) af løsningsforslag for efterisolering hhv. udvendigt (1) og indvendigt (2). Kuldebro ved betonsøjle må forsøges elimineret ved indpakning i isolering. T.h. skitseres problematikken ved tværgående vægge, der ved indvendig efterisolering vil skabe en kuldebro (pil).

Ud over kuldebroerne ved betonsøjlerne, der er specifikke for casen i denne specialerapport, så er det typisk i samlingsdetaljer, f.eks. ved vinduer/døre og mod tilstødende bygningsdele, at der er risikofyldte kuldebroer at tage hensyn til.

I forbindelse med indvendig efterisolering er en korrekt monteret og tæt dampspærre også et vigtigt parameter (se side 35). Betydningen af dampspærren og dens tæthed er nærmere undersøgt ved simuleringer i afsnit 5.2.5.

Derudover er det væsentligt at overveje risici for indtrængende fugt udefra, i form af slagregn eller opstigende grundfugt, i forbindelse med indvendig efterisolering (omtalt side 34). Disse problematikker er ikke undersøgt særskilt i simuleringerne, da det vurderes at have større betydning ved ydervægge af tegl frem for de noget tættere og mindre porøse betonelementer, der her er anvendt. Ved den indvendige isoleringsløsning bibeholdes et hulrum på ca. 2 cm mod facadeelementerne for at sikre muligheden for bortventilering af eventuel fugt.

5.2 Metoder og materialer

For fastlæggelse af materialevalg og isoleringstykkelser for de forskellige løsningsmodeller, må der indledningsvist ses på f.eks. BR-krav, eventuelle begrænsninger ift. tilstødende bygningsdele og ikke mindst risikoen for relaterede fugtskader.

5.2.1 Isoleringstykkelse jf. BR-krav - overslagsberegninger

Regler i gældende Bygningsreglement er gennemgået på side 21. I korte træk kan reglerne opstilles i nedenstående 3 kategorier:

1. Overholdelse af U-værdikrav på 0,18 W/m² K ved ombygning (bygningsdel udskiftes)
2. Renoveringsklasser, hvor der kan regnes samlet ramme ved udskiftning af flere forskellige bygningsdele i ét projekt (flere bygningsdele udskiftes/renoveres)
3. Rentable energibesparelser skal udføres ved vedligeholdelse, hvis det er fugtteknisk forsvarligt (bygningsdel renoveres).

I denne specialerapport, hvor der alene ses på ydervægge, er pkt. 2 irrelevant. Ved energirenovering af ydervæggen, hvor konstruktionen ikke udskiftes, er det minimum pkt. 3, der skal overholdes. Pkt. 1 kan bruges som målpunkt, hvis tiltaget er rentabelt.

Et hurtigt overslag på, hvilket isoleringstykkelse der skal til for at overholde kravet i pkt. 1, kan fås ved brug af nedenstående formel:

$$s = \lambda \times \left(\frac{1}{U_{efter}} - \frac{1}{U_{før}} \right)$$

"s" er tykkelsen i meter, "λ" er isoleringsmaterialets varmeledningsevne, U-værdierne af hhv. for den eksisterende konstruktion (før) og BR-krav (efter).

Pkt. 3: Et energibesparende tiltag rentabelt når:

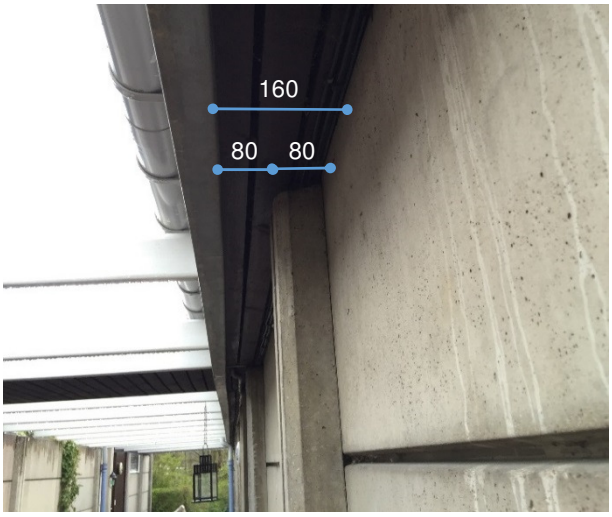
$$\frac{\text{årlig besparelse} \times \text{levetid af tiltag}}{\text{investering}} > 1{,}33$$

For efterisolering af bygningsdele, herunder ydervægge, anvendes 40 års levetid, og "investering" skal forstås som ekstraomkostningerne for de energiforbedrende tiltag.

5.2.2 Undersøgte konstruktionsløsninger

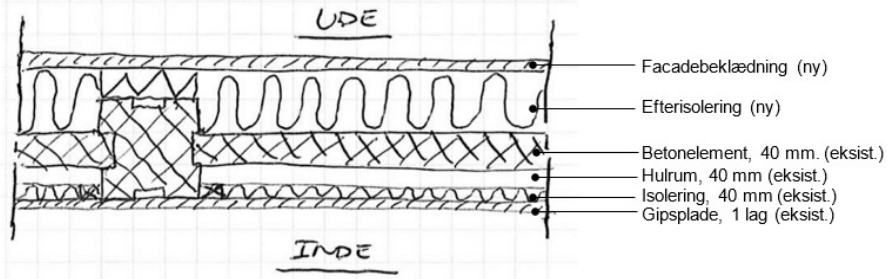
For hulmursisoleringen er tykkelsen af isoleringslaget fast. De øvrige konstruktioner er undersøgt ud fra følgende:

1. Det må sikres at overfladetemperaturen ud for kuldebroerne udlignes bedst muligt, så eksempelvis sortsværtning (omtalt på side 26) undgås. Ud fra dette er det minimale efterisoleringslag fastlagt.
2. Løsningerne skal være praktisk mulige og rentable at udføre. F.eks. antages det for udvendig isolering, at der ligger en begrænsning i tagudhængets størrelse (se Figur 66). Det er næppe rentabelt at isolere ud over dette mål (160 mm), da det dermed også vil være nødvendigt at ændre tagkonstruktionen.
3. Isoleringstykkelse ud fra BR-krav er herefter udregnet som maksimal isoleringstykkelse, og rentabiliteten er undersøgt.
4. Konstruktionerne skal udføres fugtteknisk forsvarligt, hvorfor fugt gennem konstruktionerne først er undersøgt ved den simplificerede beregning efter Glasers metode, og de umiddelbare kritiske områder er derefter simuleret i WUFI Pro.

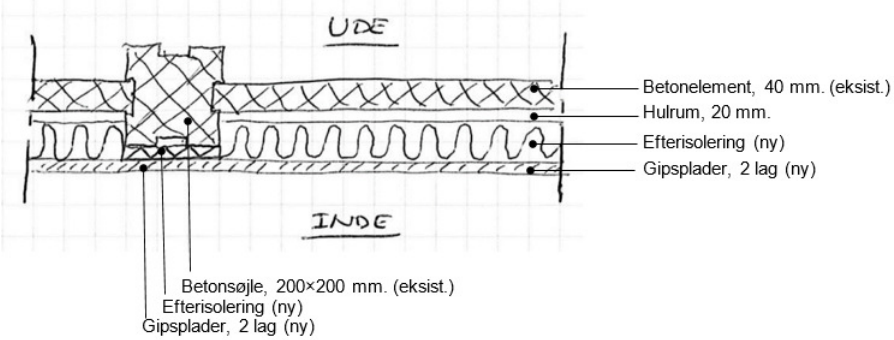


Figur 66 - Registrering af eksist. tagudhæng på bebyggelsen i Grenhusene (mål i mm). Udvendig isolering ud over 160 mm vil næppe være rentabelt.

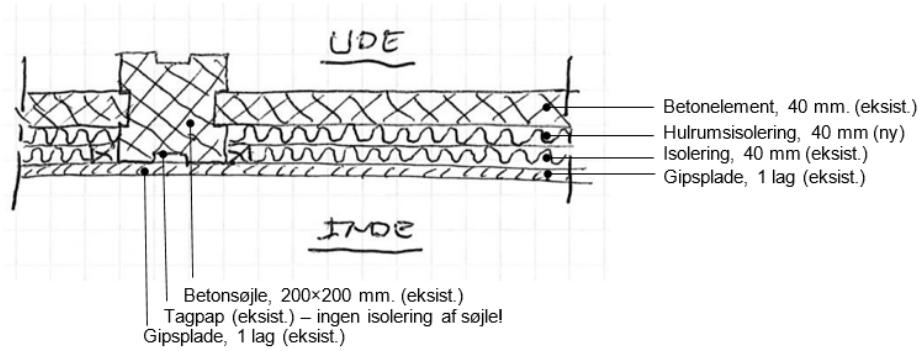
Principperne for opbygningen af de nye konstruktioner er skitseret på Figur 67 – Figur 69.



Figur 67 - Skitse af nye forhold ved udvendig efterisolering (vandret snit).



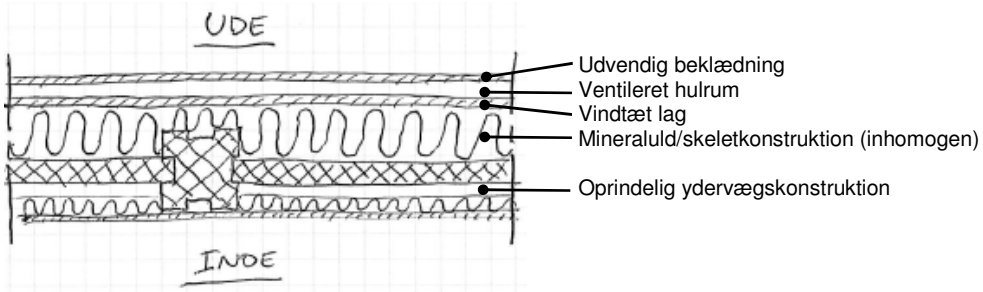
Figur 68 - Skitse af nye forhold ved indvendig efterisolering (vandret snit).



Figur 69 - Skitse af nye forhold ved efterisolering af hulrum (vandret snit).

Udvendig isolering med mineraluld kan traditionelt set foretages på to måder:

- Systemløsning med puds på hård mineraluldsisolering
- Skeletkonstruktion med mineraluldsisolering og udvendig beklædning (se Figur 70)



Figur 70 – Principskitse (vandret snit) af udvendig isolering med skeletkonstruktion og beklædning.

For at danne grundlag for undersøgelsen af den valgte case, er der foretaget en række beregninger og simuleringer for forskellige efterisoleringsløsninger. I Tabel 15 er de konstruktioner oplistet, hvor der er foretaget en komplet undersøgelse på varmebesparelse og fugtforhold samt på mulige løsninger økonomi og rentabilitet.

ID:	Type:	Isoleringsmængder (mineraluld) og λ-klasse:
1.1	Udvendig, 100/20 mm	100 mm på elementer og 20 mm på søjler, λ 37
1.2	Udvendig, 150/70 mm	150 mm på elementer og 70 mm på søjler, λ 37
1.3	Udvendig, 200/120 mm	200 mm på elementer og 120 mm på søjler, λ 37
1.4	Udvendig, 160/80 mm, puds	160 mm på elementer og 80 mm på søjler, λ 38
2.1	Indvendig, 75/10 mm	75 mm på elementer og 10 mm søjler, λ 37
2.2	Indvendig, 75/25 mm	75 mm på elementer og 25 mm søjler, λ 37
2.3	Indvendig, 95/30 mm	95 mm på elementer og 30 mm søjler, λ 37
2.4	Indvendig, 195/145 mm	195 mm på elementer og 145 mm søjler, λ 37
2.5*	Indvendig, 195/145 mm	195 mm på elementer og 145 mm søjler, λ 34
3.1	Hulrum, 40 mm	40 mm i hulrum bag elementer, λ 37

*Tabel 15 - Oversigt over de undersøgte konstruktionsløsninger. *Løsning 2.5 er tillige undersøgt med defekt dampspærre.*

5.2.3 Anvendt materialedata

Da den eksisterende ydervægskonstruktion består af en let indvendig konstruktion, er der i løsningerne med indvendig efterisolering taget udgangspunkt i, at den eksisterende lette del fjernes og erstattes af en ny let konstruktion.

I løsningerne med udvendig isolering er der taget udgangspunkt i løsninger med skeletkonstruktion, da denne løsning antages at være fugtteknisk mest kompleks. For den udvendige beklædning er der taget udgangspunkt i træbeklædning, da dette tidligere er valgt på havefacaderne. Dette kan ændres til andet pladematériale – det er mest et spørgsmål om hvilket udtryk der ønskes, samt materialepris vs. vedligeholdelsesudgifter. Derudover er der et eksempel med hård mineraluldsisolering og udvendigt pudslag, der kræver mindre vedligeholdelse. Der er dog ikke regnet totaløkonomi på løsningerne.

Materialedata for eksisterende dele af konstruktionerne fremgår af Tabel 7, kapitel 4.3.6. Supplerende materialer for nye løsninger fremgår af Tabel 16.

Materiale	**Varme-ledningsevne** W/mK	**Dampper-meabilitet** kg/m s Pa	**Diffusions-modstand** Pa m² s /kg
Dampspærre, PE, 0,002 m	0,17	-	500×10^{9}
Gipsplade, ny	0,26	$0{,}026 \times 10^{-9}$	-
Mineraluld, hård, > 0,1 m	0,038	$0{,}067 \times 10^{-9}$	-
Mineraluld, hård, ≤ 0,1 m	0,037	$0{,}067 \times 10^{-9}$	-
Mineraluld, kl. 30	0,030	$0{,}2 \times 10^{-9}$	-
Mineraluld, kl. 34	0,034	$0{,}2 \times 10^{-9}$	-
Mineraluld, kl. 37	0,037	$0{,}2 \times 10^{-9}$	-
Tagpap	0,16	-	500×10^{9}
Træbeklæd., nåletræ, ny	0,15	$0{,}002 \times 10^{-9}$	-
Udv. beklæd. + vent.hulrum	-	-	-
Vindgips, 9 mm	0,25	-	$0{,}4 \times 10^{9}$

Tabel 16 – Supplerende materialedata i specialerapportens beregninger og simuleringer for nye konstruktioner.

I praksis vil U-værdien for isoleringslaget blive reduceret en anelse pga. konstruktionens stålskelet, træskelet eller lignende, da konstruktionslaget er inhomogent. Denne reduktion er der set bort fra i beregningerne, da reduktionen f.eks. ved stålskelet er minimal.

5.2.4 Anvendte metoder

Metoderne og simuleringsprogrammerne for undersøgelse af de efterisolerede konstruktioner er de samme som anvendt for eksisterende konstruktioner, beskrevet i kapitel 4.3.4, side 52. Fremgangsmåden i dette kapitel har tillige været:

- Beregninger efter Glasers metode giver indikation på, om løsningen er brugbar
- Kritiske fugtniveauer undersøges nærmere i WUFI Pro
- Kuldebroer og indvendige overfladetemperaturer undersøges nærmere i HEAT2.

Anvendt fugtbelastningsklasse

Boligerne i casen er lejeboliger med ukendt beboersammensætning og –tæthed. Normalt anvendes fugtbelastningsklasse 3 til denne type boliger, hvilket også er valgt her generelt. Enkelte målinger er foretaget i fugtbelastningsklasse 2 for sammenligning – det er fremhævet, hvor en lavere klasse er anvendt.

Særlig beregning for udvendig, ventileret beklædning

Jf. DS418[124] gælder særlige beregningsregler for ventilerede udvendige beklædninger, der i denne specialerapport findes for udvendige efterisoleringsløsninger. I Glaser beregninger er materialelag fra og med det ventilerede lag regnet med en isolans på 0,3 m^2K/W[125] inkl. udvendig overgangsisolans. For at kunne regne efter Glasers metode, deles beregningen op i to dele (se eksempel i bilag B.5.2.1):

- Først regnes U-værdi med den samlede isolans for den ventilerede del samt overfladetemperaturen mod det ventilerede lag ud fra den valgte måneds temperatursæt
- Derefter foretages en Glaserberegning uden den ventilerede del. For udvendig temperatur anvendes overfladetemperaturen mod det ventilerede lag og damptrykket her sættes til udvendigt damptryk for den valgte måned.

I WUFI Pro er luftskifte bag facadebeklædning sat til et luftskifte på 30 1/h.

Beregning af energibesparelser

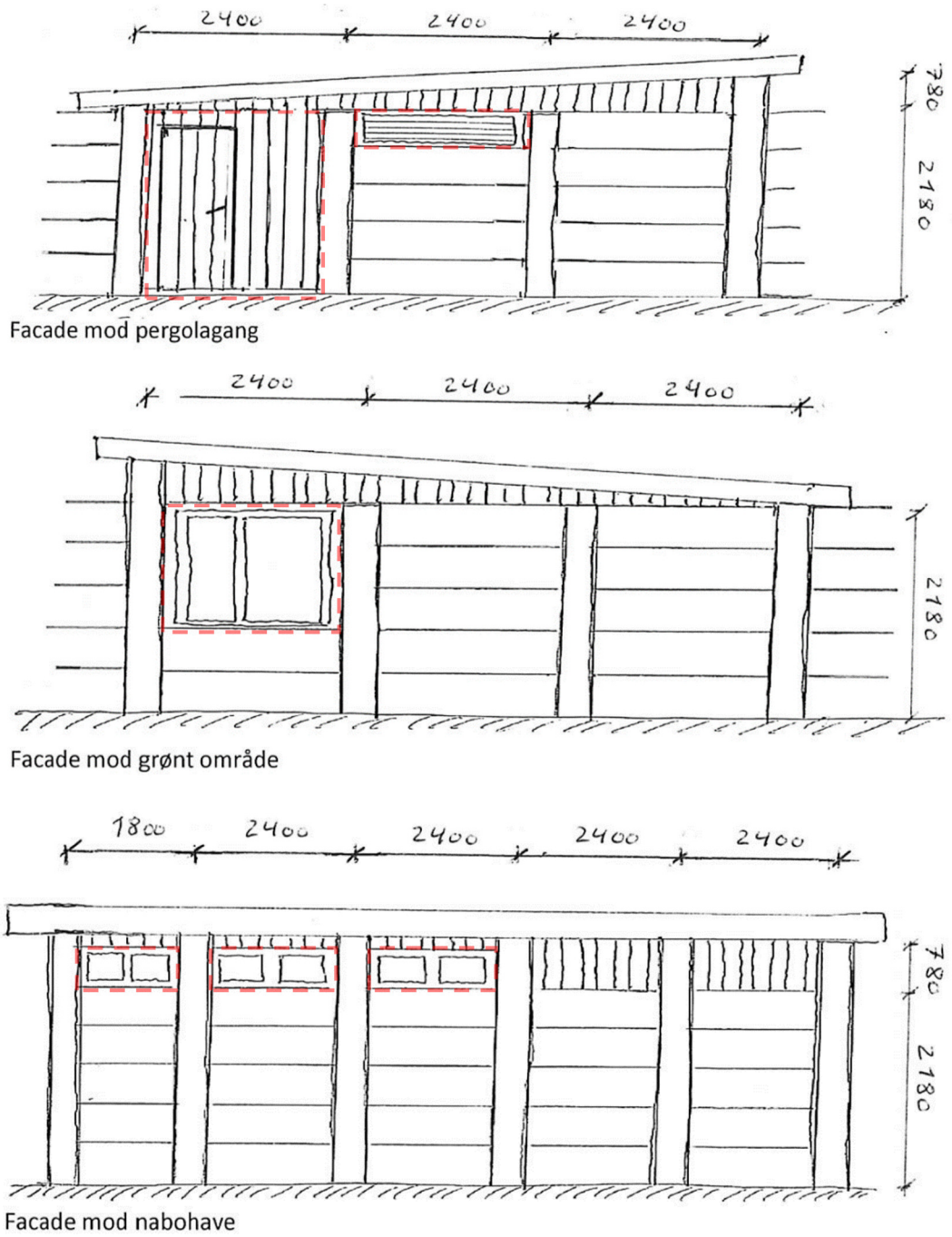
Beregning af energibesparelser er foretaget ved en simpel beregning efter DS418:
$\varphi_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_e)$, der her er omskrevet til: Energibesparelsen = $\Delta U \times A \times GD \times 24$ t. (forskel på U-værdi før og efter × areal af konstruktion × graddage normalår × 24 timer).

Metoderne i DS418[126] for opmåling af arealer (DS418, 3.6) samt beregning af bygningsdelenes samlede isolans ved brug af overgangsisolanser (DS418, 6.2) er anvendt.

Facadernes udformning er ens for alle boligerne. Beregning af energibesparelse er derfor sket pr. bolig. Opmåling og facadernes udformning fremgår af

Figur 71. Havefacaden er ikke medtaget, da denne er efterisoleret tidligere. Arealer med indgangsparti, døre og vinduer er fratrukket arealerne.

[124] Dansk Standard, kapitel 6.4.3
[125] Brandt, E., et al., tabel 26, s. 244
[126] Dansk Standard



Figur 71 - Skitser af eksist. facader, der har dannet grundlag for udregning af energibesparelserne. Områder indrammet med stiplede, røde linjer er fratrukket arealerne.

Graddage

Beregning af energibesparelsen på årsbasis er baseret på graddage. Graddage er et mål for, hvor koldt og/eller varmt et år har været, og hvor meget energi der dermed er brugt på opvarmning det pågældende år.

Graddagtallet i et givet døgn er forskellen i °C mellem rumtemperaturen og den udendørs døgnmiddeltemperatur i dette døgn. Normalt regnes indetemperaturen som 20 °C, men for graddage fratrækkes 3 °C til varmetilskud fra belysning og el-apparater, hvorfor indetemperaturen er fastsat til 17 °C.

Graddage er tillige anvendt til sammenligning af Grenhusenes energiforbrug med gennemsnitsforbrug i tilsvarende bebyggelser på side 39.

For at kunne udregne et normalårsforbrug sammenlignes det pågældende års graddage med antallet af graddage for det definerede normalår. Ved omregningen graddagekorrigeres kun energiforbrug, der er graddageafhængigt (GAF). Graddage uafhængigt forbrug (GUF) er f.eks. varmt brugsvand. For Grenhusenes vedkommende vil hele forbruget kunne regnes som GAF, da varmt brugsvand opvarmes decentralt i el-vandvarmere.

Danske Fjernvarmeværkers Forening, DFF, anvender ELO-ordningens graddage-system (skyggegraddage), hvor normalåret er sat til 3112 graddage jf. Figur 72. Der findes andre graddagesystemer som har hver deres forcer.

Figur 2 ELO graddagene fra 1998 – 2002

Normalår	519	486	444	311	154	58	22	18	91	207	341	463	3112
Måned	Jan	Febr	Mar	Apr	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec	Året

Figur 72 - Graddage for normalårsforbrug udarbejdet af Danske Fjernvarmeværkers Forening, DFF[127].

Økonomi og rentabilitet
Prisoverslag for de undersøgte konstruktioner er estimeret ud fra V&S prisdatabase[128] samt en enkelt pris fra VVS-firma på flytning af radiator ved indvendig isolering, da denne pris ikke indgår i V&S. Priserne er i prisbogen opdelt i tre mængdestørrelser. Der er foretaget lineære interpolationer mellem mængderne for at tilpasse til de aktuelle mængder.

Prisoverslaget sammenholdes med beregnet energibesparelse og levetid, hvorved konstruktionens rentabilitet kan fastslås ud fra rentabilitetsformelen omtalt i afsnit 5.2.1.

Konstruktionsdimensioner angivet i prisestimeringen må ikke anvendes til udførelse. Da ikke alle konstruktionstyper findes i prisdatabasen bygger udregnede priser i nogle tilfælde på nærmeste lignende konstruktion. F.eks. vedr. løsning 2.4, hvor der er angivet et træskelet på 100×200 mm – i praksis vil det ikke blive udført i denne dimension.

Alle priser i denne specialerapport er ekskl. moms. Boligselskaberne kan dog som udgangspunkt ikke fratrække moms, hvorfor der må regnes med momstillæg ift. de angivne priser.

Energipris
Grenhusene er forsynet med fjernvarme fra Fjernvarmedistributionsselskabet Hvidovre (FD Hvidovre). Værdien af energibesparelserne er udregnet på baggrund gældende takstblad 2015/2016 (bilag B.8.2). Det særlige ved taksterne hos dette fjernvarmeselskab er at såvel "fastafgift" som "variabel afgift" er forbrugsafhængig. Prisen pr. kWh er derfor regnet som summen af de to takster = 0,58 kr/kWh pr. år, ekskl. moms.

Der er ikke korrigeret for årsnyttevirkningsgrad for fjernvarmeanlægget, da virkningsgraden antages at ligge tæt på 100%.

[127] Foreningen For Energi & Miljø
[128] V&S Prisdata

5.2.5 Simulering af utæt dampspærre

Case I – Specialerapportens case, Grenhusene

Vigtigheden af en tætsluttende dampspærre omtales i teorien som noget af det vigtigste ved indvendig efterisolering (omtalt i 3.4.2 og 3.4.4). Samtidig skal der kalkuleres med risikoen for at dampspærren utilsigtet bliver perforeret, enten i byggefasen eller ved senere brug af boligen. Derfor ønskes dampspærrens betydning undersøgt for løsningerne 2.2 og 2.5 med indvendig efterisolering.

Principperne for simuleringen er hentet fra en SBi-undersøgelse foretaget for Skov- og Naturstyrelsen i 2009[129]. I undersøgelsen simuleres nogle få huller i dampspærren, svarende til at fjerne 1/40 af dampspærren, ved at reducere materialets dampdiffusionsmodstand. I denne simulering er der interpoleret i værdierne fra SBi-undersøgelsen, så data svarer til tykkelsen på casens dampspærre:

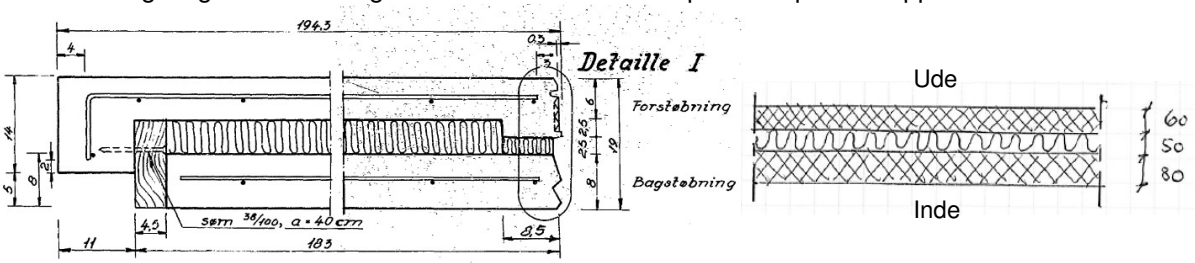
- SBi-undersøgelse: 0,15 mm PE = 375 GPa m²s/kg => 1/40 fjernet ~ 20 GPa m²s/kg
- Denne case: 0,20 mm PE = 500 GPa m²s/kg => 1/40 fjernet ~ 25 GPa m²s/kg.

Øvrige materialedata er der ikke ændret på, så de følger Tabel 16 i afsnit 5.2.3.

Simuleringen foretages efter Glasers-metode. Der er regnet med såvel fugtbelastning svarende til normalen for boliger af denne type, fugtbelastningsklasse 3, og fugtbelastningsklasse 2, som mange af loggermålingerne lå i.

Case II – Traditionel ydervægskonstruktion fra efterkrigstidens betonbyggerier

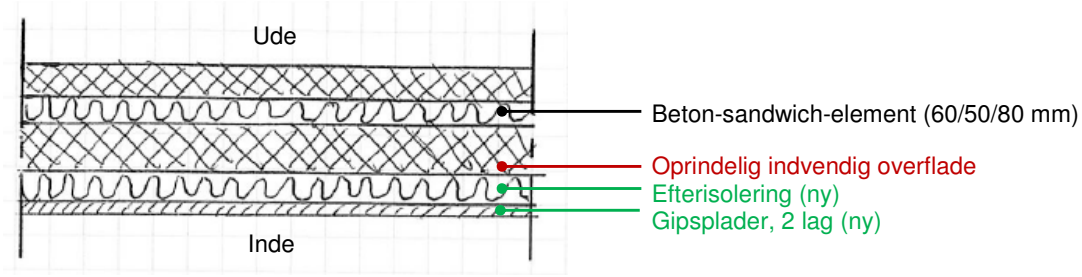
Den valgte case i Grenhusene er et utraditionelt byggeri, hvor hele den indvendige del af vægkonstruktionen fjernes ved indvendig isolering. Derfor ses endvidere på en traditionel ydervægskonstruktion i et betonelementbyggeri fra bebyggelsen Albertslund Syd (1963). Ydervæggene bestod af helt færdige sandwich-vægelementer, leveret fra fabrik med bagvæg isolering og facade med færdig overflade. Et vægelement ses af Figur 73. Midt på elementet var isoleringsniveauet 50 mm mineraluld. Denne løsning er udelukkende undersøgt i forbindelse med indvendig efterisolering, da øvrige undersøgelser er sammenlignelige. Case II indgår således ikke i andre kapitler af specialerapporten.



Figur 73 – Vandret snit i ydervægselement, der blev færdigleveret med udvendig 60 mm beton, 50 mm mineraluldsisolering og 80 mm beton inderst, skitseret normalkonstruktion på figuren t.h..

[129]de Place Hansen, E. J., s. 4

En traditionel indvendig efterisolering opbygget som forsatsvæg med mineraluldsisolering og to lag gipsplader (illustreret på Figur 74) er simuleret. I denne case er simuleringen foretaget helt uden dampspærre med forskellige isoleringstykkelser for at undersøge betydningen af isoleringslagets tykkelse og manglende dampspærre.



Figur 74 – Skitse (vandret snit) af efterisolering af traditionelt beton-sandwichelement fra 1960'erne.

Simuleringen foretages efter Glasers metode med fugtbelastning svarende til fugtbelastningsklasse 2 og 3 for også at kunne undersøge fugtbelastningens betydning.

Materiale	**Densitet** kg/m³	**Varme-ledningsevne** W/mK	**Dampper-meabilitet** kg/m s Pa
Gipsplade (ny)	-	0,26	$0{,}026 \times 10^{-9}$
Jernbeton, inde	2400	1,68	$0{,}002 \times 10^{-9}$
Jernbeton, ude	2400	2,16	$0{,}002 \times 10^{-9}$
Mineraluld (ny)	-	0,037	$0{,}2 \times 10^{-9}$
Mineraluld, hård (oprindeligt)	-	0,05	$0{,}067 \times 10^{-9}$

Tabel 17 – Anvendte materialedata for simulering af Beton-sandwichelement fra 1960'erne.

5.3 Resultater

En række forskellige scenarier er undersøgt, og udvalgte resultater er medtaget i dette kapitel. Alle væsentlige resultater er medtaget i bilagsrapporten.

5.3.1 Resultater i forhold til BR-krav

I Figur 75 og Tabel 18 er der overslagsmæssigt set på minimale isoleringstykkelser, hvis BR15-krav i forbindelse med ombygning (renovering) skal overholdes.

Konstruktion: Ydervæg betonelement/-søjler, isolering kl. 37

U-værdi eksist. ydervæg:	1,09 W/m² K	*(før)*
BR15-krav ved ombygning:	0,18 W/m² K	*(efter)*
λ-værdi for isoleringsmateriale:	0,037 W/m K	*(tilført materiale)*

Inhomogent materialelag (isolering): Mineraluld og træ

Materiale:	**Varmeled.evne:**	**Andel pr. m:**	**Varmeled. andel:**
Isolering	0,037	0,95	0,035 W/m K
Træ, 450 kg/m³	0,120	0,05	0,006 W/m K
Lambdaværdi, λ' =			0,041 W/m K

Formel: $s = \lambda \times \left(\frac{1}{U_{efter}} - \frac{1}{U_{før}} \right)$ s = isoleringstykkelse i m.

$s = 0{,}041 \times \left(\frac{1}{0{,}18} - \frac{1}{1{,}09} \right) = 0{,}19$ m

Figur 75 - Eksempel på beregning af minimums isoleringstykkelse for overholdelse af BR15-krav.

Isoleringslaget kan reduceres, hvis der anvendes isoleringsmateriale i lavere λ-klasse, som det fremgår af Tabel 18. I dag er laveste λ-værdi for traditionelle mineraluldsprodukter et glasuldsprodukt med λ-værdi på 0,030 W/m K[130]. λ' er isoleringslagets reelle varmeisoleringsværdi, hvis der tages højde for, at isoleringen indbygges i en træskeletkonstruktion med ringere varmeisoleringsværdi.

Konstruktionsdel:	**U-værdi eksist.:**	**λ-isolering:**	**λ'-isoleringslag:**	**Isolerings-tykkelse:**
Betonelementer/-søjler	1,09 W/m² K	0,037 W/m K	0,041 W/m K	min. 19 cm.
Betonelementer/-søjler	1,09 W/m² K	0,034 W/m K	0,038 W/m K	min. 18 cm.
Betonelementer/-søjler	1,09 W/m² K	0,030 W/m K	0,035 W/m K	min. 16 cm.

Tabel 18 – Isoleringstykkelse ved forskellige konstruktioner knyttet til specialerapportens case, hvis BR15-krav ved ombygning skal overholdes.

[130] www.isover.dk

5.3.2 Resultater af udvendige efterisoleringsløsninger

Glaser-beregninger, se bilag B.5.2.1.

21-05-2016 — Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 150 mm

Beregning for: 01 - Januar — Overgangsisola: 02 Vandret

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C
Vent. Lag + udv.bekl. + overgangsisolans			0,3	1,13	-0,6 0,5
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,14	0,7
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,150	0,037	4,05	15,24	15,9
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,07	16,0
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,040	-	0,09	0,34	16,3
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	3,01	19,3
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,19	19,5
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,49	20,0
		ΣR =	5,48	20,60 t inde - t ude =	20,6
U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	0,183	W/m²K	0,18
Konklusion:	Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)				

21-05-2016 — Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonsøjle, efterisoleret med 70 mm

Beregning for: 01 - Januar — Overgangsisola: 02 Vandret

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C
Vent. Lag + udv.bekl. + overgangsisolans			0,3	2,45	-0,6 1,9
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,29	2,1
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,070	0,037	1,89	15,46	17,6
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	0,77	18,4
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,15	18,5
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,41	18,9
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,06	20,0
		ΣR =	2,52	20,60 t inde - t ude =	20,6
U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	0,397	W/m²K	0,40
Konklusion:	Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)				

Figur 76 – Indledende beregning for efterisoleret konstruktion hhv. ud for betonelementer med 150 mm (til venstre) og ud for betonsøjler med 70 mm (til højre). Ved beregningen findes udvendig temperatur i det ventilerede lag (blå ring) og U-værdi (rød ring).

21-05-2016 — Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 150 mm

Beregning for: 01 - Januar — Overgangsisola: 02 Vandret — Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
					0,5	633,1				546,1	86
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,14	0,6	639,3	-	4,00E+08	14,95	561,1	88
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,150	0,037	4,05	15,26	15,9	1805,7	2,00E-10	7,50E+08	28,04	589,1	33
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,040	2,12	0,02	0,07	16,0	1813,9	2,00E-12	2,00E+10	747,65	1.336,7	74
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret, vandr.	0,040	-	0,09	0,34	16,3	1853,6	2,00E-10	2,00E+08	7,48	1.344,2	73
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	3,01	19,3	2240,7	2,00E-10	2,00E+08	7,48	1.351,7	60
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,19	19,5	2267,1	2,60E-11	5,00E+08	18,69	1.370,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,49	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	5,18	19,50 t inde - t ude =	19,5		ΣZ =	2,17E+10	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	809,3	

Figur 77 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for betonelementer, 150 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

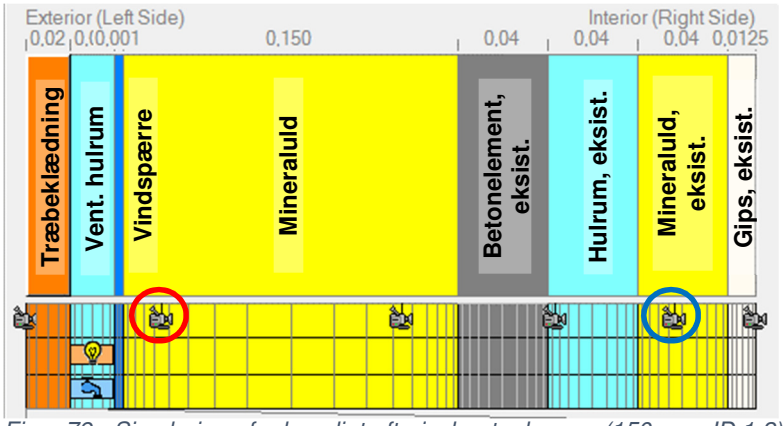
21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonsøjle, efterisoleret med 70 mm

Beregning for: 01 - Januar | Overgangsisola 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

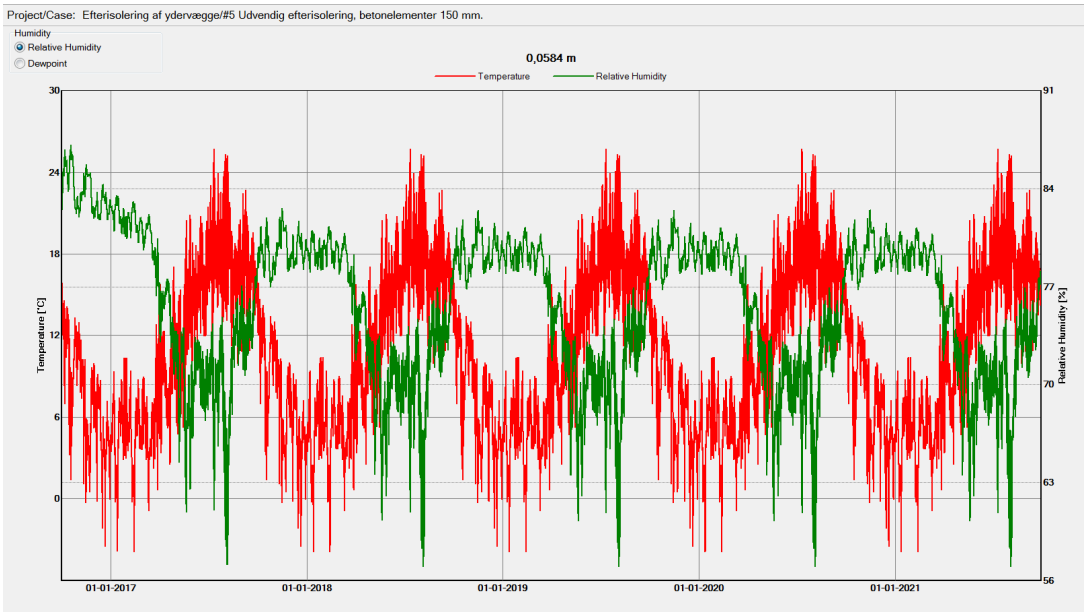
Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m^2K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m^2×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
					1,9	700,3				546,1	78
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,29	2,2	715,1	-	4,00E+08	0,54		
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,070	0,037	1,89	15,42	17,6	2013,0	2,00E-10	3,50E+08	0,47	546,6	76
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,200	2,12	0,09	0,77	18,4	2112,7	2,00E-12	1,00E+11	134,70	547,1	27
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,15	18,5	2133,0	-	5,00E+11	673,49	681,8	32
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,41	18,9	2188,0	2,60E-11	5,00E+08	0,67	1.355,3	64
										1.356,0	62
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,06	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,22	*18,10* t inde - t ude =	18,1		ΣZ =	6,01E+11	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

Figur 78 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 70 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

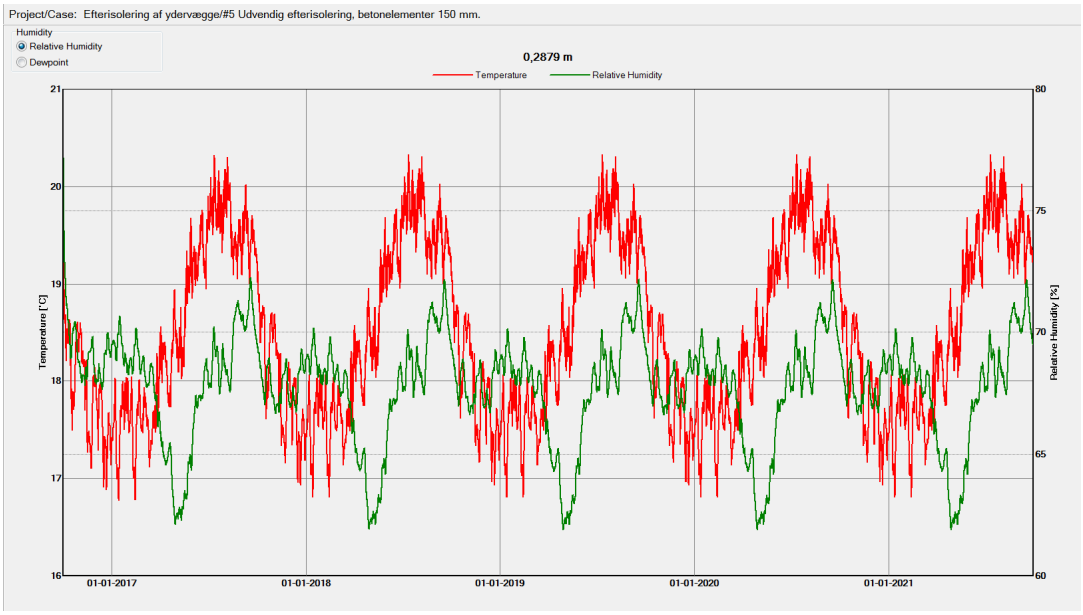
WUFI-simuleringer, se bilag B.6.3.1.



Figur 79 - Simulering af udvendigt efterisoleret ydervæg (150 mm, ID 1.2) i WUFI Pro viser de forskellige materialelag. Kameraplaceringer med ring omkring er simuleringer vist i dette afsnit.

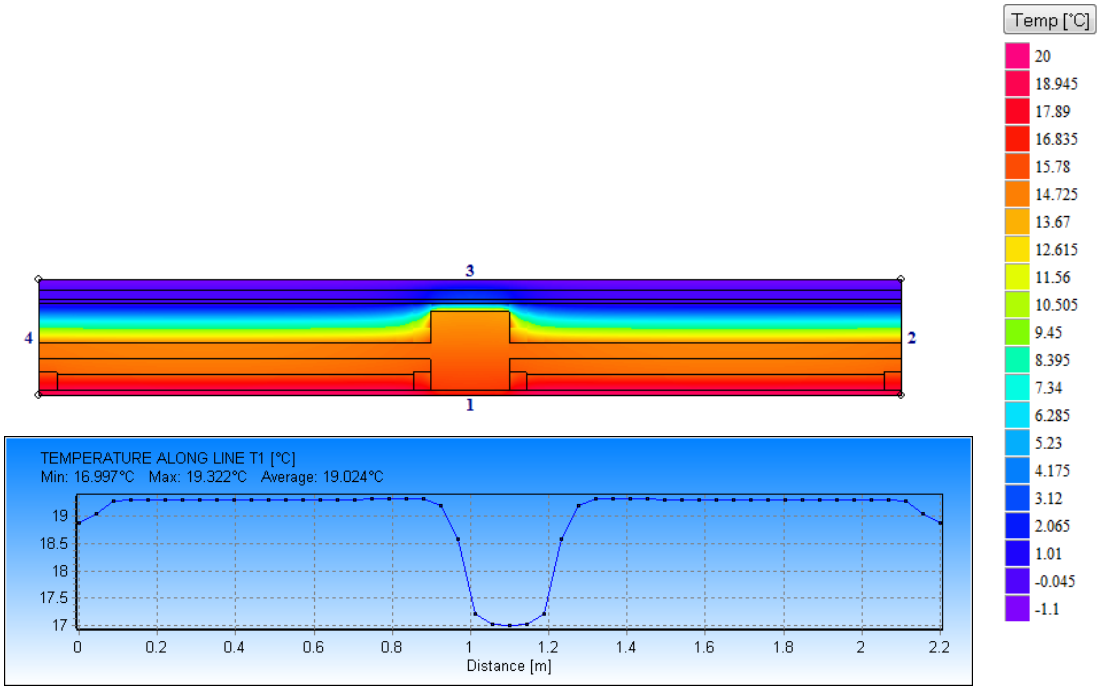


Figur 80 – Resultat af simulering i yderste del af efterisoleringslag (rød markering på Figur 79).

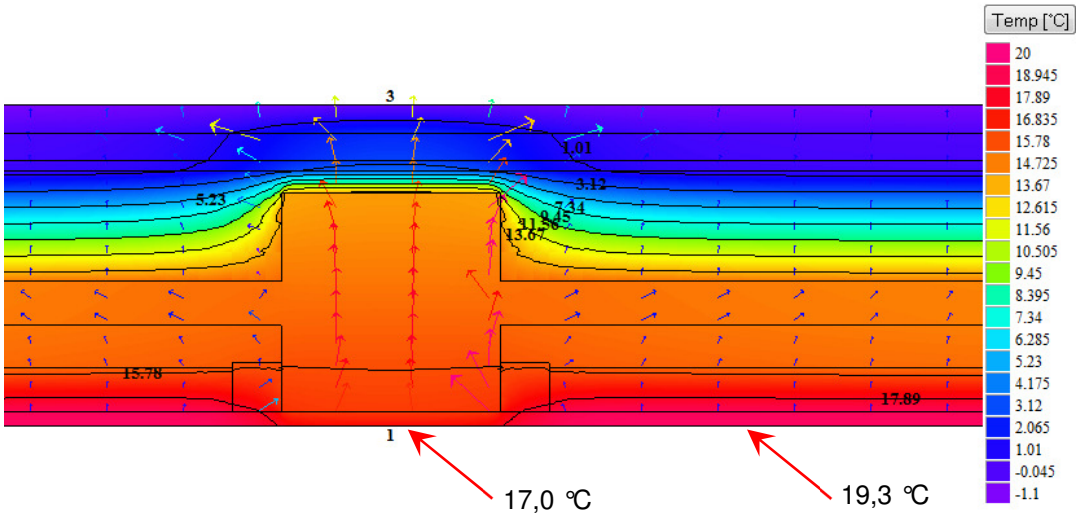


Figur 81 - Resultat af simulering i oprindeligt isolerings-/træskeletlag (blå markering på Figur 79).

HEAT2-simuleringer, se bilag B.7.2.1.
Den udvalgte simulering er udvendigt efterisoleret med hhv. 100 mm på betonelementer og 20 mm på betonsøjler. Resultaterne fremgår af Figur 82 og Figur 83.



Figur 82 – Resultat af simuleringen i HEAT2 viser varmestrømme i den efterisolerede ydervæg. Kurven nederst viser temperaturforløbet langs ydervæggens indvendige side.



Figur 83 – Resultat af simulering i HEAT2, her zoomet ind omkring betonsøjle. De røde pile viser spottemperatur ud for hhv. betonsøjle og væggen med betonelementer.

5.3.3 Resultater af indvendige efterisoleringsløsninger

Glaser-beregninger, se bilag B.5.2.2.

05-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 75 mm (II)

Beregning for: 02 - Februar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,35	-1,1	557,4				507,2	91
					-0,8	573,8				507,2	
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,17			2,00E-12	2,00E+10	32,53		88
					-0,6	581,7				539,8	
Hulrum (15-20 mm), svagt ventileret,	0,030	-	0,09	0,74			2,00E-10	1,50E+08	0,24		93
					0,2	617,6				540,0	
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,075	0,037	2,03	17,73			2,00E-10	3,75E+08	0,61		87
					17,9	2048,0				540,6	
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,10			-	5,00E+11	813,20		26
					18,0	2061,3				1.353,8	
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,44			2,60E-11	5,00E+08	0,81		66
					18,4	2118,7				1.354,6	
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,44			2,60E-11	5,00E+08	0,81		64
					18,9	2177,5				1.355,4	
											62
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,14	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,41	21,10 t inde - t ude =	21,1		ΣZ =	5,22E+11	p_{inde}-p_{ude} =	848,2	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	0,414	W/m²K	0,41
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*				

Figur 84 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonelementer, 75 mm isolering. Her for februar måned for også at undersøge indvendig overfladetemperatur.

20-04-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg udfor betonsøjle, efterisoleret med 25 mm.

Beregning for: 02 - Februar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,79	-1,1	557,4				507,2	91
					-0,3	595,0				507,2	
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	1,86			2,00E-12	1,00E+11	141,10		85
					1,5	682,8				648,3	
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,37			-	5,00E-11	0,00		95
					1,9	701,1				648,3	
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,025	0,037	0,68	13,32			2,00E-10	1,25E+08	0,18		92
					15,2	1730,3				648,5	
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,23			-	5,00E+11	705,51		37
					15,5	1756,3				1.354,0	
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,99			2,60E-11	5,00E+08	0,71		77
					16,5	1870,4				1.354,7	
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,99			2,60E-11	5,00E+08	0,71		72
					17,4	1991,0				1.355,4	
											68
Indvendig overgangsisolans			0,13	2,56	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	1,07	21,10 t inde - t ude =	21,1		ΣZ =	6,01E+11	p_{inde}-p_{ude} =	848,2	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	0,934	W/m²K	0,93
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*				

Figur 85 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 25 mm isolering. Her for februar måned for også at undersøge indvendig overfladetemperatur.

05-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med S195 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,13	-0,6	581,0				546,1	94
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,06	-0,5	587,5	2,00E-12	2,00E+10	31,00	546,1	93
Hulrum (15-20 mm), svagt ventileret,	0,030	-	0,09	0,29	-0,4	590,6	2,00E-10	1,50E+08	0,23	577,1	98
Mineraluldsisolering, kl. 34 ("Super")	0,195	0,034	5,74	19,30	-0,1	604,7	2,00E-10	9,75E+08	1,51	577,4	95
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,04	19,2	2221,8	-	5,00E+11	775,01	578,9	26
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,17	19,2	2227,3	2,60E-11	5,00E+08	0,78	1.353,9	61
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,17	19,4	2250,7	2,60E-11	5,00E+08	0,78	1.354,7	60
					19,6	2274,4				1.355,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,44	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	6,12	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	5,22E+11	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,163	W/m²K	0,16
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 86 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonelementer, 195 mm isolering i λ-klasse 34. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

20-04-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg udfor betonsøjle. Efterisoleret med S145 mm.

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,18	-0,6	581,0				546,1	94
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	0,42	-0,4	589,5	2,00E-12	1,00E+11	134,50	546,1	93
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,08	0,0	610,2	-	5,00E-11	0,00	680,6	*112*
Mineraluldsisolering, kl. 34 ("Super")	0,145	0,034	4,26	18,85	0,1	613,9	2,00E-10	7,25E+08	0,98	680,6	*111*
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,05	18,9	2186,7	-	5,00E+11	672,49	681,6	31
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,22	19,0	2193,8	2,60E-11	5,00E+08	0,67	1.354,1	62
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,22	19,2	2224,3	2,60E-11	5,00E+08	0,67	1.354,8	61
					19,4	2255,1				1.355,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,57	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	4,66	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	6,02E+11	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,215	W/m²K	0,21
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 87 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 145 mm isolering i λ-klasse 34. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

16-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af yderv. betonsøjle. Efterisoleret med S145 mm., defekt dampsp.

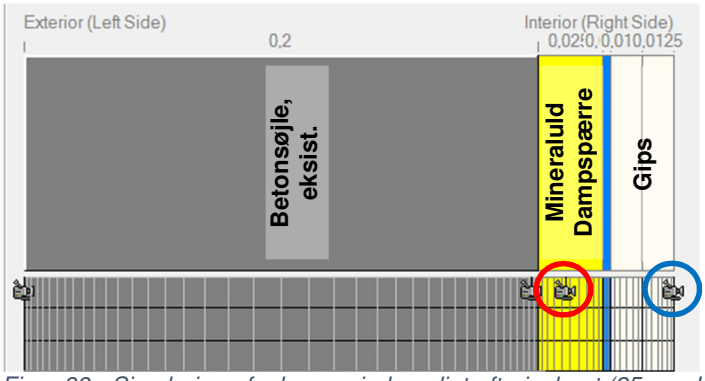
Beregning for: 01 - Januar | Overgangsisola: 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,18	-0,6	581,0				546,1	94
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	0,42	-0,4	589,5	2,00E-12	1,00E+11	638,63	546,1	93
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,08	0,0	610,2	-	5,00E-11	0,00	1.184,8	*194*
Mineraluldsisolering, kl. 34 ("Super")	0,145	0,034	4,26	18,85	0,1	613,9	2,00E-10	7,25E+08	4,63	1.184,8	*193*
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,05	18,9	2186,7	-	2,50E+10	159,66	1.189,4	54
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,22	19,0	2193,8	2,60E-11	5,00E+08	3,19	1.349,0	61
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,22	19,2	2224,3	2,60E-11	5,00E+08	3,19	1.352,2	61
					19,4	2255,1				1.355,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,57	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	4,66	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	1,27E+11	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

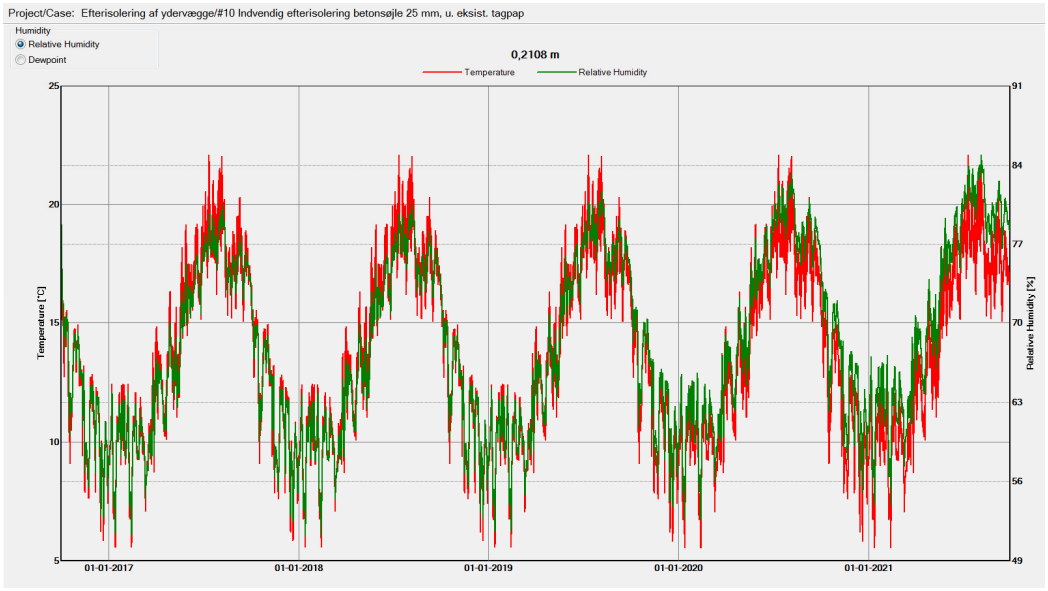
U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,215** **W/m²K** *0,21*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

Figur 88 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 145 mm isolering i λ-klasse 34. Simuleret med defekt dampspærre. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

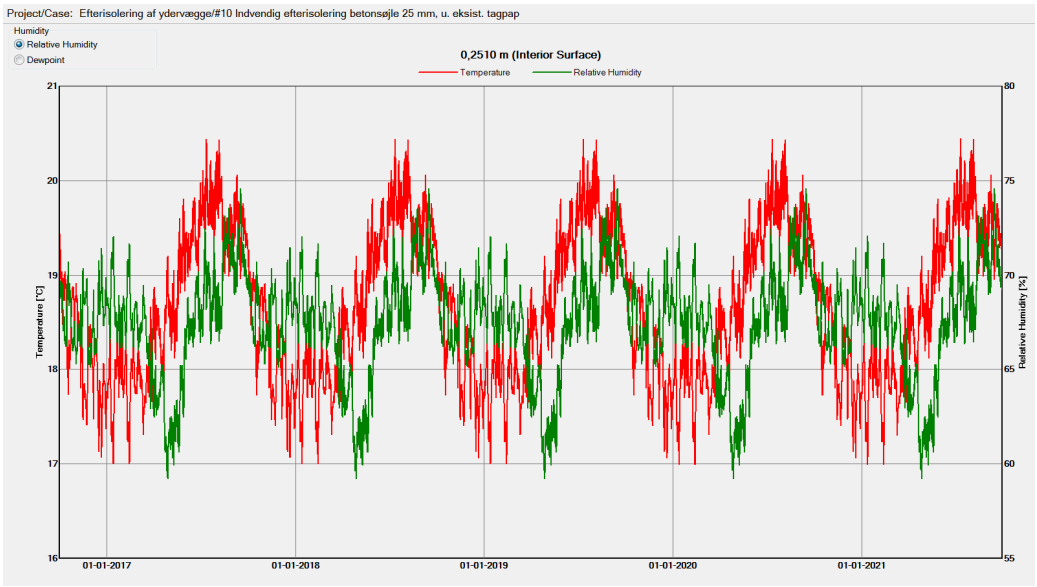
WUFI-simuleringer, se bilag B.6.3.2.



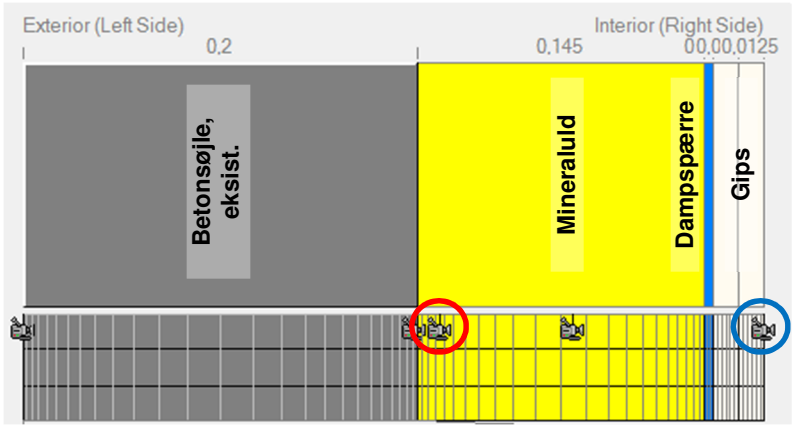
Figur 89 - Simulering af ydervæg indvendigt efterisoleret (25 mm ID 2.2) udfor betonsøjle i WUFI Pro viser de forskellige materialelag. Kameraplaceringer med ring omkring er simuleringer vist på Figur 90 og Figur 91.



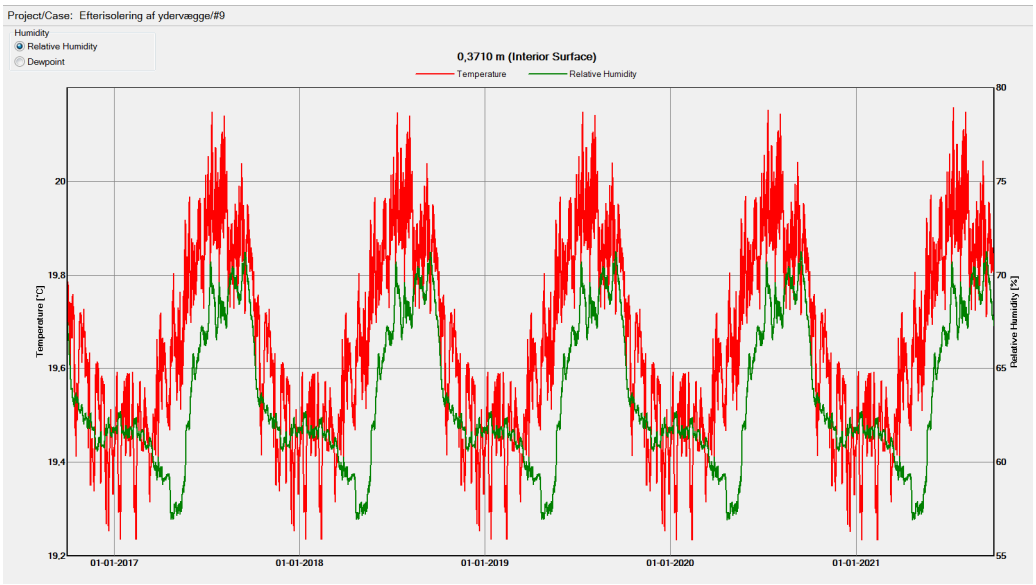
Figur 90 - Resultat af simulering i yderste del af efterisoleringslag (rød markering på Figur 89).



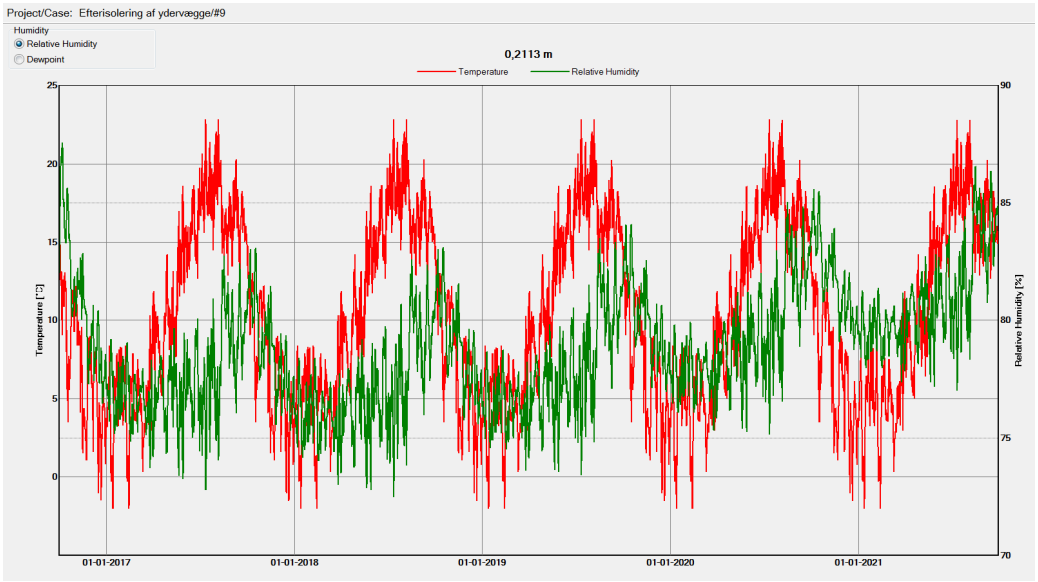
Figur 91 - Resultat af simulering på indvendig overflade (blå markering på Figur 89).



Figur 92 - Simulering af ydervæg indvendigt efterisoleret (145 mm ID 2.5) udfor betonsøjle i WUFI Pro viser de forskellige materialelag. Kameraplaceringer med ring omkring er simuleringer vist på Figur 93 og Figur 94.



Figur 94Figur 93 - Resultat af simulering i yderste del af efterisoleringslag (rød markering på Figur 92).



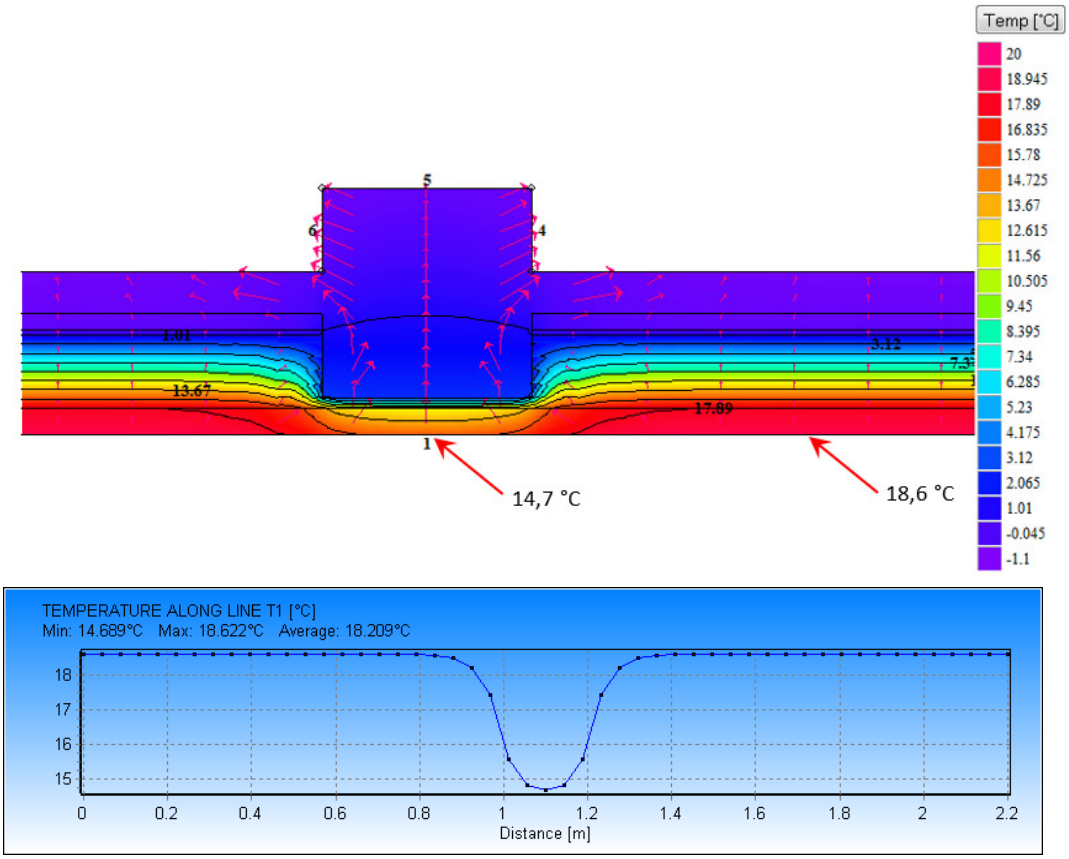
Figur 94 - Resultat af simulering midt i efterisoleringslag (blå markering på Figur 92).

Udvalgte resultater ses i Tabel 19 (simuleringer i bilag B.6.3.2).

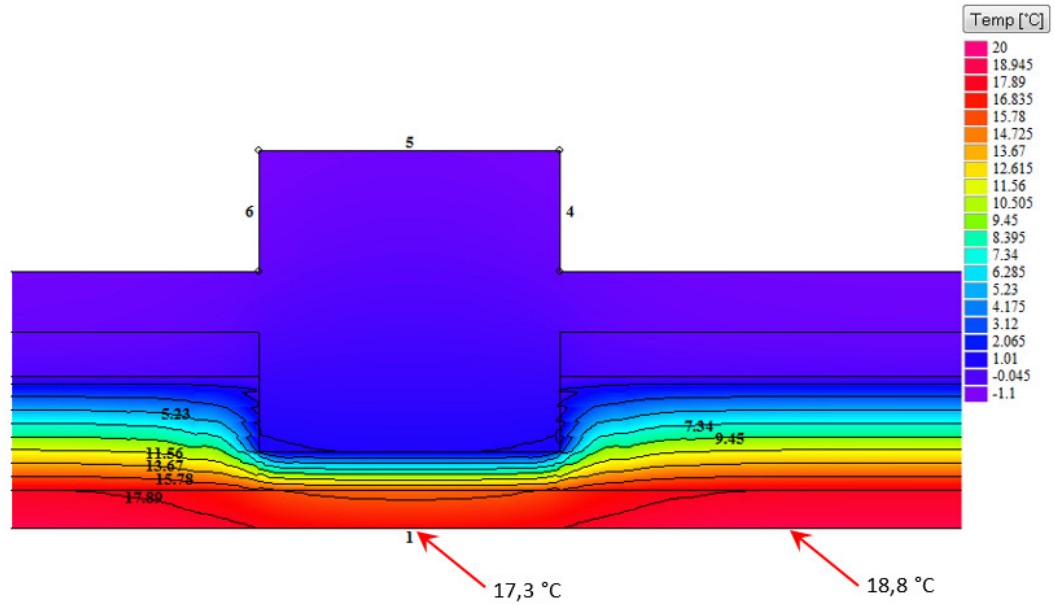
Isolering:	Eksist. tagpap på søjle:	Dampspærre:	Max fugtniveau:
25 mm	Med tagpap	Ja	≤ 75% RF
25 mm	Tagpap fjernes	Ja	≤ 84% RF
145 mm	Med tagpap	Ja	> 90% RF
145 mm	Tagpap fjernes	Ja	> 85% RF

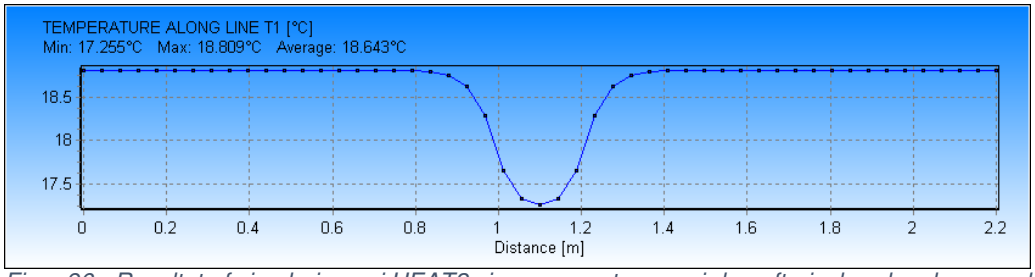
Tabel 19 - Vigtigste resultater af simuleringer i yderste del af efterisoleringslag mod betonsøjle.

HEAT2-simuleringer, se bilag 7.2.2.



*Figur 95 - Resultat af simuleringen i HEAT2 viser varmestrømme i den efterisolerede ydervæg, der er indvendigt isoleret med hhv. 75 mm ved betonelementer og 10 mm udfor betonsøjler. H*er zoomet ind omkring betonsøjle. De røde pile viser spottemperatur ud for hhv. betonsøjle og væggen med betonelementer. *Kurven nederst viser temperaturforløbet langs ydervæggens indvendige side.*





*Figur 96 - Resultat af simuleringen i HEAT2 viser varmestrømme i den efterisolerede ydervæg, der er indvendigt isoleret med hhv. 75 mm ved betonelementer og 25 mm udfor betonsøjler. H*er zoomet ind omkring betonsøjle. De røde pile viser spottemperatur ud for hhv. betonsøjle og væggen med betonelementer. *Kurven nederst viser temperaturforløbet langs ydervæggens indvendige side.*

5.3.4 Resultater af efterisoleringsløsninger i hulrum

Glaser-beregninger, se bilag B.5.2.3.

07-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med hulrumsfyld

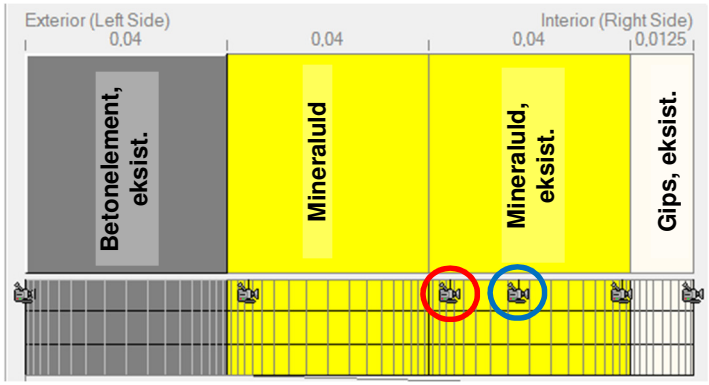
Beregning for: 01 - Januar | Overgangsisola 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,39	-0,6	581,0				546,1	94
					-0,2	600,0				546,1	91
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,18	0,0	609,1	2,00E-12	2,00E+10	774,45	1.320,6	*217*
Mineraluld, granulat hulrumsfyld, kl. 37	0,040	0,037	1,08	10,51	10,5	1267,1	2,00E-10	2,00E+08	7,74	1.328,3	*105*
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	7,77	18,3	2095,6	2,00E-10	2,00E+08	7,74	1.336,1	64
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,49	18,7	2160,3	2,60E-11	5,00E+08	19,36	1.355,4	63
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,26	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,12	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	2,09E+10	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

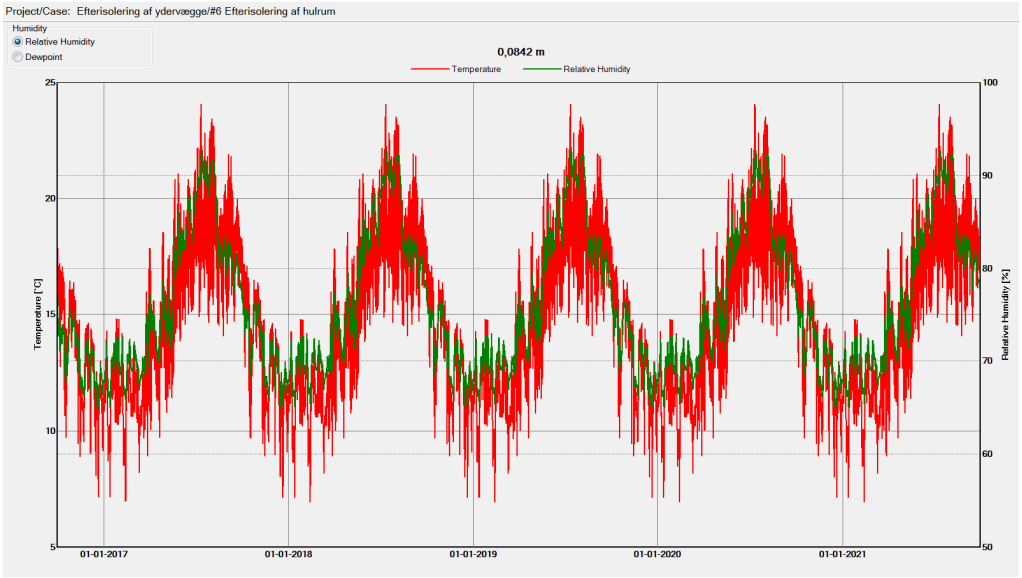
U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,472** W/m²K *0,47*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

Figur 97 – Efterisolering i hulrum (40 mm), beregning for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

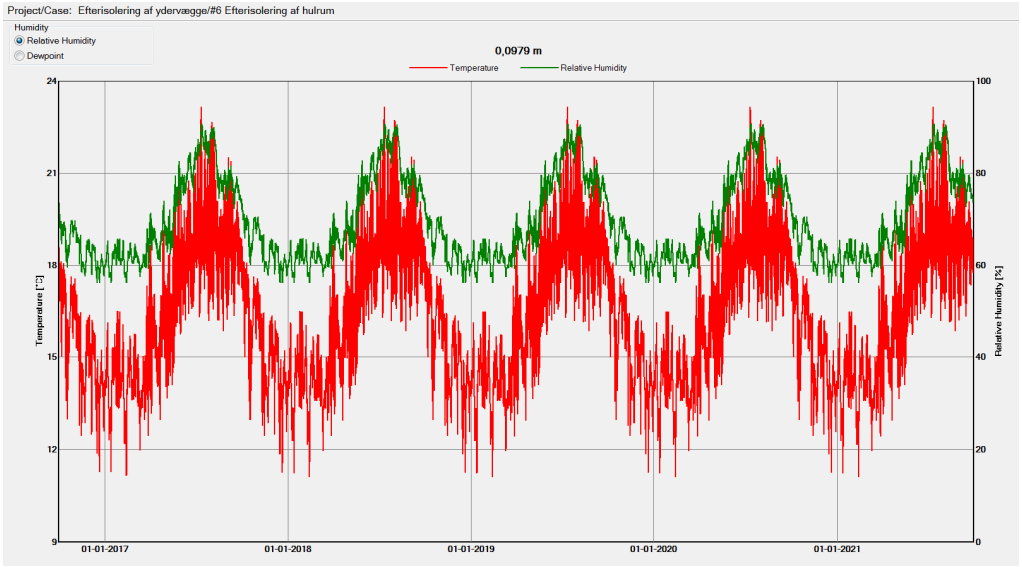
WUFI-simuleringer, se bilag B.6.3.3.



Figur 98 – Simulering af ydervæg med hulrumsisolering (40 mm) i WUFI Pro viser de forskellige materialelag. Kameraplaceringer med ring omkring er simuleringer vist på Figur 99 og Figur 100.

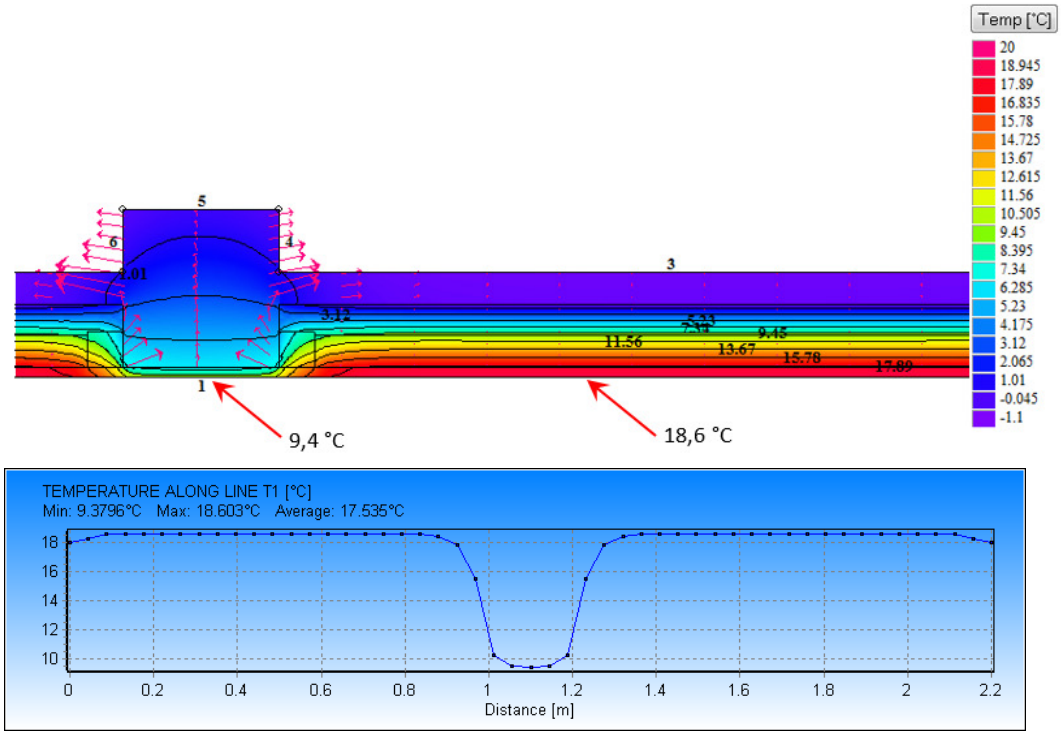


Figur 99 - Resultat af simulering i yderste del af oprindeligt isoleringslag (rød cirkel på Figur 98).



Figur 100 - Resultat af simulering i yderste del af oprindeligt isoleringslag (blå cirkel på Figur 98).

HEAT2-simuleringer, se bilag B.7.2.3.



*Figur 101 - Resultat af simuleringen i HEAT2 viser varmestrømme i ydervæggen, der er efterisoleret i hulrum med 40 mm. H*er zoomet ind omkring betonsøjle. De røde pile viser spottemperatur ud for hhv. betonsøjle og væggen med betonelementer. *Kurven nederst viser temperaturforløbet langs ydervæggens indvendige side.*

5.3.5 Resultater af efterisoleringsløsninger – opsummering

I dette afsnit er der opsummeret på resultaterne for såvel efterisolering indvendigt, udvendigt som i hulrum. Beregning af energibesparelser, prisestimat for etablering og beregning af rentabilitet findes i bilag B.9..

ID:	Isoleringsmængde:		Overfladetemp. Glaser:		Overfladetemp. HEAT2:		Temp. variation:
Nr.:	Ydervæg:	Betonsøjle:	Ydervæg:	Betonsøjle:	Ydervæg:	Betonsøjle:	(Markeret):
1.1	100 mm	20 mm	19,4 °C	17,7 °C	**19,3 °C**	**17,0 °C**	2,3 °C
1.2	150 mm	70 mm	**19,5 °C**	**18,9 °C**	-	-	0,6 °C
1.3	200 mm	120 mm	**19,6 °C**	**19,3 °C**	-	-	0,3 °C
1.4	160 mm	80 mm	**19,5 °C**	**18,9 °C**	-	-	0,6 °C
2.1	75 mm	10 mm	18,9 °C	15,9 °C	**18,6 °C**	**14,7 °C**	3,9 °C
2.2	75 mm	25 mm	18,9 °C	17,4 °C	**18,8 °C**	**17,3 °C**	1,5 °C
2.3	95 mm	30 mm	19,1 °C	17,7 °C	**18,9 °C**	**17,2 °C**	1,7 °C
2.4	195 mm	145 mm	**19,5 °C**	**19,4 °C**	-	-	0,1 °C
2.5	195 mm	145 mm	**19,6 °C**	**19,4 °C**	-	-	0,2 °C
3.1	40 mm	0 mm	18,7 °C	11,5 °C	**18,6 °C**	**9,4 °C**	9,2 °C

Tabel 20 – Resultater af de efterisolerede konstruktioners indvendige overfladetemperaturer. For de konstruktioner der er simuleret i HEAT2 er temperaturer herfra anvendt til beregning af variation.

ID:	U-værdi:	Energibesparelse pr. hus:		Prisestimat pr. hus:	Rentabel:
Nr.:	Samlet:	Sparet varme:	Værdi:	Pris matr.+arb.:	JA/NEJ
1.1	0,33 W/m²K	3.759 kWh/år	2.180 kr/år	52.314 kr.	JA
1.2	0,21 W/m²K	4.243 kWh/år	2.461 kr/år	57.715 kr.	JA
1.3	0,17 W/m²K	4.438 kWh/år	2.574 kr/år	61.906 kr.	NEJ*
1.4	0,22 W/m²K	4.211 kWh/år	2.442 kr/år	122.032 kr.	NEJ
2.1	*Ej undersøgt*	*Ej undersøgt*	*Ej undersøgt*	*Ej undersøgt*	*Ej undersøgt*
2.2	0,49 W/m²K	3.063 kWh/år	1.776 kr/år	55.031 kr.	NEJ
2.3	0,41 W/m²K	3.392 kWh/år	1.968 kr/år	55.653 kr.	JA
2.4	0,19 W/m²K	4.344 kWh/år	2.520 kr/år	65.881 kr.	JA
2.5	0,17 W/m²K	4.427 kWh/år	2.567 kr/år	68.534 kr.	JA
3.1	0,87 W/m²K	1.352 kWh/år	784 kr/år	3.889 kr.	JA

*Tabel 21 - Resultater af de efterisolerede konstruktioners energibesparelse og rentabilitet. *Rentabiliteten for udvendig efterisolering, hvor tagudhæng skal udvides antages ikke at være rentabel, da konstruktionsændringen max må koste ~ kr. 15.400,- jf. Figur 102.*

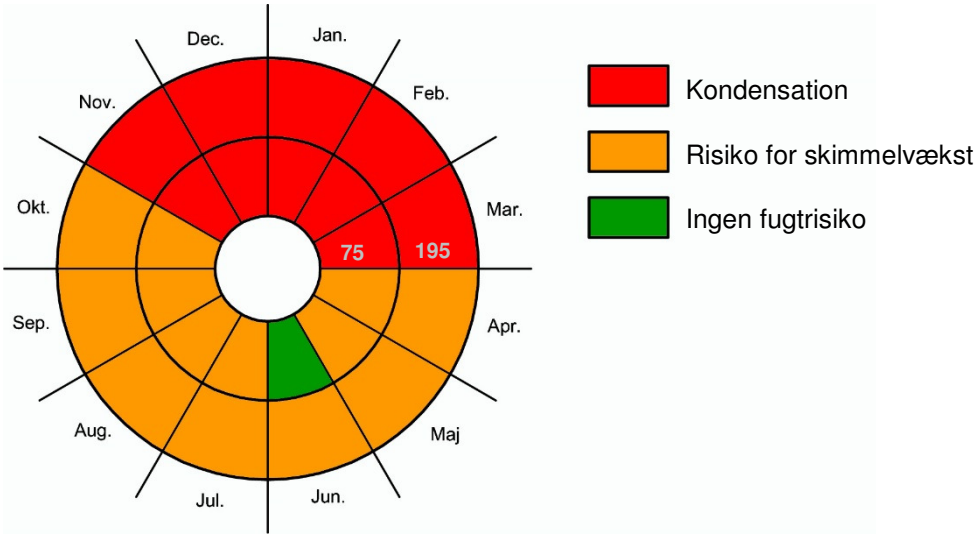
Hvad må det koste at udvidde tagudhænget fra ca. 160 mm til ca. 200 mm?

Investering	=	årlig besparelse		×	levetid	
				1,33		
Investering	=	kr.	2.571,00	×	40 år	
				1,33		
Investering	=	kr.	77.323,31			
Investering udhæng	=	Samlet investering		-	Investering isolering	
Investering udhæng	=	kr.	77.323,31	-	kr.	61.905,82
Investering udhæng	=	kr.	15.417,49	(max)		

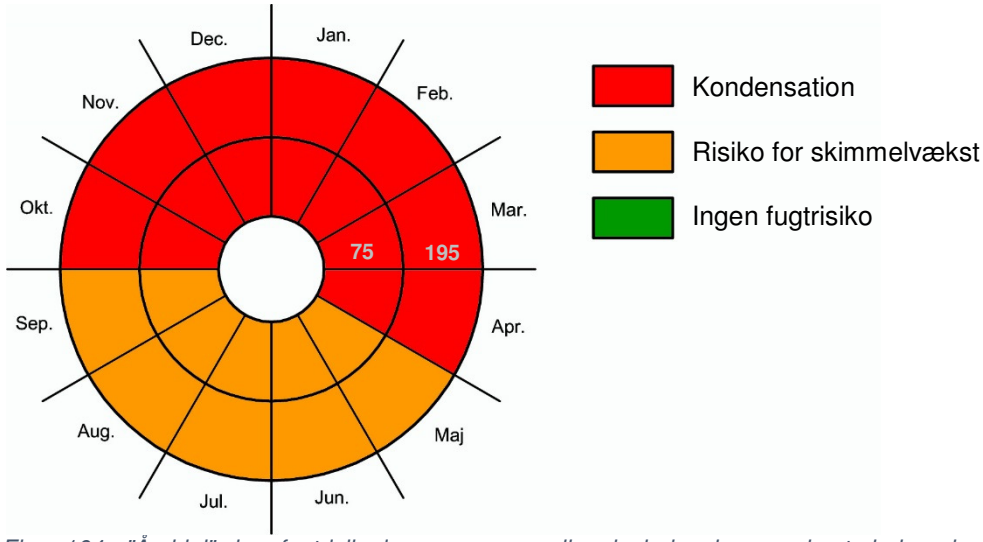
Figur 102 – Beregning med omskrevet rentabilitets-formel for at fastslå, hvad investeringen på et udvidet tagudhæng må være for at tiltaget er rentabelt at udføre.

5.3.6 Resultater af simulering af utæt/manglende dampspærre

Case I – Grenhusene 1958, se bilag B.5.3.1.

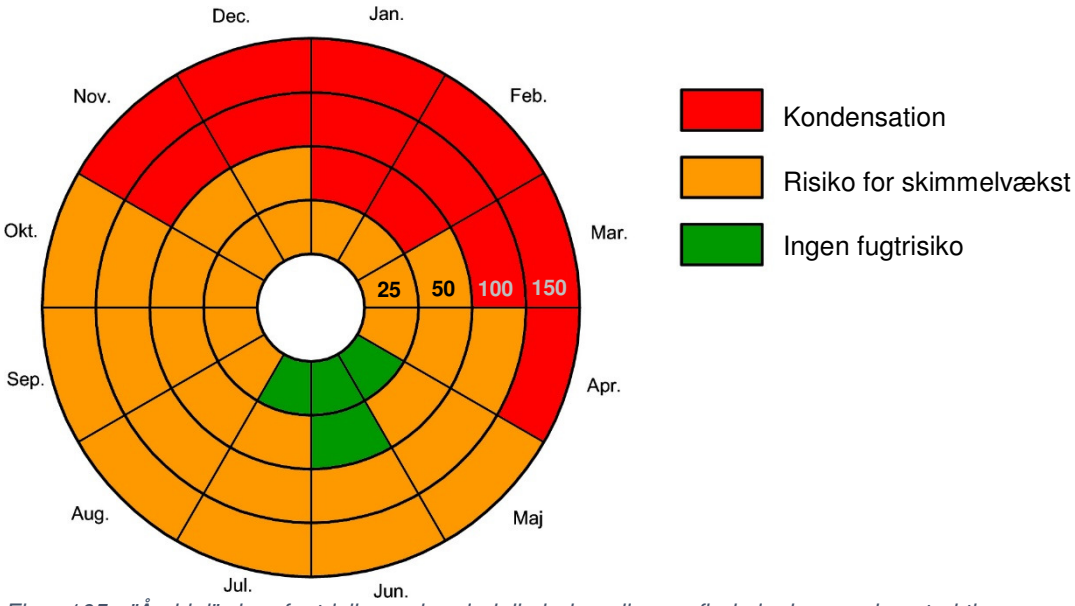


Figur 103 – "Årshjul" viser fugtrisiko i overgangen mellem isoleringslag og yderste hulrum i ydervægskonstruktion efterisoleret indvendigt med hhv. 75 mm og 195 mm, men med defekt dampspærre. Beregnet efter Glasers metode i fugtbelastningsklasse 2.

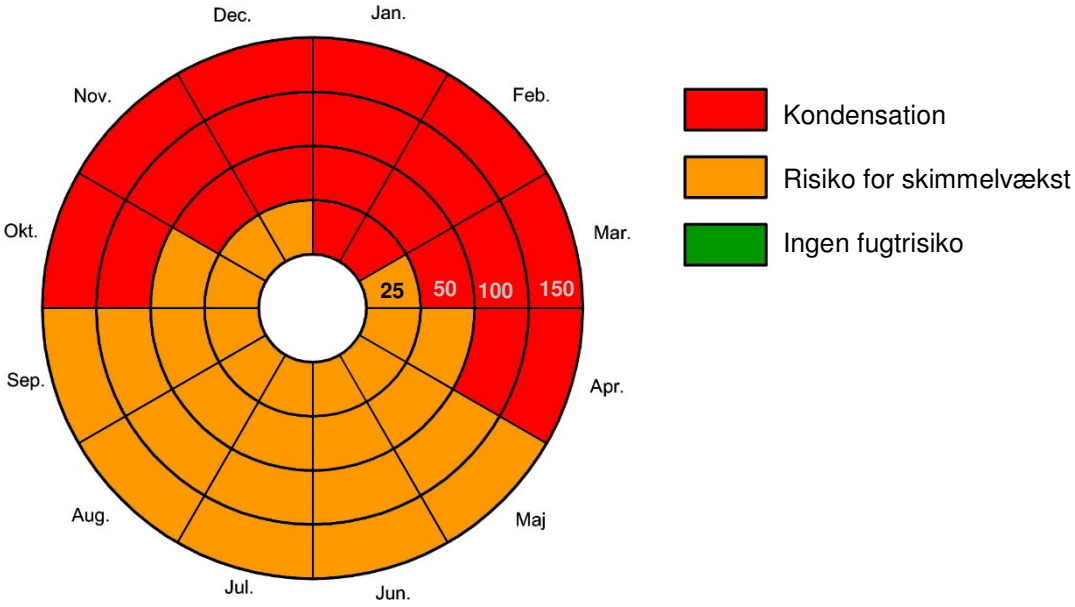


Figur 104 - "Årshjul" viser fugtrisiko i overgangen mellem isoleringslag og yderste hulrum i ydervægskonstruktion efterisoleret indvendigt med hhv. 75 mm og 195 mm, men med defekt dampspærre. Beregnet efter Glasers metode i fugtbelastningsklasse 3.

Case II – Albertslund Syd 1963, se bilag B.5.3.2.



Figur 105 - "Årshjul" viser fugtrisiko ved oprindelig indvendig overflade i ydervægskonstruktion efterisoleret indvendigt med hhv. 25 mm, 50 mm, 100 mm og 150 mm, men uden dampspærre. Beregnet efter Glasers metode i fugtbelastningsklasse 2.



Figur 106 - "Årshjul" viser fugtrisiko ved oprindelig indvendig overflade i ydervægskonstruktion efterisoleret indvendigt med hhv. 25 mm, 50 mm, 100 mm og 150 mm, men uden dampspærre. Beregnet efter Glasers metode i fugtbelastningsklasse 3.

6. Diskussion

Riv ned og byg nyt er en ofte fremsat kommentar om efterkrigstidens betonelementbyggerier. I bl.a. Storbritannien og Tyskland har nedrivning været løsningen flere steder[131]. I det tidligere DDR har mængden og standen af denne type boliger, samt stigende fraflytning, gjort beslutningen nemmere.

Nedrivning er ofte ikke en mulighed, f.eks. af følgende grunde:
- Restlån skal indfries
- Man får i mange tilfælde i lov at bygge samme type boliger og med samme (høje) bebyggelsesprocent.

Derudover er der også spørgsmål om kulturarv og bevaring af tidstypiske boliger. Men hvis byggerierne skal bevare deres værdi er det vigtigt, at man ikke lader stå til og lader folk bo i et "frilandsmuseum". Hvis bevaring er svaret, så må bygningerne opgraderes, så de kan bebos på den måde vi lever i dag.

6.1 Casen - Den eksisterende bebyggelse

Efterkrigstidens byggerier er fra opførelsestidspunktet ringe varmeisoleret. Det bekræftes i den medtagede case, hvor de fleste konstruktioner fremstår originalt varmeisoleringsmæssigt. Grenhusenes isoleringsniveau er der opsamlet på i deldiskussionen kapitel 4.5, af hensyn til fokusområder i den efterfølgende energioptimering.

6.1.1 Fugtniveauer ud fra logninger

Beboeradfærd og de relaterede fugtniveauer, kan have stor betydning for, om en efterisoleringsløsning risikofrit kan anvendes. Særligt da en del af den eksisterende konstruktion i casen består af organiske materialer (træskelet), der er særligt følsom overfor høje fugtniveauer.

I bilag B.3 er resultaterne fra logningerne i boligerne vist, og de er yderligere behandlet i Tabel 8 til Tabel 11.

På udemålingerne ses i enkelte tilfælde temperaturer >20 °C, hvilket må forklares med, at loggeren har været udsat for sol, der har påvirket målingerne. Samlet set er udemålingen fundet brugbar idet sammenligning med referenceåret TRY (Tabel 22) for samme periode ikke afviger væsentligt fra de foretagne målinger.

Temperatur	2,6 °C
Max fugt (g/m^3)	5,7914
RF	91 %
Absolut fugt	5,27
Fugttilførsel	**2,47**

Tabel 22 – Referenceåret TRYs Data for marts måned.

Logningerne blev foretaget i fire udvalgte boliger – to boliger med 2 voksne og 2 boliger med 2 voksne + 2 børn, ud fra den tanke, at der muligvis kunne drages sammenligninger på samme beboersammensætning. Alle boligerne ligger under det fugtbelastningsniveau,

[131] Sverrild, P.

der forventes i boliger af denne type, men der er variationer og sammenligninger i resultaterne.

De laveste fugtbelastninger ses i en af boligerne med 2 voksne (Bolig 4), som det også var forventet. Denne bolig ligger helt nede i fugtbelastningsklasse 1. Højeste fugtbelastning ses i boligerne med 2 voksne + 2 børn, hvor hhv. ca. 1/3 (Bolig 2) og 1/5 (Bolig 3) af logningsperioden i visse rum når op i fugtbelastningsklasse 3. Der er dog ikke langt ned til den sidste bolig (Bolig 1).

6.1.2 Beboeradfærd og fugtbelastningsniveau

Figur 107 – Ved opsætning af loggere i en af de udvalgte boliger kunne det konstateres, at der tørredes tøj for lukkede vinduer (uden udluftning). Det fremgår tillige, at aftrækket fra den vægmonterede emhætte i midten, bagerst i billedet, stopper midt på væggen. Emhætten er altså uden aftræk (formodentlig med kulfilter og recirkulation). På trods af en ikke altid tilrådelig beboeradfærd lå fugtmålingerne i boligerne overraskende i den gode, lave ende.

Figur 107 viser lidt om fugtforholdene i en af de undersøgte boliger. Tøjtørring og manglende aftræk fra emfang bidrager til et øget fugtniveau. Det var derfor overraskende at konstatere, at alle de undersøgte boliger lå i lavere fugtbelastningsklasse (klasse 1 og 2) end det normale gennemsnit for lignende boliger (klasse 3), når der blev set på gennemsnittet af de hjemtagne loggermålinger. Ved yderligere granskning af loggerdata viste det sig, at enkelte boliger/rum lå i højere fugtbelastningsklasse (klasse 3) i 1/5 og 1/3 af logningsperioden.

Årsagen til de gode resultater kan til dels tilskrives, at alle boliger var godt opvarmet i samtlige rum, hvilket ikke normalt er tilfældet. Her skyldes det formodentlig boligafdelingens særlige ordning med fælles varmeregning og ingen individuelle målere i boligerne. Denne ordning kører på dispensation, og på sigt kan individuelle målere og nedsat opvarmning blive en realitet.

Yderligere undersøgelser af loggerdata kunne muligvis afsløre, hvornår fugtbelastningen af boligernes rum ligger i den høje ende. Typisk er det oftest morgen, aften, nat og i weekender, hvor beboerne er hjemme, og hvor der f.eks. kan være flere beboere (deltids-børn etc.). Fugtbelastningen i de undersøgte boliger oversteg den gennemsnitlige fugtbelastningsklasse (klasse 3) < 10% i værste tilfælde. Ud fra det er det ikke skønnet nødvendigt at foretage yderligere undersøgelser.

På baggrund af de gennemsnitlige målinger kunne det forsvares, at der kunne simuleres i en lavere fugtbelastningsklasse end normalt ved undersøgelse af nye konstruktioner. Alligevel valgtes fugtbelastningsklasse 3 ud fra følgende:

- Selvom niveauet gennemsnitligt lå lavere, så lå en del af målingerne i klasse 3 i forholdsvis lange perioder
- I værste tilfælde lå < 10% af målingerne højere end klasse 3
- Det lave fugtniveau kan i høj grad tilskrives de høje rumtemperaturer. Hvis der opsættes varmemålere i boligerne, kan dette hurtigt ændre sig
- Vi bygger for alle, hvilket betyder, at konstruktionerne skal kunne klare fugtbelastninger der svarer til gennemsnittet for lignende boliger.

6.2 Vurdering af løsningsforslag

Ved beregninger og simuleringer er en række forskellige efterisoleringsløsninger undersøgt. For at finde frem til mulige løsningforslag, er der forskellige kriterier, som løsningerne skal kunne opfylde for at være forsvarlige at anbefale. Kriterierne bygger på BR-15 krav om, at energibesparende foranstaltninger skal gennemføres såfremt det er rentabelt og fugtmæssigt forsvarligt at udføre.

6.2.1 Vurdering af efterisolerede ydervægskonstruktioner

Løsningerne er vurderet ud fra kriterierne i Tabel 23, der skal være opfyldt. Derudover skal bygbarhed, f.eks. i forhold til tilstødende bygningsdele, risiko ved forskellige fugtbelastningsklasser og ændret beboeradfærd samt behov for genhusning af beboere i ombygningsperiode tages med i overvejelserne.

Kriterie:	Udfaldskrav:	Nærmere omtalt:
Variation i indvendig overfladetemperatur	Max variation 2-3 °C for at undgå sortsværtning på overflader	Side 26
Minimum indvendig overfladetemperatur	Minimum temperaturer: Skimmelrisiko: < 15,9 °C Kondensrisiko: < 11,5 °C (fugtbelastningsklasse 3, TRY januar)	Side 31
Fugtniveauer gennem konstruktionen	Niveauer > 75% RF (skimmelrisiko) Niveauer 100% RF (kondensering) *Vurderes ift. sted, materialer, temperaturer og mulig udtørring*	Side 30
BR-krav til U-værdier og rentabilitet	U-værdi: 0,18 W/m² K, hvis tiltaget er rentabelt (resultat af rentabilitet > 1,33)	Side 22

Tabel 23 – Kriterier som de efterisolerede bygningskonstruktioner skal overholde for at være forsvarlige at anbefale.

6.2.2 Betonsøjlen – den kritiske kuldebro

Undersøgelserne af de eksisterende forhold viser tydeligt, at betonsøjlerne skaber betydelige kuldebroer i ydervægskonstruktionerne. Udfordringen i forbindelse med efterisoleringsforslagene var i første omgang, hvor tykt et isoleringslag (særligt fugtteknisk), der var forsvarligt at bryde kuldebroen med. Simuleringerne gav andre udfordringer, der fik interessen til at samle sig om det eksisterende lag tagpap på indersiden af betonsøjlerne.

Skal eksist. tagpap bag betonsøjlerne fjernes?
Ud fra teorien om, at flere damptætte lag i en konstruktion ikke må udføres, da eventuel fugt dermed kan lukkes inde (se teoriafsnittet side 35), vil svaret være, at den eksisterende tagpap skal fjernes, da tagpappen har samme Z-værdi som dampspærren. Ved simuleret i WUFI ses resultater i den yderste del af det nye isoleringslag mod betonsøjlen i Tabel 24 (simuleringer i bilag B.6.3.2).

Isolering:	Tagpap:	Max fugtniveau:	Simulering viser:	Bilag B.6.3.2:
25 mm	Med tagpap	< 75% RF	Ingen fugtrisiko	ID 2.2a
25 mm	Tagpap fjernes	op til 84% RF	Risiko for skimmelvækst	ID 2.2b
145 mm	Med tagpap	> 90% RF i lange perioder	Risiko for skimmelvækst	ID 2.5a
145 mm	Tagpap fjernes	> 85% RF	Risiko for skimmelvækst	ID 2.5b

Tabel 24 – Resultater af simulering af indvendig isolering ud for betonsøjle.

Ud fra simuleringerne tyder det på, at tagpaplaget har en effekt, og at RF bliver for høj, hvis temperaturen bliver for lav pga. et tykt efterisoleringslag. Desværre er problematikken ikke så simpel.

Problemet med to damptætte lag er, at der opstår en "fugtfælde" i konstruktionen. Går der f.eks. hul i en dampspærre vil det lukkede hulrum blive fyldt med fugt, som ikke vil kunne slippe ud igen – resultatet er en fugtophobning. Simuleringen viser ikke problemet, da dampspærren her er tæt. Konklusionen er derfor, at tagpaplaget skal fjernes.

Det kritiske ved kuldebroen, som betonsøjlen danner, understreges yderligere i eksemplet med hulmursisolering (afsnit 5.3.4)

6.3 Simulering af defekt dampspærre

I afsnit 5.3.6 ses resultaterne af en beregning efter Glasers-metode, hvor der er simuleret på ydervægskonstruktioner med indvendig efterisolering og defekt/manglende dampspærre.

6.3.1 Valg af metode for simuleringerne

I første simulering er der set på casen vedr. Grenhusene. Metoden for beregningen bygger på, at utætheden i dampspærren, og den deraf ekstra fugtbelastning, fordeles over hele konstruktionslaget. Man kan diskutere, om det forhøjede fugtniveau vil være meget lokalt, der hvor utætheden er, så beregningen for det skadede område i virkeligheden svarer til en simulering uden dampspærre.

I anden simulering er der set på case II vedr. Albertslund Syd, hvor ydervægskonstruktionen er mere traditionel fra efterkrigsperioden. Her er simuleringen af defekt/manglende dampspærre foretaget ved at udelade dampspærren fra beregningen.

6.3.2 Vurdering af resultaterne

Case I, "Grenhusene"
Resultaterne af første case viser tydeligt konsekvensen af en defekt dampspærre. Risikoen for skimmelvækst og kondensation er problematisk uanset isoleringstykkelsen.

Afstand mellem isoleringslag og betonkonstruktion gør gavn i dette tilfælde. Det vurderes ud fra simuleringerne, at eventuel kondens vil kunne udtørre over året, da der i flere måneder er fugtniveauer < 100% RF.

Samlet set giver simuleringen et billede af, at det er en risikofyldt konstruktion, der vil kræve kontrol i udførelsesfasen og opmærksomhed i den efterfølgende driftsfase.

Case II, "Albertslund Syd"
Resultaterne af casen for den mere traditionelle konstruktion viser en sammenhæng mellem øget isoleringstykkelse og øget risiko for skimmelvækst og kondensation. Ikke overraskende, da det øgede isoleringslag vil få temperaturen længere ude i konstruktionen til at falde i vintermånederne.

Også her viser simuleringen, at der er tale om en risikofyldt konstruktion, der kun fungerer med en helt tæt dampspærre. Problemer omkring en utæt dampspærre er her, at den tidligere indvendige overflade nu indbygges i konstruktionen. Er denne overflade ikke renset for organisk materiale (f.eks. tapetrester og lign.) og opstår de rette betingelser (> 75-100% RF), er der stor risiko for skimmelvækst her.

Konstruktionstypen har også betydning, da beton som materiale er væsentlig tættere end f.eks. teglsten. I betonkonstruktioner vil fugten indefra derfor i højere grad blive lukket inde i konstruktionen. Det betyder dog samtidig, at risikoen for udefrakommende fugt, som f.eks. slagregn, er minimal ved beton i en vis tykkelse – men det tager den anvendte Glaser-metode ikke højde for.

6.4 Anbefalet efterisoleringsløsning

6.4.1 Opsummering af vurderinger på løsninger

Resultaterne af vurderingen fremgår af Tabel 25 (se bilag B.5. B.6 og B.7).

ID:	Isoleringsmængde: (fugtprobelmatik)		Overfladetemp. Glaser:		Overfladetemp. HEAT2:		Temp. variation:
Nr.:	Ydervæg:	Betonsøjle:	Ydervæg:	Betonsøjle:	Ydervæg:	Betonsøjle:	(Markeret):
1.1	100 mm	20 mm	19,4 °C	17,7 °C	**19,3 °C**	**17,0 °C**	2,3 °C
1.2	150 mm	70 mm	**19,5 °C**	**18,9 °C**	-	-	0,6 °C
1.3	200 mm	120 mm	**19,6 °C**	**19,3 °C**	-	-	0,3 °C
1.4	160 mm	80 mm	**19,5 °C**	**18,9 °C**	-	-	0,6 °C
2.1	75 mm	10 mm	18,9 °C	15,9 °C	**18,6 °C**	**14,7 °C**	3,9 °C
2.2	75 mm	25 mm	18,9 °C	17,4 °C	**18,8 °C**	**17,3 °C**	1,5 °C
2.3	95 mm	30 mm	19,1 °C	17,7 °C	**18,9 °C**	**17,2 °C**	1,7 °C
2.4	195 mm	145 mm	**19,5 °C**	**19,4 °C**	-	-	0,1 °C
2.5	195 mm	145 mm	**19,6 °C**	**19,4 °C**	-	-	0,2 °C
3.1	40 mm	0 mm	18,7 °C	11,5 °C	**18,6 °C**	**9,4 °C**	9,2 °C

Tabel 25 – Resultater af de efterisolerede konstruktioners indvendige overfladetemperaturer.
- Løsninger med U-værdi der opfylder BR-krav ved ombygning er markeret med grøn
- Konstruktioner uden umiddelbar fugtproblematik er markeret med grøn. Med fugtproblematik

*kritiske steder i konstruktionen er markeret med **orange** (> 75% RF) og **rød** (100% RF)*
*- Overfladetemp. med fugtproblematik er markeret med **orange** (> 75% RF) og **rød** (100% RF)*
- Temperaturvariationer der ikke overholder kriterier er markeret med rød.

ID:	Samlet vurdering af efterisoleret konstruktion	Rentabel:
1.1	Løsningen er fugtteknisk i orden. Eneste bemærkning er variationen mellem overfladetemperaturerne på betonsøjle og væg, der ligger lige på grænsen til at være kritisk.	JA
1.2	Løsningen er fugtteknisk i orden. I vægdelen opstår i perioder fugtniveauer på ≤ 80% RF i hulrummet op af betonsøjlen i den eksist. konstruktion. Det vurderes dog som mindre problematisk. Overfladetemperaturer og variation ser rigtig fine ud på beregningerne.	JA
1.3	Løsningen er fugtteknisk i orden, overfladetemperaturerne er fine, og konstruktionen lever op til BR-krav om isoleringsniveau ved ombygning – men konstruktionen er ikke rentabel at udføre.	NEJ
1.4	Løsningen er fugtteknisk i orden, fine temperaturer på overflader og variationer. Løsningen kræver tillige mindre vedligeholdelse end løsningerne 1.1-1.3 – men konstruktionen er ikke rentabel at udføre.	NEJ
2.1	Løsningen er ikke brugbar. Simuleringer af konstruktionen viser fugttekniske problemer udfor betonsøjle, og temperaturer på overflader og variation er kritiske. Besparelse, pris og rentabilitet er derfor ikke undersøgt.	Ej undersøgt
2.2	Fugtniveauer bag betonsøjler skal vurderes nærmere, fine temperaturer på overflader og variationer – men konstruktionen er ikke rentabel at udføre.	NEJ
2.3	Fugtniveauer bag betonsøjler skal vurderes nærmere, fine temperaturer på overflader og variationer, og konstruktionen er rentabel at udføre.	JA
2.4	Fugtniveauer bag betonsøjler skal vurderes nærmere, fine temperaturer på overflader og variationer, og konstruktionen er rentabel at udføre.	JA
2.5	Fugtniveauer bag betonsøjler skal vurderes nærmere, fine temperaturer på overflader og variationer, konstruktionen lever op til BR-krav om isoleringsniveau ved ombygning, og konstruktionen er rentabel at udføre.	JA
3.1	Løsningen er ikke brugbar. Simuleringer af konstruktionen viser fugttekniske problemer udfor betonsøjle samt i væg, og temperaturer på overflader og variation er kritiske. Konstruktionen er rentabel af udføre.	JA

Tabel 26 – Samlet vurdering af de efterisolerede konstruktioner.

6.4.2 Samlet resultat

Ud fra vurderingerne i forrige afsnit er der kun én løsning, som vil kunne udføres i forhold til de stillede kriterier: Løsning 1.2.

Udvendig efterisolering (1)

En udvendig isolering vil ifølge teorien være at foretrække, da den erfaringsmæssigt eliminerer flest kuldebroer og skaber færre fugttekniske risici. Samtidig er den udvendige løsning til at udføre uden at genhuse beboerne.

Løsning 1.2 kan anbefales uden de store forbehold. Med denne løsning ses den bedste kombination af fornuftige overfladetemperaturer, acceptable fugtniveauer og en bedst mulig løsning i forhold til Bygningsreglementets U-værdi krav, der også er rentabel.

Konstruktionen er dog ikke helt uden bemærkninger. I vægdelens eksisterende konstruktion opstår i perioder fugtniveauer på ≤ 80% RF i hulrummet (bilag B.6.3.1). Det anses dog som mindre problematisk af følgende grunde:

- Problematikken ses kun ved betonelementet i hulrummet. Lidt længere inde i konstruktionen, hvor der findes organisk materiale, er niveauet ≤ 73% RF

- Temperaturniveauet ligger < 16 °C i perioderne med forhøjet fugtniveau, vækst for skimmel er størst i niveauet 20-30 °C
- Der er tale om niveauer på max 80% RF, og der er simuleret i fugtbelastningsklasse 3. Det må siges at være på den sikre side. Ved loggermålinger på stedet lå fugtniveauet generelt lavere.

Indvendig efterisolering (2)
For de indvendige efterisoleringer blev det bekræftet, at løsningen er risikofyldt at udføre, selvom der i casen opbygges en helt ny indvendig konstruktion. Risikoen ligger primært omkring betonsøjlerne, som det er omtalt i 6.2.2. Løsning 2.3-2.5 kræver derfor en nærmere vurdering.

Ved udførelse af efterisoleringen skal tagpaplag fjernes og tætsluttende dampspærre etableres. Simuleringerne viser, at fugtniveauet i isoleringslaget er stigende og kommer op på omkring 84-85% RF uanset isoleringstykkelse, men det er bagved en dampspærre. Særligt to spørgsmål må vurderes for at fastslå, om konstruktionen kan anbefales eller ej:

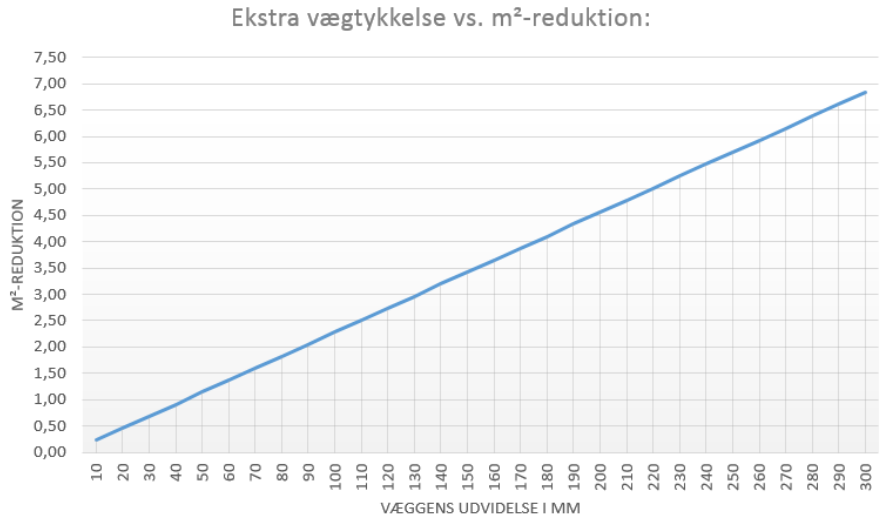
1. Vi regner med stor sikkerhed ved valg af fugtbelastningsklasse 3 og 75% RF-niveau for skimmelrisiko. Er 80-85% RF reelt en risiko?
2. Det er en diskussion uden fast facit, om det er problematisk med eventuel skimmelvækst, når det er bag en tætsluttende dampspærre. Giver det en sundhedsrisiko inde i boligen?

Min holdning til ovenstående spørgsmål er, at jeg som rådgiver ikke vil tage ansvaret for, at det går godt at opbygge en indvendig efterisoleringsløsning her. Med i denne betragtning hører også risikoen for en defekt dampspærre, der dels vil føre til øget fugtbelastning i konstruktionen og dels øge risikoen for, at skadelige stoffer fra eventuel skimmelvækst trænger ind i boligen.

Løsningen kan anvendes med fokus på de nævnte risici, hvis beslutningstagere eller fredning fastlægger, at der ikke må ændres på den udvendige arkitektur. Den største risiko ligger i om der kan udføres en tætsluttende dampspærre, der forbliver tæt. Isoleringstykkelsen er ikke umiddelbart problemet. Så hvis ovenstående problematik tages med i overvejelserne, så kan – og skal – man isolere helt op til BR-krav (løsning 2.5). For at sikre konstruktionen i den efterfølgende driftsfase er det væsentligt, at beboerne bliver gjort opmærksom på, at den nye væg er noget svagere. Brug af søm og skruer i væggen vil kunne forårsage huller i dampspærren og dermed reducere tætheden.

Det vil samtidig være den mest besværlige løsning at udføre. Grovkøkken og køkken har inventar placeret op af ydervæggene, og i øvrige rum skal radiatorer rykkes længere ind i rummet for at skabe plads. Samtidig vil ombygningen være så omfattende, at beboerne skal genhuses i perioden.

Den indvendige løsning tager også bolig-m², da det er nødvendigt at få brudt kuldebroen ved de gennemgående betonsøjler med isoleringsmateriale. Det er dog < 1 m² der inddrages ved de første 0-40 mm væggen udvides, som det fremgår af Figur 108.



Figur 108 – Oversigt over m²-reduktion ved indvendig isolering af de 22,8 m ydervægge pr. bolig ekskl. havefacade og indgangsparti, der ikke er medtaget i efterisoleringseksemplerne.

Hulrumsisolering (3)
Hulrumsisolering er oftest den billigste og mest oplagte efterisoleringsløsning. Det var det også i casen med Grenhusene, men desværre er det også en løsning, der viser fugttekniske problemer. I den eksisterende konstruktion består det isolerede lag af en trækonstruktion med isolering, og her ses fugtniveauer > 75% RF ved simuleringer med hulrumsfyld, hvilket skaber risiko for skimmelvækst. Samtidig forstærkes kuldebroens effekt, hvilket ses i variationen mellem overfladetemperaturen på væggens inderside. På den eksisterende konstruktion var variationen 8,2 °C og den vil øges til 9,2 °C ved hulrumsisoleringen.

Yderligere tiltag
Kommende undersøgelser kunne gå på, hvorvidt det kunne betale sig at efterisolere sokler ved fundamenterne, der selv ved de efterisolerede havefacader står uisoleret. En løsning kunne være at efterisolere med EPS ned til 30-40 cm under terræn – en løsning der kunne undersøges nærmere.

6.5 Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier

Efterkrigstidens byggerier var kun minimalt varmeisoleret, hvilket bekræftes med undersøgelserne i casen om Grenhusene. Lovkrav på dette område indførtes først med Bygningsreglementet i 1961, men undervejs viste det sig, at der var krav til de mange betonelementbyggerier allerede fra 1948. De mange boligbyggerier var statsstøttet, og det udløste et krav om varmeisolering – dog et meget lempeligt krav.

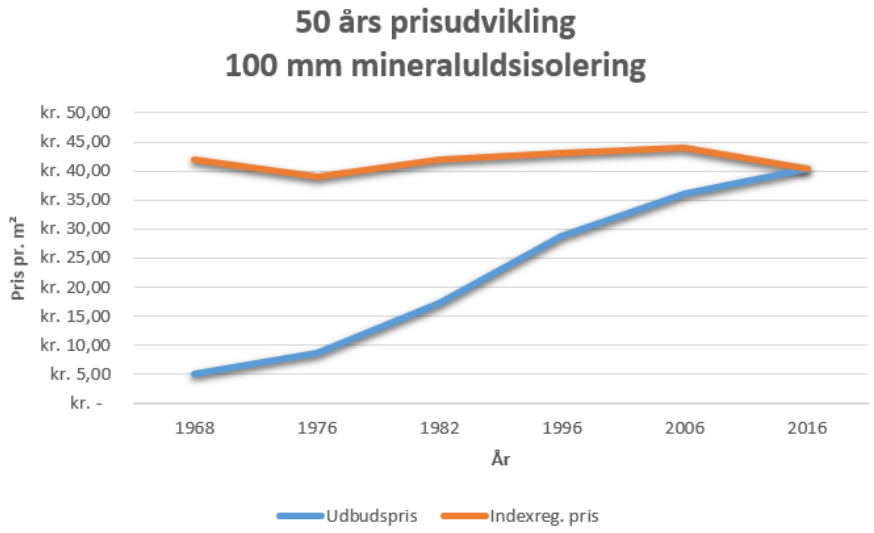
6.5.1 Viden om varme og fugt er ikke ny
Undervejs i gennemgangen af historisk litteratur, støder man flere gange på viden om de bygningsfysiske problematikker ved manglende varmeisolering, kuldebroer og fugtproblematikker. Man kendte altså problematikkerne, og alligevel findes de i byggerier fra perioden. Selv arkitekten bag denne specialerapports case arbejdede i starten af 1950'erne med disse problematikker i Dansk Ingeniørforenings byggeudvalg – og alligevel ses problematikkerne i det opførte byggeri få år senere.

Lovgivningsmæssigt fokuseredes i de københavnske byggelove først på varmeisolering omkring 1939, som omtalt på side 20. Kravet var, at ydervægge skulle udføres som minimum 1½-stensvæg – samme tykkelse, som anses for at være tæt overfor slagregn. Var det varmeisolering eller fugtisolering, der reelt var tale om? Da Statens Byggeforskningsinstitut blev oprettet i 1947 omhandlede de første sager varmeisolering (Anvisning nr. 5, 1950). Første fugtanvisning var anvisning 7, 1951.

Lidt senere i perioden, omkring 1960'erne, ses på fugtproblematikken igen, da Teknologisk Institut kommer frem til, at ca. 80% af alle byggeskader har fugt som årsag, og en stor del af disse skader fremkommer i isolerede konstruktioner. Teknologisk Institut belyser problematikken i "Arkitekten" i 1967[132], hvor det bl.a. konkluderes at *"Det er en sørgelig kendsgerning, at mange husejere efter isolering må betale langt mere for udbedring efter fugtskader, end varmebesparelsen har indtjent"*. I artiklen gennemgås rigtig mange af de problematikker og teorier, som vi i dag arbejder efter, og som der kan læses mere om i afsnittet om fugtteori på side 27. Alligevel er det paradoksalt nok først i Bygningsreglement 2010, at der bliver indført lovkrav om fugtteknisk forsvarlige løsninger ved energirenoveringer.

6.5.2 Udviklingen i prisen på isoleringsmateriale

Det er sjældent, at der udføres mere, end lovgivningen kræver, med mindre det kan give en økonomisk gevinst. Ofte fremsættes den påstand, at en væsentlig grund til at efterkrigstidens bygninger ikke blev isoleret var, at isoleringsmaterialer var dyre. Det postulat kan manes i jorden, for som det fremgår af Figur 109, lå prisen i slutningen af 1960'erne på niveau med i dag, hvis priserne indexreguleres. Sandheden er derfor snarere, at de lave energipriser gjorde, at tilbagebetalingstiden var for lang. Derfor skulle der lovgivning til, for at få byggebranchen til at tænke i varmebesparelser.



Figur 109 – Prisudviklingen for 100 mm mineraluldsisolering fra slutningen af 1960'erne til i dag. Udbudspriserne (listepriserne) er oplyst af Rockwool[133], og priserne er derefter indexreguleret efter oplysninger fra Dansk Statistik.

[132] Thomsen, I.
[133] Rockwool A/S

6.6 Kan man isolere op til nutidige krav?

6.6.1 Rentabilitetskravet kan være en stopklods

Reglen om at isolere op til BR-krav (ved ombygning), hvis det er rentabelt, er god i forhold til at nedbringe varmeforbruget og opgradere den eksisterende bygningsmasse. Samtidig skal man huske, at det er de første mm isolering, der giver mest, og i tilfældet med casen Grenhusene, er der meget fokus på bolig-m². Hvis ønsket om at bevare bebyggelsens udvendige arkitektur står så stærkt, at indvendig isolering er eneste mulighed, så kan et forslag om isolering falde alene på den baggrund, at BR-kravet vil koste ca. 4 m² boligareal pr. hus.

Der kan opnås en god energibesparelse ved at efterisolere med ca. 100 mm. Denne løsning vil gå ca. 4,5 cm ind i rummet og tage ca. 1 m² boligareal pr. hus. Bygningsreglementets krav vil kræve ca. 200 mm isolering, der vil inddrage godt 16 cm / ca. 4 m² boligareal (se Figur 108, afsnit 6.4.2). Da boligerne i forvejen betegnes som små af boligselskabet, ville det blive svært at få den mest vidtgående løsning igennem, men middelvejen ville ikke være lovlig. Resultatet ville formodentlig være, at der så intet blev gjort. At det så viste sig, at den ekstra isoleringsmængde fik løsningen til at falde fugtteknisk, er en anden diskussion.

6.6.2 Økonomiske betragtninger

Boligselskabet udlejer på baggrund af brutto-m² (udvendigt mål). Det vil derfor alene være lejerne, der må ”betale” – i form af færre bolig-m² og en mulig huslejestigning for boligforbedringen. Samtidig er der forskel på finansieringsmulighederne i den almene sektor ift. private boligformer, som det fremgår af Tabel 27.

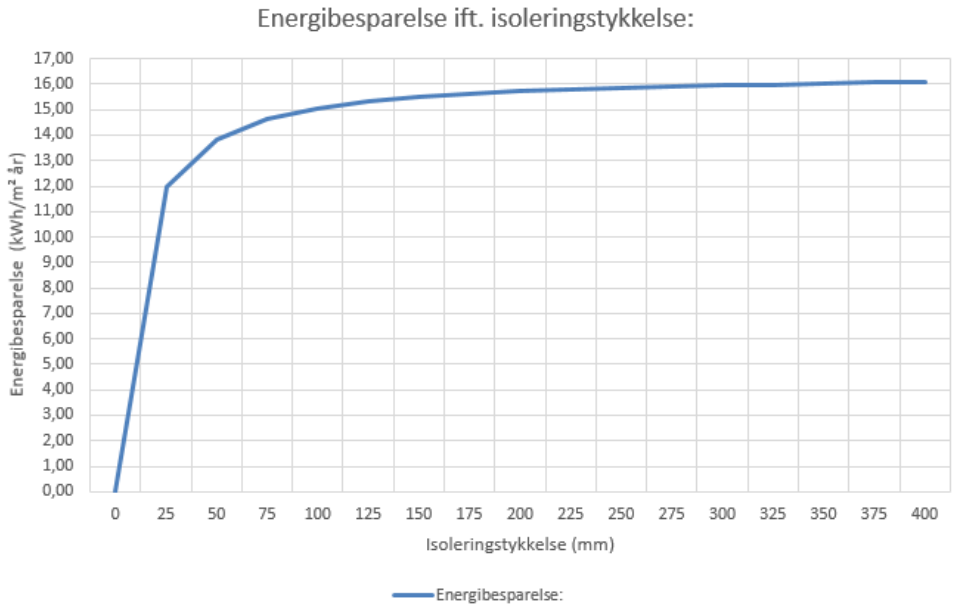
FINANSIERING / EJERFORM	Landsbyggefond	Dispositionsfond / Trækningsret	Realkredit (mange varianter)	GI-lån	Bindingskonti	Bygnings-fornyelsesstøtte	Banklån	Tilskud fra energiselskaber	Egenfinansiering
ALMENE BOLIGER	■	■	■					■	■
PRIVATE UDLEJNINGS-BOLIGER			■	■	■	■		■	■
ANDELS-BOLIGER			■			■	■	■	■
EJER-LEJLIGHEDER			■			■	■	■	■
ØVRIGE EJERBOLIGER			■				■	■	■

Tabel 27[134] – Finansieringsmuligheder i de forskellige boligformer.

Mange af de efterisoleringsløsninger der er undersøgt i casen til denne specialerapport viste sig at være rentable at udføre. Der hvor økonomien ”stikker af”, er der hvor der tillige skal ændres på tilstødende bygningsdele, f.eks. udvidelse at et tagudhæng. Så ryger rentabiliteten.

[134] Holt, J., s. 18

Det er de første cm isolering, der giver den største effekt. Det ses af teoriafsnittet på side 31, og bekræftes i beregningerne der ligger til grund for Figur 110. Omkring indvendig isolering viste det sig, at konstruktionen med 75/25 mm isolering (løsning 2.2) ikke var rentabel, men løsningerne med tykkere isoleringslag var rentable. Overraskende, men går man dybere i prisberegningen er det de ”faste” omkostninger, bl.a. til radiatorflytning, der giver udslaget.



Figur 110 – At de første cm isolering giver den største ses tydligt her, hvor der er regnet på energibesparelse ved isolering af en 4 cm betonvæg. Beregninger findes i bilag B.10.

Hårde isoleringsblokke med pudset overflade må anses for at være den mest traditionelle form for udvendig efterisoleringsløsning. Her lå en anden overraskelse, da det viste sig, at denne løsningsform ikke var rentabel. Det viste sig at være væsentligt dyrere at udføre denne løsning frem for en udvendig skeletkonstruktion, og det kostede rentabiliteten.

Det kan undre, at Bygningsreglementets rentabilitetsformel ikke tager hensyn til drifts- og vedligeholdelsesudgifterne ved de forskellige løsninger. Alle konstruktioner med efterisolering af bygningsdele gives 40 år levetid uden at skele til materialevalg, og investeringen er udelukkende etableringsprisen. Det udelukker i nogle tilfælde de gode, solide løsninger, der er lidt dyrere i etableringsfasen, til fordel for løsninger, der bliver dyrest i længden pga. drift og vedligeholdelse.

Samlet set kan man isolere op til dagens krav ved ombygning, hvis det ikke berører tilstødende bygningsdele.

6.7 Efterkrigstidens byggerier – en generel betragtning

”Betonbyggeri” giver oftest negative associationer. Den megen negative omtale af de store boligbyggerier fra perioden 1950’erne-1970’erne har gjort, at man har glemt, hvad der lå bagved. Den store boligmangel kunne næppe være løst anderledes end ved effektivisering, nytænkning i materialevalg og brug af ufaglært arbejdskraft.

6.7.1 En eksperimenterende tid, hvor ikke alle løsninger var brugbare

De mange eksperimenterende byggerier skabte nye løsninger, det var hele idéen fra beslutningstagernes side, da statsstøtteordningerne i flere perioder krævede brug af utraditionelle løsninger. Ikke alle løsninger viste sig at være lige gode, og vi kæmper med flere problemer omkring manglende varmeisolering og fugtproblemer i byggerierne fra efterkrigstiden.

Man var klar over, at ikke alle de nye byggerier og byggeprincipper kunne være lige gode, men man så det som et led i en udvikling. F.eks. skriver arkitekten Eske Kristensen omkring de utraditionelle byggemetoder i 1955[135]: *"Problemerne omkring de utraditionelle byggemetoder er mange og i hovedsagen uafklarede, simpelthen fordi det hele er så nyt endnu. Vi befinder os i de indledende heats periode, hvor alle "metoder" kan være med. Først når "løbet" har været kørt i nogen tid, vil det være muligt at udskille de bedste, mest bæredygtige, metoder"*.

I dag bygger vi på mange af de erfaringer, som man kan drage af efterkrigstidens byggerier. Men ofte går det alligevel galt. Sven Bertelsen beskriver en del af problematikken ved en forelæsning på Kunstakademiets Arkitektskole således[136]: *"Byggeindustrien adskiller sig væsentligt fra den øvrige fremstillingsindustri på et punkt. Der er ikke etableret et langsigtet og kontinuerligt leverandør og kunde forhold, som man ser i andre brancher. Hver gang en ny byggesag startes op, bliver en række underentreprenører indbudt til de enkelte opgaver baseret på nye kontrakter. Kontrakten er herefter vigtigste styringsredskab for byggeprocessen. Ved arbejdets udførelse og kontraktens udløb, ophører samarbejdet. Dette betyder eksempel vis, at en lang række erfaringer man gør sig herved går tabt. Det lange erfaringsgrundlag er netop i andre fremstillingsindustrier en af deres største styrker, og har stor betydning for branchernes innovation"*.

Hvert byggeri er en prototype, og med henvisning til ovenstående citat kan der også være mere fokus på sit eget entreprenørområde end på, hvordan den samlede bygning bliver udført. Sven Bertelsen satte i sin forelæsning billede på denne problematik med en historie fra det gamle Rom, hvor en besøgende spørger to bygningsarbejdere, der sidder og hugger sten, hvad de laver. *"Jeg hugger sten"* svarer den ene, mens den anden svarer *"Jeg bygger en katedral"*[137]. Det er altså i høj grad også et spørgsmål om den enkelte håndværkers indstilling til eget arbejde, om et byggeri bliver korrekt udført.

6.7.2 Grenhusene – en enlig svale?

Der findes kun få bebyggelser med tanke og indretning som Grenhusene, og de er stort set alle fra den samme periode. Formodentlig er det ændrede statstilskudsordninger og økonomiske krav og muligheder for mere koncentreret udnyttelse af byggegrundene, der har medført, at lige netop denne boligform ikke er særlig udbredt. Mere traditionelle rækkehuse, ofte i flere plan og med "frimærke-haver" præger i dag dette segment.

Overordnet set er det interessant at konstatere, at det i en lang bygningshistorisk udvikling kun er de sidste omkring 150 år, at varmeisolering af bygningerne er blevet omtalt – og kun de sidste 55 år, at der har været lovgivet på området.

[135] Kristensen, S. E., 1955
[136] Lindhardt, M.
[137] Lindhardt, M.

7. Konklusion

Der findes rigtig meget litteratur om efterkrigstidens betonelementbyggerier, og der fandtes allerede tidligt i perioden meget viden om varmeisolering og fugt i bygninger. Alligevel er de bygningsfysiske problematikker omkring varmeisolering og fugt udbredte i datidens byggeri, f.eks. i den case, som gennemgås i denne specialerapport.

Hvorfor har man ikke anvendt den tilgængelige viden? Det kan der være mange årsager til. Først og fremmest er det af økonomiske grunde sjældent, at der udføres mere end nødvendigt lovgivningsmæssigt, og på bebyggelsens opførelsestidspunkt var der meget lempelige krav til varme- og fugtisolering.

De undersøgte boliger i casen om Grenhusene ligger generelt under de kritiske niveauer for fugt og skimmelsager, men de døjer med mange kuldebroer i ydervæggene og et stort varmetab. Eneste grund til at problemerne med fugt ikke er større, peger i retning af boligernes høje rumtemperaturer og dermed meget høje varmeforbrug. Beboerne betaler dyrt for, at konstruktionerne holdes varme og tørre i form af høje varmeregninger, hvilket der bør gøres noget ved.

Det kan i høj grad betale sig at efterisolere efterkrigstidens betonelementbyggerier, men ikke altid helt op til nutidige krav for ombygning/renovering.

Konstruktionerne i sig selv, i casens ydervægge, kan ombygges og efterisoleres op til nutidens krav som en rentabel løsning, når der alene ses på energibesparelse og investering på bygningsdelen isoleret set. Det er dog vigtigt at tage flere aspekter med, herunder tilstødende bygningsdele og ikke mindst fugttekniske egenskaber – særligt de fugttekniske krav kan sætte en stopper for mange løsninger.

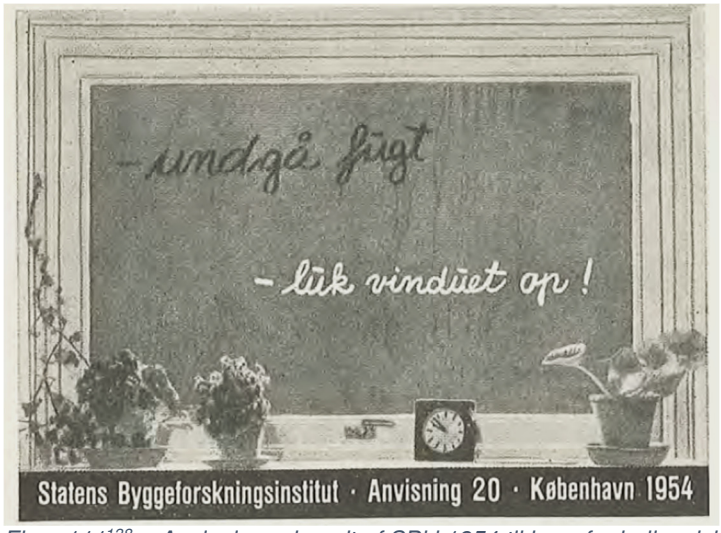
I casen omkring Grenhusene ses, at de tilstødende bygningsdeles udformning kan have stor betydning for, hvad der er rentabelt at udføre. Hvis der f.eks. skal et større tagudhæng til, for at isoleringstykkelsen kan komme helt op på nutidigt niveau, så vil løsningen ofte blive for dyr og ikke længere rentabel. Et andet og meget vigtigt parameter er konstruktionernes fugttekniske egenskaber. Flere af løsningerne der er undersøgt i casen måtte vælges fra pga. fugttekniske problematikker, der på sigt kan nedbryde konstruktionen og/eller skabe dårligt, og i værste fald sundhedsskadeligt, indeklima.

Den supplerende case fra Albertslund Syd, hvor en mere traditionel ydervæg af betonsandwichelementer indgår, bekræfter, at det er meget vigtigt at undersøge konstruktionernes fugttekniske egenskaber inden der tages en beslutning om at efterisolere – særligt hvis efterisoleringen skal foretages på indvendig side.

Konklusionen på undersøgelserne og simuleringer af efterisoleringsløsninger for casen i Grenhusene viser:

- Indvendig efterisolering kan lade sig gøre. Særligt omkring betonsøjlerne skal tykkelsen af isoleringslaget fastægges ud fra de fugttekniske beregninger – for meget og for lidt isolering viser umiddelbart problemer. Samtidig vil det kræve kontrol i etablerings- og driftsfasen.
- Udvendig efterisolering viser de mest sikre bygningsfysiske resultater. Begrænsningen her ligger i rentabiliteten, så isoleringslaget kan højst udføres i en tykkelse, der ikke kræver ændring af de tilstødende bygningsdele.

Meget af den viden, som vi stadig arbejder med i dag, var også kendt da efterkrigstidens byggerier blev opført. En stor udfordring dengang, som vi fortsat kæmper med i dag, er beboeradfærd. Hvis man blot kunne få beboerne til at regulere fugtindholdet i boligerne ville mange følgeskader kunne undgås. SBi udgav allerede i 1954 en folder omkring fugtproblematikkerne under opfordringen *"Undgå fugt – luk vinduet op"* (Figur 111). En folder der lige så vel kunne anvendes i dag – desværre har mange beboere, trods generationsskifte, endnu ikke lært at regulere fugtniveauet i boligerne ned.



Figur 111[138] – Anvisning udsendt af SBi i 1954 til brug for boligselskaberne til udlevering til beboere – den er, desværre, lige så aktuel i dag.

Bliver beboerne informeret godt nok?
Stort set uanset hvilke produkter der handles – fra små el-apparater til dyre biler – så medfølger en brugsanvisning med ansvarsfraskrivelse etc. Når vi taler bygninger, som må betegnes som det dyreste køb vi foretager, så medfølger der ingen vejledning til, hvordan boligen bør bruges.

Særligt i forbindelse med fugtfølsomme konstruktionsopbygninger, hvor perforering af en dampspærre kan have fatale konsekvenser, burde man i høj grad overveje, at udlevere en vejledning. Om den vil blive læst eller ej, er en anden diskussion, men beboeren har i alt fald haft en fair chance for at gebærde sig korrekt.

Er vi gået for langt i jagten på energibesparelser?
Rentabilitetsformlen er indført i Bygningsreglementet for at sikre, at ældre byggerier føres op i retning af nutidens isoleringsniveau, når der ombygges og renoveres. Det er dog paradoksalt, hvis gode energibesparelser ikke bliver gennemført, fordi Bygningsreglementet kræver, at man skal gå hele vejen mod nutidens krav (ved ombygning), hvis det er rentabelt og fugtteknisk forsvarligt.

Det er samtidig lidt mærkeligt, at Bygningsreglementets rentabilitetsformel ikke skeler til drift og vedligehold af de forskellige løsninger. Det udelukker i nogle tilfælde de gode solide løsninger til fordel for løsninger, der bliver dyrest i længden.

Skal vi bygge for alle eller er sikkerheden blevet for høj?
Skal vi bygge for alle? For hvis der hver gang skal tages alle forholdsregler og regnes med høje fugtniveauer pga. forkert brugeradfærd, så bliver det dels meget dyrt at bygge

[138] Becher, P. et al., s. 68

boliger, og i mange tilfælde vil der ikke kunne findes løsninger, som er 100% sikre på alle punkter. Vi må samtidig bruge mange ressourcer på at beskrive og kontrollere dels i byggefasen og den efterfølgende driftsfase.

Et eksempel er Isovers projekt, omtalt på side 32, hvor teknik indbygges for at være så godt som sikker på, at der ikke sker problemer med den indvendige isolering. Måske havde det været bedre at nøjes med en tynd indvendig isolering? Som omtalt på side 31 kunne det give en ok energibesparelse, væsentlig bedre komfort og lille risiko for fugtproblemer. Dette vel at mærke uden øgede driftsomkostninger og til en pris der – uden at kende den endelige pris på Isovers produkt – nok vil have en meget kortere tilbagebetalingstid.

Det må være mest fornuftigt at antage rimelige niveauer, som skaber en kombination af konstruktionsløsninger, der er sikre for flertallet af beboere, men som også er økonomisk rentable.

Den vigtigste lære
Alle taler om at spare på energien, men husk også at tage de fugttekniske forhold med i betragtning – i modsat fald kan en efterisoleringsløsning vise sig at blive mange gange dyrere end energibesparelsen tjener ind.

Kildehenvisning

Litteratur:

Aggerholm, S. et al. – ”Bygningers energibehov – SBi-anvisning 213”, 3. udgave, Statens Byggeforskningsinstitut, 2014

Andersen, H. – "Undersøgelse og vurdering af PCB i bygninger", 2013

Andersen, H. – ”Undersøgelse og vurdering af PCB i bygninger – SBi-anvisning 241”, Statens Byggeforskningsinstitut, 2013

Andersen, N. E. – ”Sommerkondens – En risiko ved indvendig efterisolering af ydermure – SBi-rapport 171”, Statens Byggeforskningsinstitut, 1985

Arctander, P. et al. – ”Tæt lav - en boligform – SBi-rapport 75”, Statens Byggeforskningsinstitut, 1971

Arkitekten – ”Arkitektens ugehæfte”, 57. årgang, Arkitektens Forlag, 1955
Heri primært: Kristensen, S. E. – ”Gren-huse”.

Bech-Danielsen, C. et al. – ”1940’erne og 1950’ernes murede boligbebyggelser – Renoveringsguide”, Realdania, Landsbyggefonden og GI, 2015

Becher, P. – ”Bedre varmeisolering er billigere – Anvisning 5”, Statens Byggeforskningsinstitut, 1950

Becher, P. et al. – ”Fugt og isolering – Anvisning 7”, Statens Byggeforskningsinstitut, 1951

Beck, B. – ”Udførelse af fugtspærre mellem fundament og vægge i ældre, murede bygninger”, BYG-ERFA blad (29)971216, 1997

Bertelsen, S. – ”Bellahøj, Ballerup, Brøndby Strand – 25 år der industrialiserede byggeriet”, Statens Byggeforskningsinstitut, 1997

Boligministeriet – ”Cirkulære om et særligt byggeprogram for montagebyggeri”, 1960

Brandt, E. et al. – "Fugt i bygninger – SBi-anvisning 224", 2. udgave, Statens Byggeforskningsinstitut, 2013

Christensen, G. et al. – ”Fugt og ydervægge – Fugt 7”, Statens Byggeforskningsinstitut, 1974

Christensen, G. et al. – ”Indvendig efterisolering – ældre ydervægge af murværk” BYG-ERFA blad (31)151115, 2015

Christensen, G. et al. – ”Langtidsmåling af fugtforhold” BYG-ERFA blad (99)141005, 2014

Christensen, G. et al. – ”Sortsværtning og støvfigurer”, BYG-ERFA blad (49)121229, 2012

Christensen, G. et al. – ”Ydervæggen som klimaskærm – SBi-anvisning 77”, Statens Byggeforskningsinstitut, 1972

Christensen, J. H. – ”Bygningsfysik – Fugt og bygninger”, Efteruddannelsesudvalget for bygge/anlæg og industri, 2013

Dansk Asbestforening – "Bly vejledningen", 2012

Dansk Ingeniørforening, publikation nr. 0 – ”Rationaliseringsudvalgets arbejde i årene 1954-57”, Teknisk Forlag

Dansk Standard – ”Beregning af bygningers varmetab, DS418”, 7. udgave, 2011

de Place Hansen, E. J. – ”Fugt i træfacader II”, Statens Byggeforskningsinstitut, 2009

de Place Hansen, E. J. (red.) – ”Anvisning om Bygningsreglement 2015 – SBi-Anvisning 258”, 1. udgave, Statens Byggeforskningsinstitut, 2016

Energistyrelsen – ”Eksempelsamling om brandsikring af byggeri”, Energistyrelsen – Klima-, Energi- og Bygningsministeriet, (Byggecentrum), 2012

Engelmark, J. – ”Dansk byggeskik – Etagebyggeriet gennem 150 år”, 2013

Foreningen For Energi & Miljø – ”Energihåndbogen”, 2002

Hansen, M. H. et al. – ”Dampspærrer - monteringsdetaljer”, BYG-ERFA blad (39)151229, 2015

Hermann, E. – ”50’er boligen – en eksempelsamling”, Byggeriets Studiearkiv, Kunstakademiets Arkitektskole, 2000

Holt, J. et al. – ”Bevar, renovér, og spar energi”, Gate 21 (finansieret af GI), 2015

Jensen, G. E. et al. – ”Velfærdsdrømme”, Forstadsmuseet, 2010

Jensen, J. – ”Bly vejledning”, Dansk Asbestforening, 2012

Kjeldsen, M. – ”Byggeriets udvikling fra 1950-60”, jubilæumsnummer af ”Byggeindustrien”, 1961

Koch, S. – ”Arkitektens rolle i den byggetekniske udvikling efter 2. verdenskrig”, Institut for husbygning (IFH) DTH, 1977-1980

Kragh, J. – ”Renoveringsklasser for eksisterende bygninger, vejledning og eksempler – SBi 2016:02”, Statens Byggeforskningsinstitut, 2016

Kristensen, S. E. – ”3-6-9 - En provinsdrengs livsforløb", eget forlag, 1994

Kristensen, S. E. – ”Strejftog - et liv i byggeriets tjeneste”, eget forlag, 1977

Kristensen, S. E. – ”Utraditionelt byggeri”, HfB nr. 15, 1955

Krogh, A. et al. – ”Boligopvarmningsudvalgets forhistorie”, Boligopvarmningsudvalget København, 1948

Københavns Magistrat – ”Københavns byggelov af 29. marts 1939”, 1940

Landsforeningen for bygnings- og landskabskultur – ”Fredningsforslag Grenhusene”, august 2013

Lindhardt, M. (red.) – ”Industriel arkitektur, individualitet og serie”, Kunstakademiets Arkitektskole, 2003

Lund, A. – ”Grøn form Grønt modspil”, om landskabsarkitekten Jørn Palle Schmidt, Arkitektens Forlag, 2007

Morgen, M. A. – ”1940’erne og 1950’ernes murede boligbebyggelser – Bygningskultur og bevaringsværdier”, Realdania, Landsbyggefonden og GI, 2015

Munch-Andersen, J. – ”Efterisolering af etageboliger – SBi-anvisning 221”, Statens Byggeforskningsinstitut, 2008

Møller, E. B. – ”Efterisolering af småhuse - Byggetekniske løsninger – SBi-anvisning 240”, Statens Byggeforskningsinstitut, 2012

Møller, E. B. – ”Fugtkilder – Fugt i luft - Fugt i materialer”, Forelæsningsnotat, SBi/AAU, 2014

Møller, E. B. – ”Skimmelsvampe – Hvilken betydning har de”, Forelæsningsnotat, SBi/AAU, 2014

Nielsen, A. et al. – ”Master i bygningsfysik – Varmelære teori”, Statens Byggeforskningsinstitut / Aalborg Universitet, 2014

Pedersen, C. et al. – ”Anvendelse af alternative isoleringsmaterialer – SBi-anvisning 207”, Statens Byggeforskningsinstitut, 2003

Peschardt-Hansen, H. et al. – ”Regler for beregning af varmetab fra bygninger”, 1. udgave, Dansk Ingeniørforening, 1953 (3. oplag 1957)

Peuhkuri, R. et al. – ”Indvendig efterisolering – Sådan dimensioneres løsninger, som giver holdbare konstruktioner”, Videncenter for energibesparelser i bygninger, 2010

Pontoppidan, J. A. – ”Milliontab eller milliongevinst ved varmeisolering?”, fagbladet Arkitekten, 1967

Poulin, H. L. et al. – ”Vejledning i bygningstermografi”, Teknologisk Institut m.fl., 2014

Rambøll, B. J. – ”Rationelt byggeri”, Teknisk Forlag, 1955

Rasmussen, V. T. - "Byggematerialer med asbest", 2010

Rasmussen, V. T. – "Byggematerialer med asbest – SBi-anvisning 229", Statens Byggeforskningsinstitut, 2010

Schjønning, C. et al. – "Dampspærrematerialer og fugttransport", BYG-ERFA blad (39)151228, 2015

Statens Byggeforskningsinstitut – "Isoler! – Kulde kræver varme koster penge – SBi-anvisning 19", 1954

Sverrild, P. – "Velfærdssamfundets bygninger", Kulturarvsstyrelsen, 2008

Sørensen, P. (red.) – "34 danske huse fra perioden 1950-2000", Kunstakademiets Arkitektskole, 2005

Thomsen, I. – "Milliontab eller milliongevinst ved varmeisolering", fagbladet Arkitekten, nr. 14, 1967

Træinformation – "Træskelethuse – Træ 56", 2008

Tøndering, T. – "Træk af varmeisoleringens historie", Rockwool A/S, 1981

Videncenter for energibesparelser i bygninger – "Bygningsreglement 2015" (notat om ændringer ift. BR10), 2016

Videncenter for energibesparelser i bygninger – "Valg af isoleringsmaterialer – Produktguide", 2011 (rev. juni 2012)

Vorre, B. – "Boligen i det 20. århundrede", Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck, 2008

V&S Prisdata – "Bygningsrenovering – Husbygning, Brutto 2016", Byggecentrum, 2016

Hjemmesider:
Med angivelse af, hvad der er anvendt, og hvornår data er fundet.

https://ioa1.systime.dk/?id=c163 – Systime undervisningsportal, faget International økonomi, om olieprisens udvikling og verdensøkonomien, 26/5-2016

www.arbejdermuseet.dk – Arkiv om industrien under oliekrisen, ABA 33.1, 3/3-2016

www.brunata.dk/dk/dokumentation/lovgivning/danske-regler/ – Om varmemålere, 3/3-2016

www.business.dk/diverse/rockwool-historien – Berlingske Business om Rockwool, 4/4-2016

www.bygerfa.dk/wiki – Vejledning til beboere i lejeboliger, 4/4-2016

www.byggeriogenergi.dk – Energirenovering og dampspærrer, 13/5-2016

www.bygningsreglement.dk – Historiske danske bygningsreglementer, 15/3-2016

www.dabbolig.dk – DABs hjemmeside, information om udlejning mv., Grenhusene, 15/3-2016

www.danskbyggeskik.dk – Historiske artikler og anden litteratur. Anvendt litteratur er angivet særskilt i afsnittet med litteratur

www.denstoredanske.dk – Gyldendals leksikon

www.forstadsmuseet.dk – Om arkitekten Svenn Eske Kristensen og hans 11 byggerier i Hvidovre, 27/3-2016

www.hvidovrefjernvarme.dk – Tastblad på fjernvarme, case, 27/3-2016

www.isover.dk – Informationer om produkter og historisk baggrund, 14/5-2016

www.kommuneplan2009.hvidovre.dk – Kommuneplanens beskrivelse af Grenhusene, 27/3-2016

www.kulturarv.dk – Om arkitekten Svenn Eske Kristensen, 25/1-2016

www.kulturarv.dk/fbb – Fredede & bevaringsværdige bygninger, søgning Grenhusene, 27/3-2016

www.retsinformation.dk – Byggeloven, seneste reviderede udgave af 2010, 27/3-2016

www.sa.dk/danmarkshistorien/nyt-i-arkivet/oliekrisen – Rigsarkivet om danske oliekriser, 26/3-2016

www.skimmel.dk – Information om skimmelsvamp, 27/3-2016

www.tidsskrift.dk – Registreringstidende for vare- og fællesmærker 10.8.83, 31/3-2016

www.youtube.com/watch?v=F6_-sk2bmO8 – ”Filmen om Engstrands Allé”, 23/3-2016

Øvrige kilder:

DAB, inspektør Michael Skov – DABs bebyggelse ”Grenhusene” i Hvidovre

Danmarks Kunstbibliotek – Arkitekt Svenn Eske Kristensens tegningsarkiv

IDA Bygningsfysik – “Indvendig efterisolering – Producenternes bedste løsninger og den nyeste viden fra forskningen“, Ingeniørforeningen Danmark, erfaringsmøde om indvendig efterisolering, 29/3-2016

IDA Syn & skøn – “Pudssystemer på pladematerialе og hård isolering”, Ingeniørforeningen Danmark, erfaringsmøde om udvendig efterisolering, 17/3-2016

Rockwool A/S, Teknisk Service, Flemming Raahauge

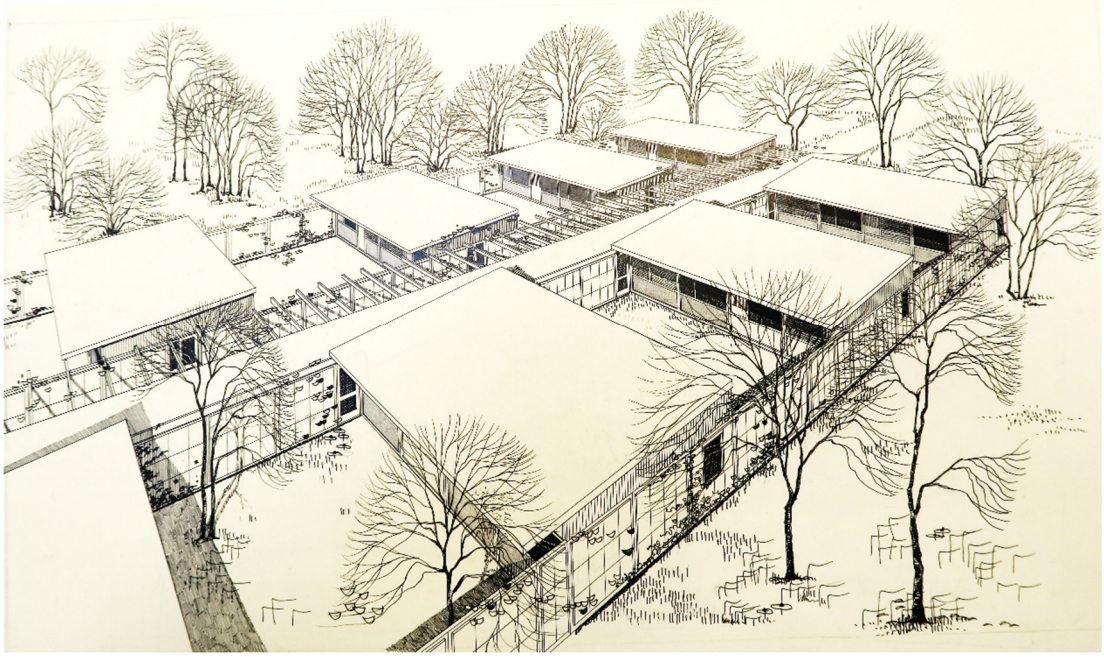
BILAGSRAPPORT

Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier

- Oprindelige forhold og efterisoleringsmuligheder

Per Juel Hansen
Master i Bygningsfysik F16

Masterspeciale afleveret 1. juni 2016



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

Bilagsoversigt

B.1 Bygningsreglementet – Historisk baggrund 4
B.1.1 Krav og regler til varmeisolering 1960 til i dag 4

B.2 Tegningsmateriale, case "Grenhusene" 8
B.2.1 Tegninger, eksist. forhold, Danmarks Kunstbibliotek 8
B.2.1.1 Bebyggelsesplan 8
B.2.1.2 Plantegning, boligtype A og B 9
B.2.1.3 Delsnit i ydervæg, lodret snit 10
B.2.1.4 Detalje – Vandret snit i betonsøjle og ydervægge 10
B.2.1.5 Facadeopstalter 11
B.2.2 Dansk Standard – 1950 12
B.2.2.1 Dansk Ingeniørforenings Normer for betonplankeværker 12
B.2.3 Plantegninger – Registrerede forhold 14
B.2.3.1 Plantegning – Bolig 1 14
B.2.3.2 Plantegning – Bolig 2 15
B.2.3.3 Plantegning – Bolig 3 15
B.2.3.4 Plantegning – Bolig 4 16
B.2.3.5 Plantegning – Bolig 5 16

B.3 Data fra logninger 17
B.3.1 Udeforhold 17
B.3.2 Grovkøkken 17
B.3.3 Køkken 19
B.3.4 Soveværelse 20
B.3.5 Kammer 21
B.3.6 Behandling af loggerdata 22

B.4 Bygningstermografering – Rapport 23

B.5 Beregninger efter Glasers metode 36
B.5.1 Glaserberegninger – Eksist. forhold 36
B.5.2 Glaserberegninger – Nye løsninger 39
B.5.2.1 Udvendig efterisolering 39
B.5.2.2 Indvendig efterisolering 49
B.5.2.3 Hulrumsisolering 57
B.5.3 Glaserberegninger – Simulering af utæt dampspærre 58
B.5.3.1 Case I – Grenhusene, defekt dampspærre 58
B.5.3.2 Case II – Albertslund Syd, uden dampspærre 59

B.6 Simulering i WUFI 60
B.6.1 WUFI-simulering – Generelle indstillinger for simuleringer 60
B.6.2 WUFI-simulering – Eksisterende forhold 64
B.6.3 WUFI-simulering – Nye forhold 69
B.6.3.1 Udvendig efterisolering 69
B.6.3.2 Indvendig efterisolering 71
B.6.3.3 Hulrumsisolering 80

B.7 Simulering i HEAT2 82

B.7.1 HEAT2-simulering – Eksisterende forhold 82
B.7.2 HEAT2-simulering – Nye forhold 83
B.7.2.1 Udvendig efterisolering 83
B.7.2.2 Indvendig efterisolering 84
B.7.2.3 Hulrumsisolering 87
B.8 Grenhusenes varmeforbrug 88
B.8.1 Graddagekorrigeret normalårsforbrug og sammenligning 88
B.8.2 Takstblad Fjernvarmeselskabet ”FD Hvidovre” 89
B.9 Energibesparelser og rentabilitet 90
B.10 Energibesparelse ift. isoleringstykkelser 100
B.11 Udvalgte datablade 101
B.11.1 Isoleringsmaterialer 101
B.13.1.1 Rockwool Flexibatts (uddrag af produktblad) 101
B.11.1.2 Rockwool 101
B.11.1.3 Weber/Isover Facadekoncept Plade (uddrag af produktblad) 102

B.1 Bygningsreglementet – Historisk baggrund

B.1.1 Krav og regler til varmeisolering 1960 til i dag

Baggrundsmateriale for tabel over BR-krav til varmeisolering. Fokus på de landsdækkende lovkrav, særligt med krav til ydervægge og boliger, da det er emnet for denne specialerapport.

Om kravet er angivet som k-værdi eller den senere U-værdi-betegnelse har ingen praktisk betydning. I BR61 og BR66 blev k-værdierne udelukkende angivet med enheden kcal/m² h. ℃. Fra og med BR72 begyndte brugen af enheden W/m² ℃ i lighed med det vi i dag benytter. Til omregning mellem de to enheder kan bruges følgende faktor:

- 1 W/m² ℃ ~ 0,85 kcal/m² h. ℃.

I BR61 var minimumskravet til bygningskonstruktionernes varmeisolering angivet i k-værdier svarende til kcal/m² h. ℃.

Beregningerne skulle foretages efter Dansk Ingeniørforenings ”Regler for beregning af varmetab fra bygninger”, vedtaget 18. august 1952. Fugt blev en del af lovteksten med følgende tekst: *”Udvendige bygningsdele skal udføres på en sådan måde, at varmetabet ikke forøges væsentligt som følge af fugt”* (BR61, §8.1, stk. 4).

Ydervægge af glas skulle overholde krav som for vinduer. Lette ydervægge kunne overholde kravet med en træskeletvæg med 7 cm mineraluld. Opbygningen kunne eventuelt udføres med 5 cm beton udvendig i stedet for træ. For de tunge vægge var det fortsat muligt at opføre massive vægge med tegl udvendigt, hvis der blev anvendt mangehulsten eller letklinkerbetonsten i bagmuren.

I BR66 blev der ikke ændret væsentligt på disse krav. Det blev tilføjet at bygningskonstruktioner, der skulle varmeisoleres iht. krav, kun måtte indeholde kuldebroer i uvæsentligt omfang, ligesom fugt og blæst ikke måtte forøge varmetabet væsentligt.

Det blev præciseret, at ydervægge i tegl i bygninger over 2 etager skulle overholde 1,10 kcal/m² h. ℃ i maksimalt varmetab. I BR61 var kravet angivet til 1,1 kcal/m² h. ℃, hvilket en konstruktion med k-værdi 1,14 kcal/m² h. ℃ principielt også ville overholde. Samme præcisering galt for ydervægge med vægt <100 kg/m², der blev ændret fra 0,5 kcal/m² h. ℃ til 0,50 kcal/m² h. ℃.

I BR72 igen ingen væsentlige ændringer for k-værdi-kravene angivet i kcal/m² h. ℃. Ændringerne her var overgangen fra at regne i kcal/m² h. ℃ til at regne i W/m² ℃, som vi også kender det i dag. Vindtæthed blev skærpet en anelse, idet konstruktioner særligt udsatte for vindpåvirkning skulle afdækkes med vindtæt materiale.

I BR77 skete en væsentlig stigning i kravet til varmeisolering af bygninger. Der var indført en overgangsperiode, så kravene i det nye bygningsreglement var først gældende fra 1. februar 1979.

Der fandtes nu to forskellige grupper af k-værdier alt efter om bygningen skulle opvarmes til mindst 10 ℃ eller 18 ℃. Da dette speciale omhandler boligbyggeri er det udelukkende kravene for rumopvarmning til mindst 18 ℃, der er medtaget. Vægtangivelsen af

ydervæggene var blevet præciseret til, at det kun galt vægten af den del af ydervæggen, som befandt sig på den indvendige side af et eventuelt ventileret hulrum.

Overholdelse af kravene skulle nu ske enten efter Dansk Ingeniørforenings "Regler for beregning af bygningers varmetab" (nu DS418) eller "*ved måling på grundlag af forsøgsbetingelser godkendt af boligministeriet"*, som det hedder i bygningsreglementet fra dengang.

Der indførtes krav til maksimale vindues- og øvrige glasarealer svarende til 15% af bygningernes bruttoetageareal (udvendig side af de begrænsende ydervægge). For etageejendomme skulle bruttoetagearealer og vinduer i butikker og lignende i stueplan ikke medregnes. Kælder skulle kun medregnes såfremt der kunne indrettes arbejds- eller beboelsesrum.

Den samtidige indførelse af muligheden for beregning af varmetabsramme gjorde, at glasarealerne kunne forøges. En varmetabsramme udregnes med bygningsreglementets kravværdier, inkl. de 15% glasarealer. Derefter regnes en varmetabsberegning med de reelle k-værdier og andel af glasarealer. Varmetabsberegningens resultat skal ligge under eller lig med varmetabsrammen for at overholde bygningsreglementet.

Derudover hed det sig, at anvendte materialer og konstruktioner skulle sikre, at unødigt varmetab blev undgået.

I BR82 skete ingen væsentlige ændringer på varmeisoleringsområdet.

BR-S 85 var første småhusreglement, som kun var gældende for én-bolig bebyggelser. Større byggerier skulle fortsat følge BR82.

I dette bygningsreglement indførtes muligheden for beregning af energibehovsberegning, hvor varmetilførsel fra personer, husholdningsapparater, belysning, solindfald etc. medregnes (en netto-energiramme).

Der kunne fortsat regnes efter metoderne fra det tidligere bygningsreglement, og kravene til k-værdier var stort set de samme. Fra 1. april 1986 øgedes kravet til ydervægge < 100 kg/m².

I BR95 indførtes nye regler med virkning fra 1. april 1996. Alle bygninger opvarmet til over 5 °C skulle overholde varmeisoleringskravene.

Der var nu valgmulighed for beregning af varmeisoleringen efter 3 metoder:
1) Ved brug af bygningsreglementets U-værdier for samtlige konstruktioner
2) Ved brug af metoden for varmetabsramme og varmetabsberegning
3) Ved brug af metoden for energiramme for bygningen.

Eventuelle kuldebroers virkning skulle nu indgå i beregningen af varmetabet for de enkelte bygningsdele.

Der ændredes nu til ét sæt værdier for bygninger opvarmet til over 18 °C under den nye betegnelse "U-værdier" (samme betydning som k-værdier). Andel af glasarealet i bygningerne øgedes til maksimalt 22% af det opvarmede etageareal med samme undtagelse for butikker og lignende som tidligere. Benyttedes beregningsmulighed 2 galt et særligt sæt U-værdier som minimum for konstruktionerne.

BR-S 98 var det andet reglement, og indtil nu sidste, som kun var gældende for én-bolig bebyggelser. Kravene til beregning af varmetab for konstruktioner og hele bygninger fulgte nu bygningsreglementet for større ejendomme, BR95.

I BR08 skete der igen væsentlige ændringer i kravene til bygningers maksimale energiforbrug, herunder maksimale varmetab.

Det indførtes, at det for nye bygninger, undtagen sommerhuse, ikke kun drejer sig om energiforbruget til opvarmning, som tidligere har været målet med at begrænse varmetabet gennem de enkelte bygningsdele. Nu bliver beregning af energiramme et krav, så også energiforbruget til varmt vand, ventilation, køling og belysning skal beregnes. Samtidig indføres tæthedskrav, der stikprøvevis skal trykprøves med blowerdoor-test efter endt opførelse. En blowerdoor-test udføres ved montering af en digitaltstyret ventilator på en af bygningens yderdøre, hvorefter der skabes overtryk i bygningen og utætheder kan måles. Det bliver op til den lokale byggemyndighed at afgøre omfanget og hvilke byggerier, som trykprøvningen skal omfatte. Dog skal minimum 5% af byggesagerne kontrolleres.

Der udkom en særlig SBi-anvisning (SBi-anvisning 213[139]) med vejledning og en tilhørende beregningskerne. Værktøjet bliver et krav at anvende for alle bygninger der opvarmes til mere end 15 °C, og energiberegningen skal indsendes digitalt til et særligt sekretariat i forbindelse med indsendelse af byggeandragende til den lokale byggemyndighed. Selv når energirammen opfyldes må det dimensionerende transmissionstab (varmetab) gennem bygningens konstruktioner, eksklusive tabet gennem vinduer og døre, ikke overstige følgende værdier:

- Bygninger i 1 etage: ≤ 6 W/m²
- Bygninger i 2 etager: ≤ 7 W/m²
- Bygninger i 3 etager og derover: ≤ 8 W/m²

Ved ændret anvendelse samt om- og tilbygninger, kan der som alternativ til beregning af energiramme i stedet anvendes de tidligere beregningsmetoder for enten maksimale U-værdier eller varmtabsramme og varmetabsberegning. U-værdierne er de samme som BR95 og BR-S98, dog ændres betegnelsen pr. grad fra °C til K (Kelvin). Betydningen er den samme.

U-værdi for ydervægge samles nu under ét uanset tung eller let konstruktion. Det bliver den tidligere U-værdi for lette ydervægge, der nu gælder for begge konstruktionstyper. Samtidig indføres krav til maksimale linjetab bl.a. ved overgangen mellem ydervægge og vinduer/yderdøre etc.

For ombygninger og renovering af eksisterende bebyggelser indføres særlige krav. Der skal nu regnes på, om det er rentabelt at energirenovere i forbindelse med renoveringsarbejder. Formlen hedder (levetid × besparelse) / investering > 1,33. For efterisolering af bygningsdele anvendes 40 års levetid, og "investering" skal forstås som merinvesteringen for de energiforbedrende tiltag.

I BR10 videreføres reglerne fra BR08 med en skærpelse af enkelte krav. Energirammer for nybyggeri skærpes, og der indføres nye lavenergiklasser LE-2015 og bygningsklasse BK-2020, hvor byggerier frivilligt kunne energioptimeres højere end lovkravet. Allerede

[139] Aggerholm, S. et al.

her var tanken, at et nyt bygningsreglement i 2015 skulle skærpes yderligere, så LE-2015 til den tid blev minimumskravet.

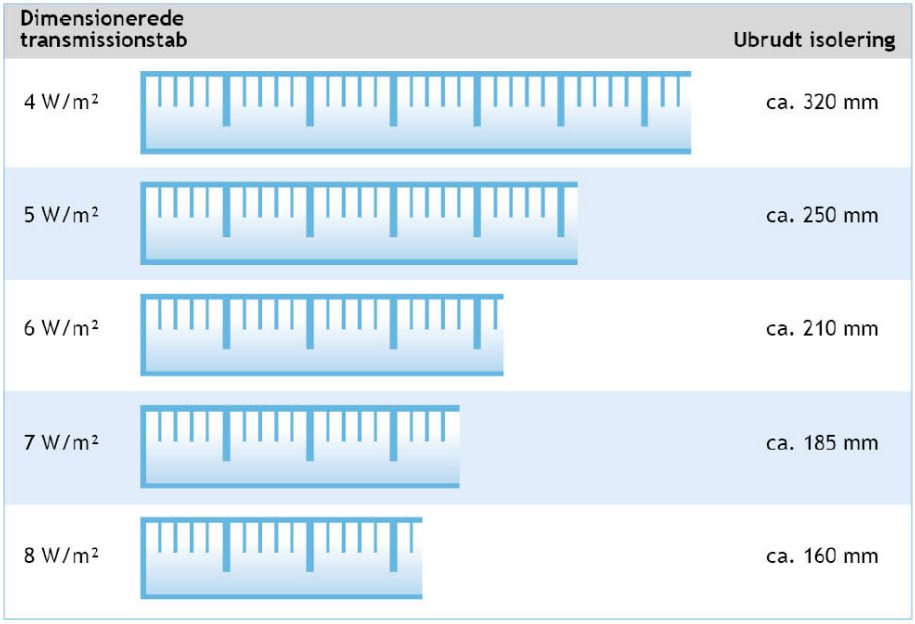
Det dimensionerende transmissionstab gennem bygningens konstruktioner, eksklusive tabet gennem vinduer og døre, hæves og må nu ikke overstige værdierne anført i Tabel 28. Krav til resultat af energirammeberegningen kategoriseres efter bygningens anvendelse. I Tabel 29 fremgår reglerne for boliger.

	Standard Kl. 2010	**LE-2015**	**BK-2020**
1 etage	5 W/m²	4 W/m²	3,7 W/m²
2 etager	6 W/m²	5 W/m²	4,7 W/m²
3 og flere etager	7 W/m²	6 W/m²	5,7 W/m²

Tabel 28 – Dimensionerende transmissionstab i BR10.

	Standard Kl. 2010	**LE-2015**	**BK-2020**
For boliger (kWh/m² pr. år)	52,5 + 1650/opvarmet etageareal	30 + 1000/opvarmet etageareal	20

Tabel 29 - Energiramme for boliger i BR10.



Figur 112 - Mindste ubrudt isoleringslag ift. kravet til dimensionerende transmissionstab[140]

Ændret anvendelse og tilbygninger må fortsat benytte de tidligere beregningsmetoder for enten maksimale U-værdier eller varmtabsramme og varmetabsberegning. U-værdierne skærpedes, og der indførtes to kategorier hhv. for bygninger opvarmet til > 15 °C og mellem 5 °C til 15 °C. Da denne specialerapport omhandler boliger, er kun det skrappeste krav til opvarmning > 15 °C medtaget. Ombygning og renovering følger kravet fra BR08.

I dag er gældende reglement bygningsreglement 2015 (BR15).

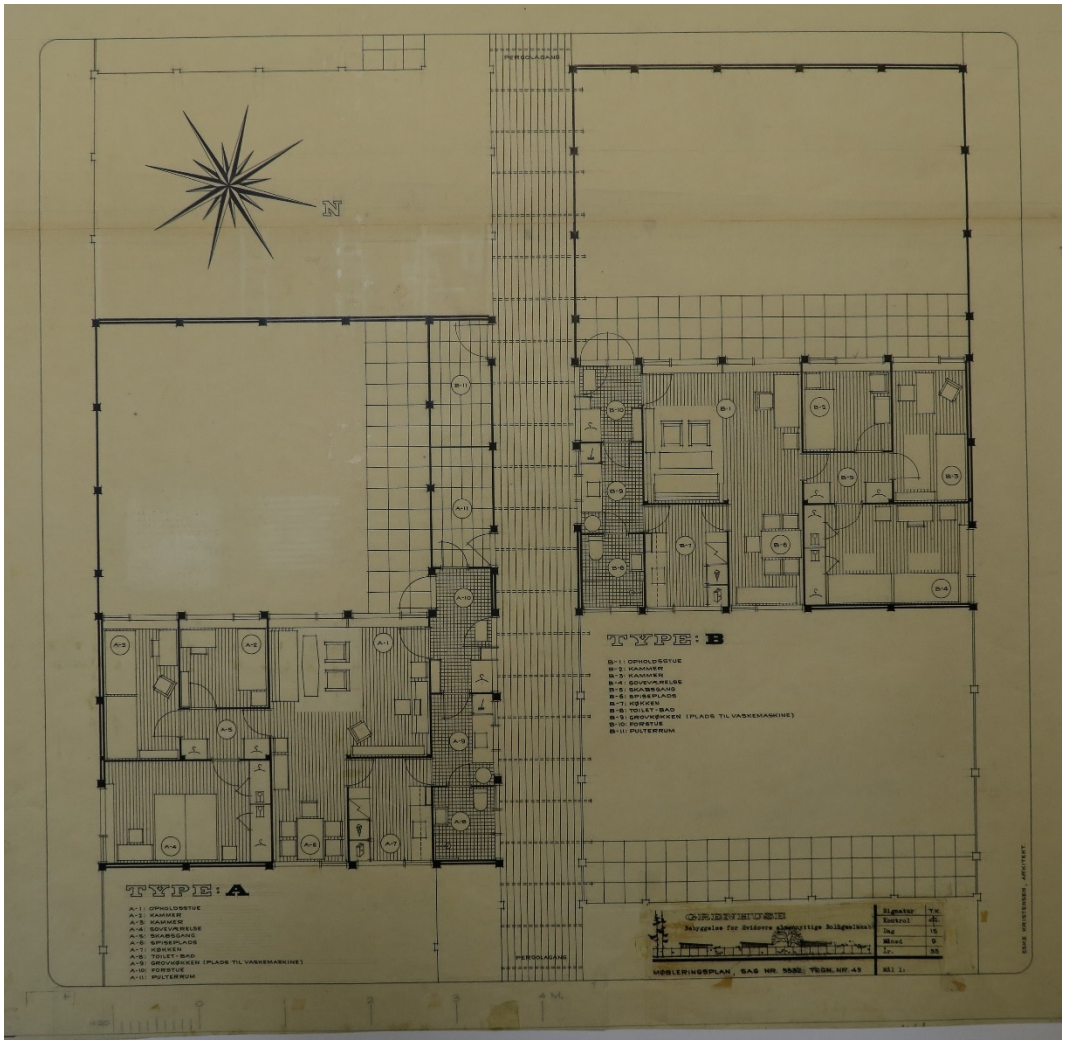
[140] "BR15", Videncenter for energibesparelser i bygninger

B.2 Tegningsmateriale, case ”Grenhusene”

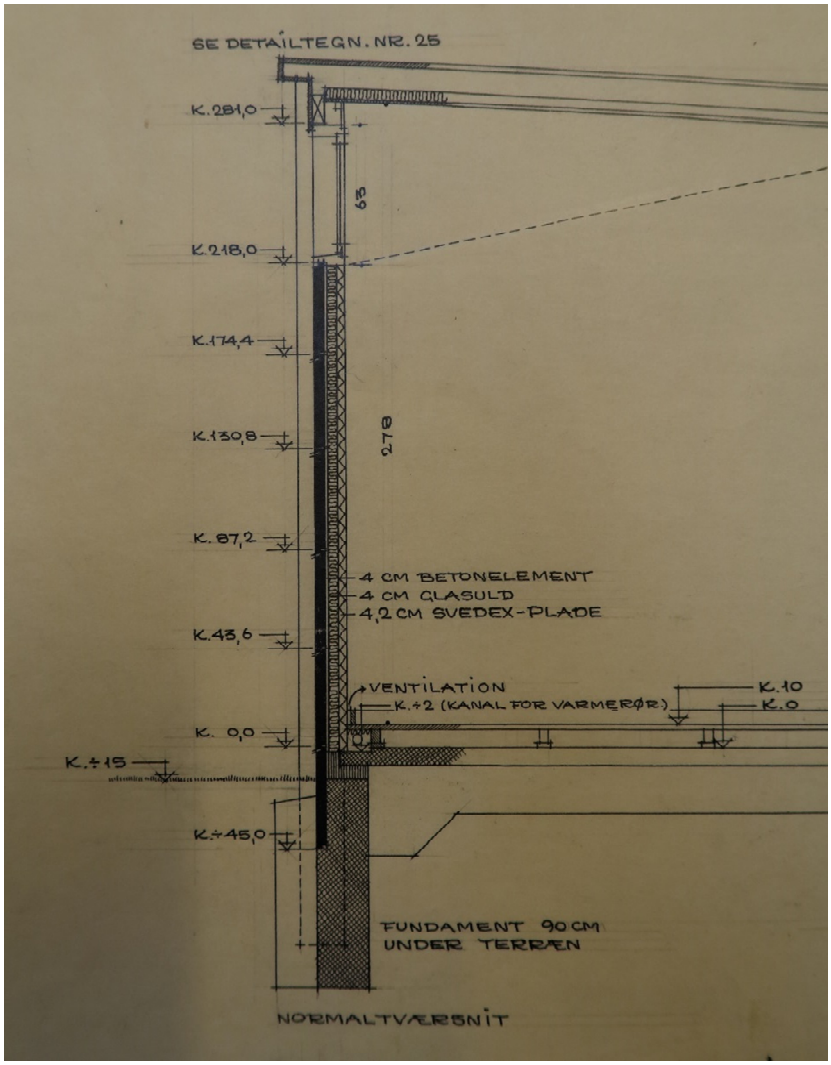
B.2.1 Tegninger, eksist. forhold, Danmarks Kunstbibliotek

B.2.1.1 Bebyggelsesplan

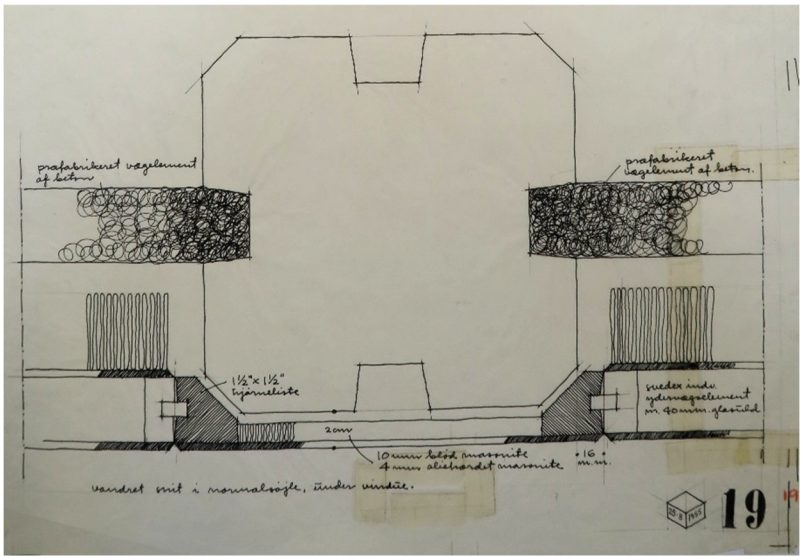
B.2.1.2 Plantegning, boligtype A og B



B.2.1.3 Delsnit i ydervæg, lodret snit



B.2.1.4 Detalje – Vandret snit i betonsøjle og ydervægge

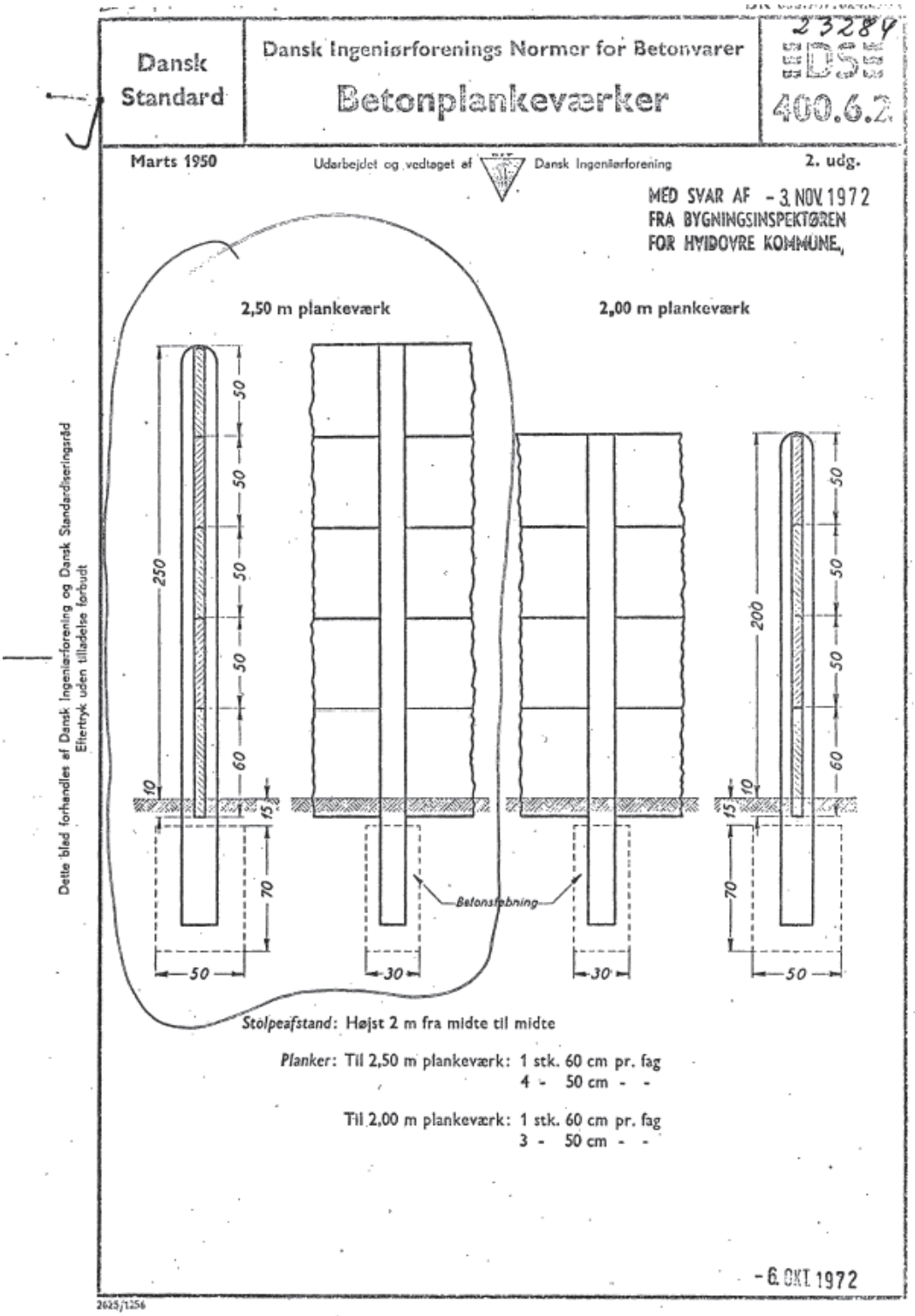


B.2.1.5 Facadeopstalter

B.2.2 Dansk Standard – 1950

B.2.2.1 Dansk Ingeniørforenings Normer for betonplankeværker

Hentet fra Hvidovre Kommunes byggesagsarkiv.



Dansk Standard

Dansk Ingeniørforenings Normer for Betonvarer

Betonplankeværker

23289 BDS 400.6.2

Marts 1950 — Udarbejdet og vedtaget af Dansk Ingeniørforening — 2. udg.

MED SVAR AF - 3 NOV 1972
FRA BYGNINGSINSPEKTØREN
FOR HVIDOVRE KOMMUNE,

Dette blad forhandles af Dansk Ingeniørforening og Dansk Standardiseringsråd
Eftertryk uden tilladelse forbudt

2,50 m plankeværk

2,00 m plankeværk

250 200 50 50 50 50 50 60 10 15 70 50 30 30 50 Betonstøbning

Stolpeafstand: Højst 2 m fra midte til midte

Planker: Til 2,50 m plankeværk: 1 stk. 60 cm pr. fag
4 - 50 cm - -

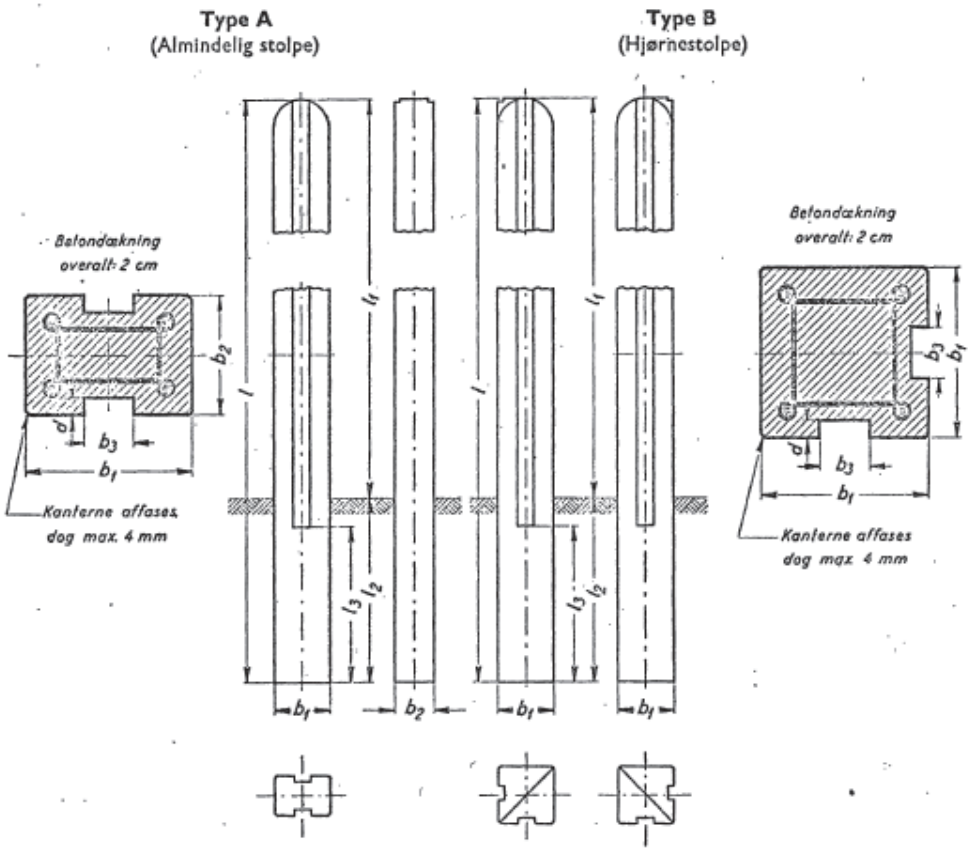
Til 2,00 m plankeværk: 1 stk. 60 cm pr. fag
3 - 50 cm - -

- 6 OKT 1972

2625/1256

Dansk Standard	Normer for betonvarer Betonplankeværker	EDSE 400.6.2 side 2

1. Plankeværksstolper



Eksempelvis betegnes en plankeværksstolpe af type B (hjørnestolpe) til et 2,50 m plankeværk:

Plankeværksstolpe B 2,5, DS 400.6.2

Stolperne kan også leveres som endestolper, idet de da udføres med kun een not.

Plankeværkshøjde m	Tværsnit Bredde b_1 cm	Tværsnit Bredde b_2 cm	Samlet længde l cm	Højde over terræn l_1 cm	Dybde under terræn l_2 cm	Længde l_3 cm	Bredde b_3 cm		Dybde d cm		Armering Hoved-jern mm	Armering Bøjler pr. m mm
2,00	20	14	265	200	65	55	6	+0,2	2	+0,2	4ø12	5ø5
2,50	20	14	315	250	65	55	6		2		4ø12	5ø5

Plankeværksstolper udføres af plastisk eller vibreret beton og i øvrigt i henhold til Dansk Ingeniørforenings Normer for Bygningskonstruktioner, afsnit 2: Beton- og Jernbetonkonstruktioner, Dansk Standard DS 411.

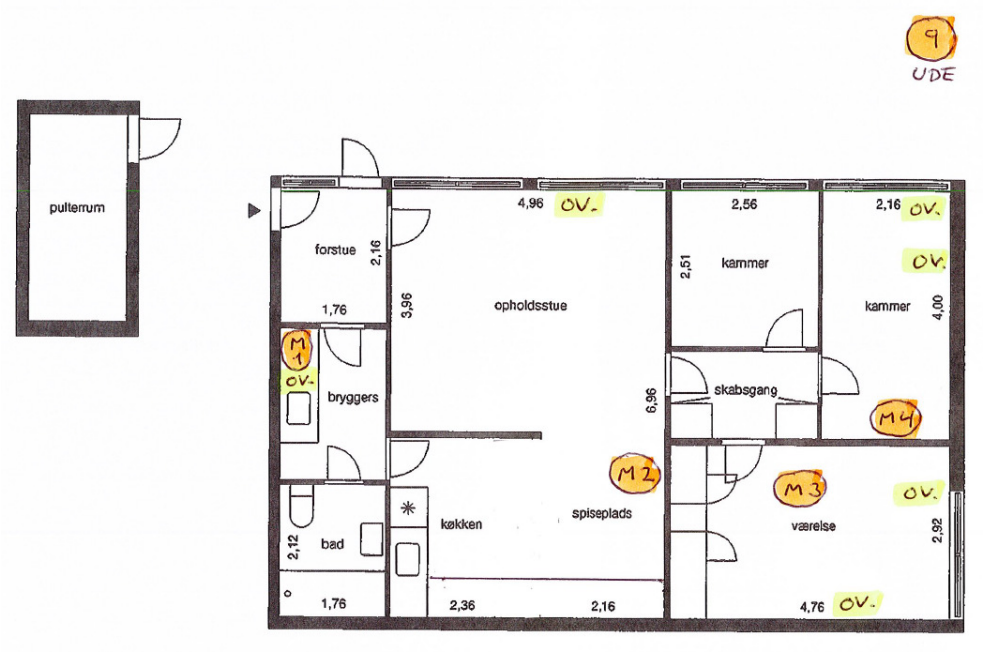
Armeringens betondækning må ikke være mindre end 2 cm.

-6. OKT 1972

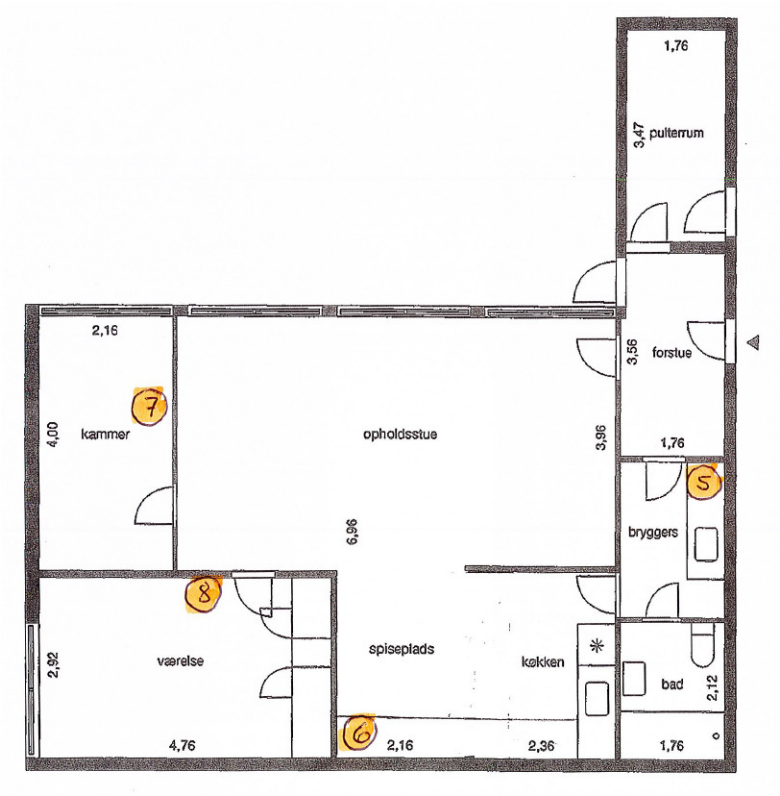
B.2.3 Plantegninger – Registrerede forhold

Loggerplaceringer og –nummer er markeret med orange.
Overflademålinger af temperatur er markeret med gul (ov.).

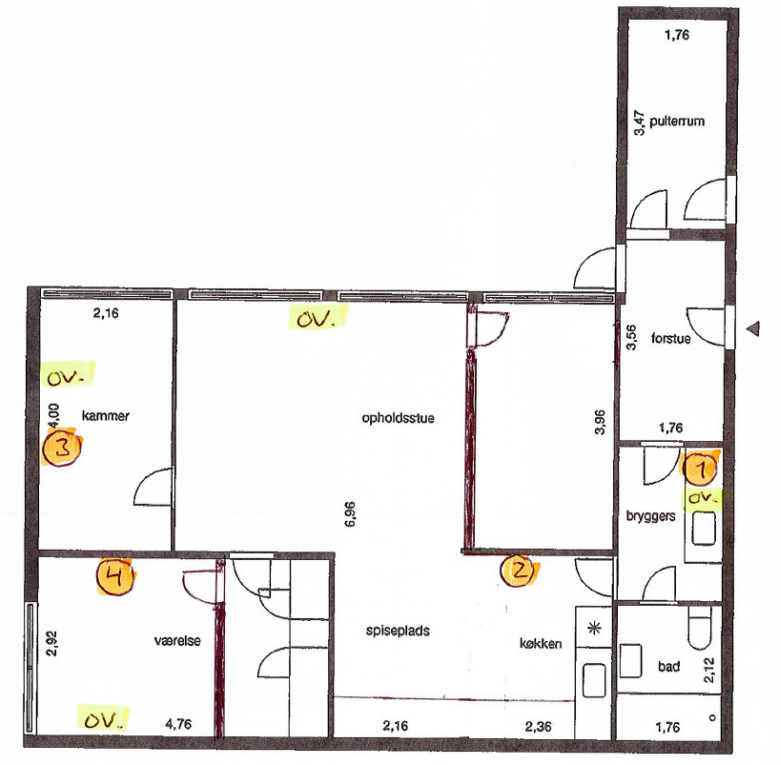
B.2.3.1 Plantegning – Bolig 1



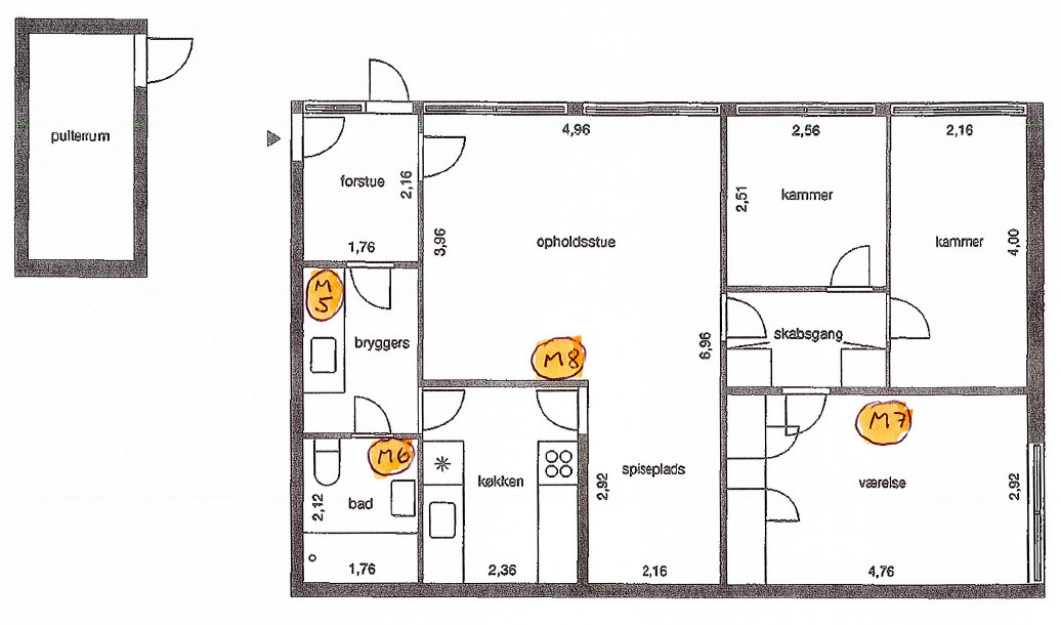
B.2.3.2 Plantegning – Bolig 2



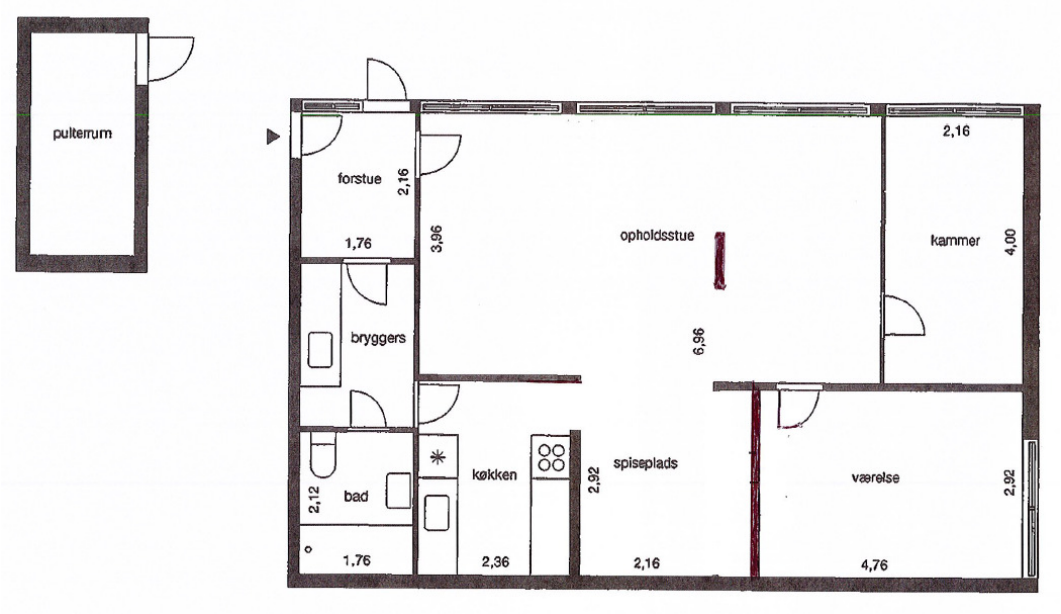
B.2.3.3 Plantegning – Bolig 3



B.2.3.4 Plantegning – Bolig 4

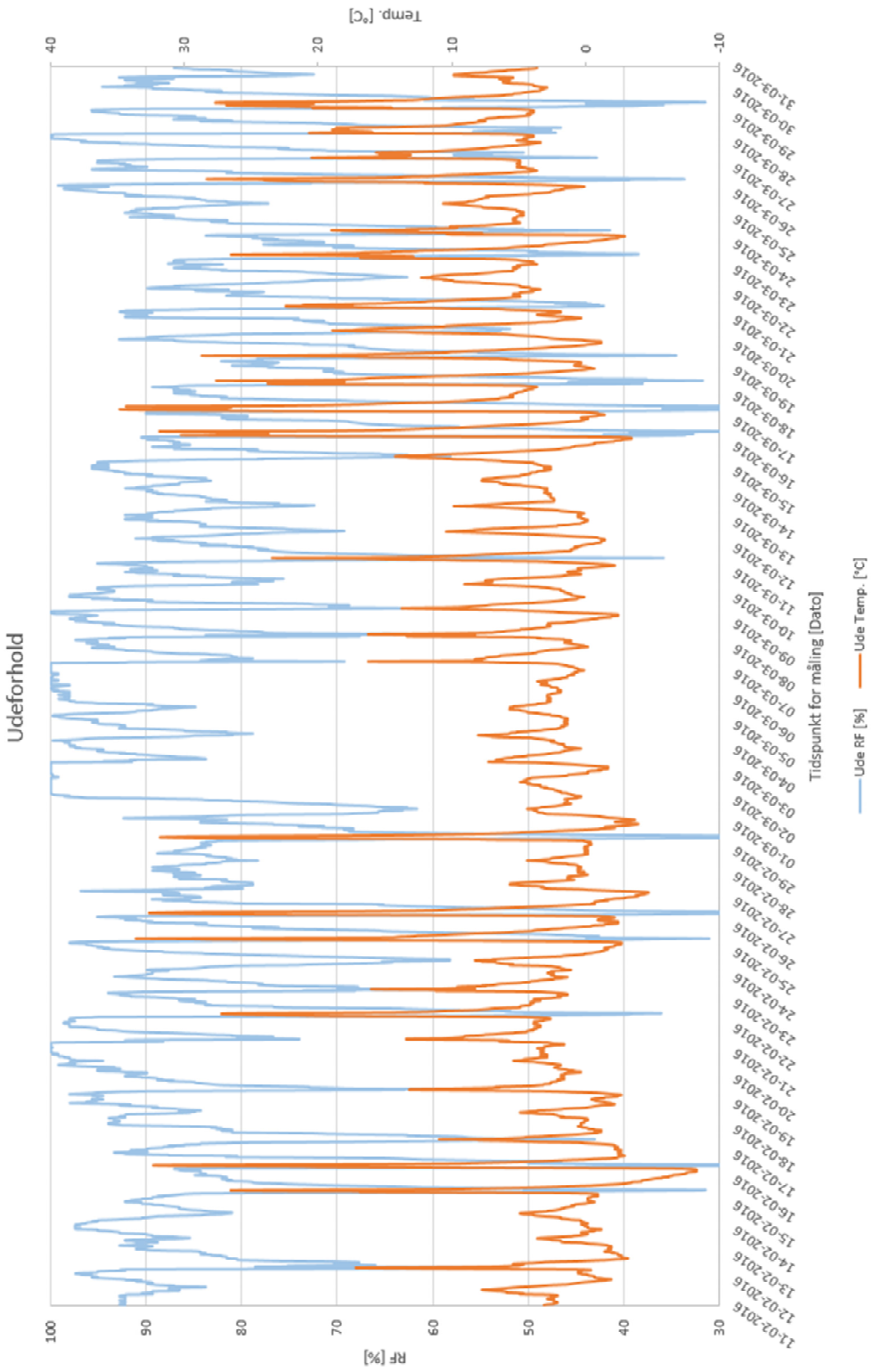


B.2.3.5 Plantegning – Bolig 5

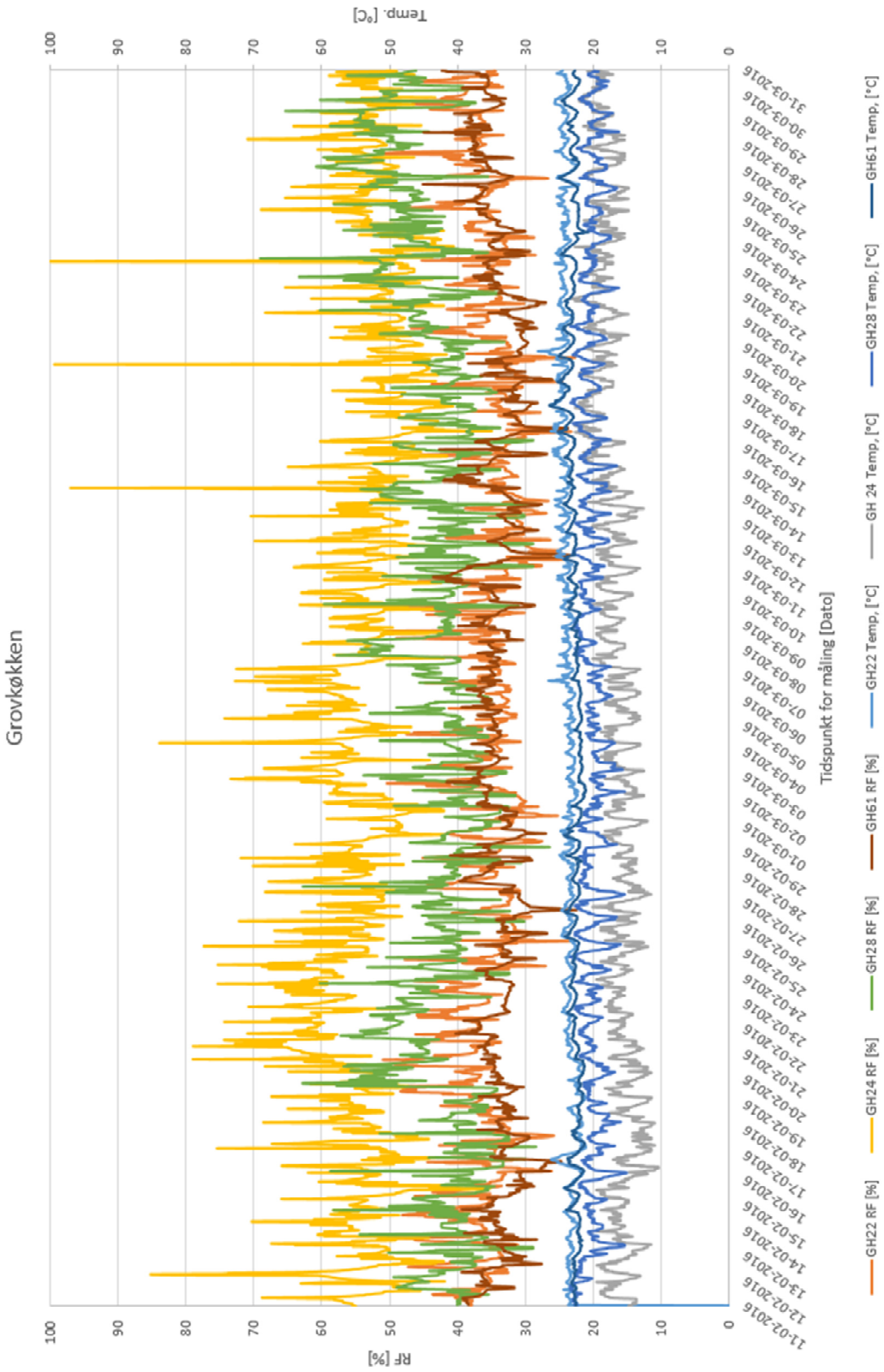


B.3 Data fra logninger

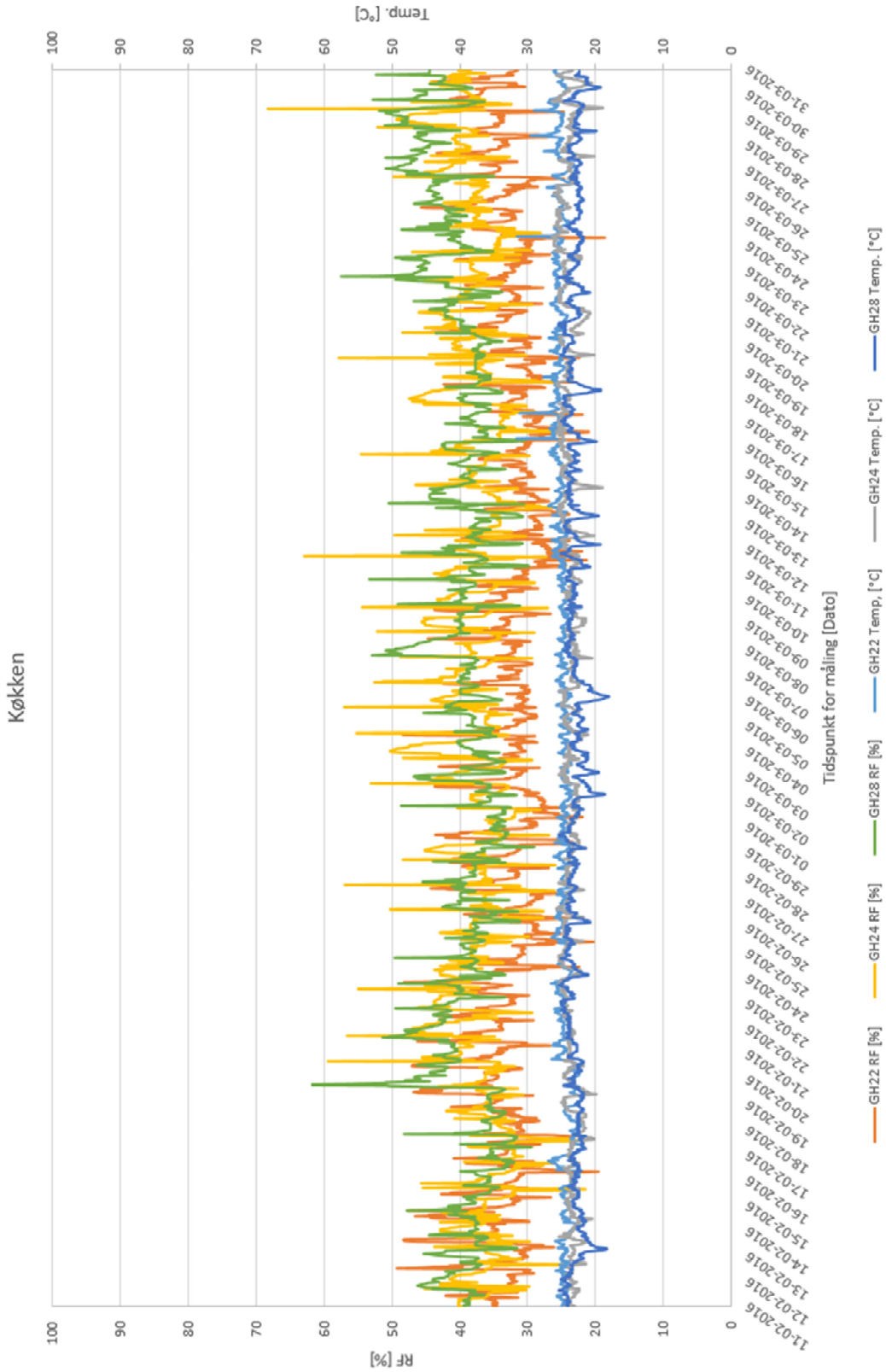
B.3.1 Udeforhold



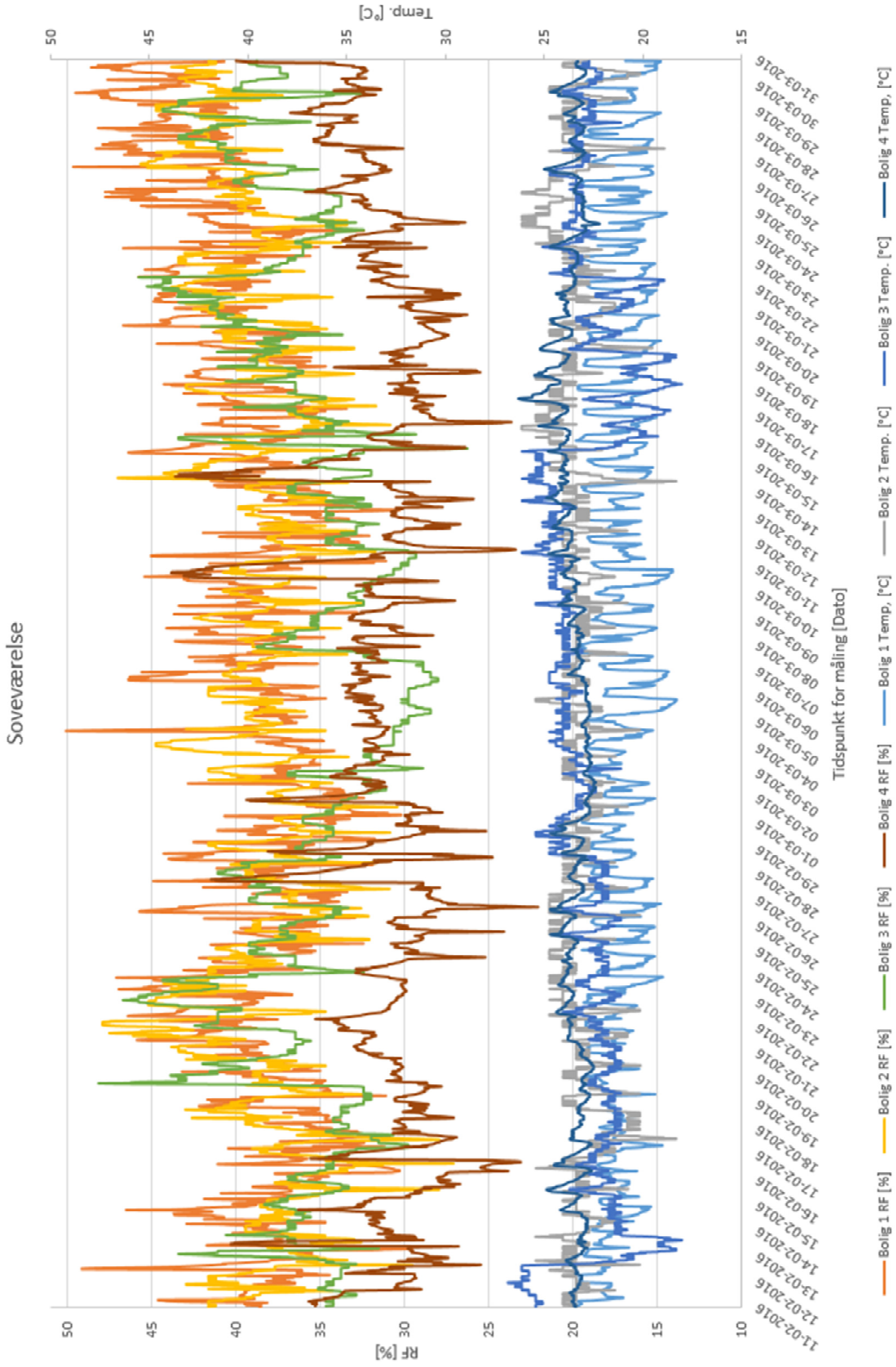
B.3.2 Grovkøkken



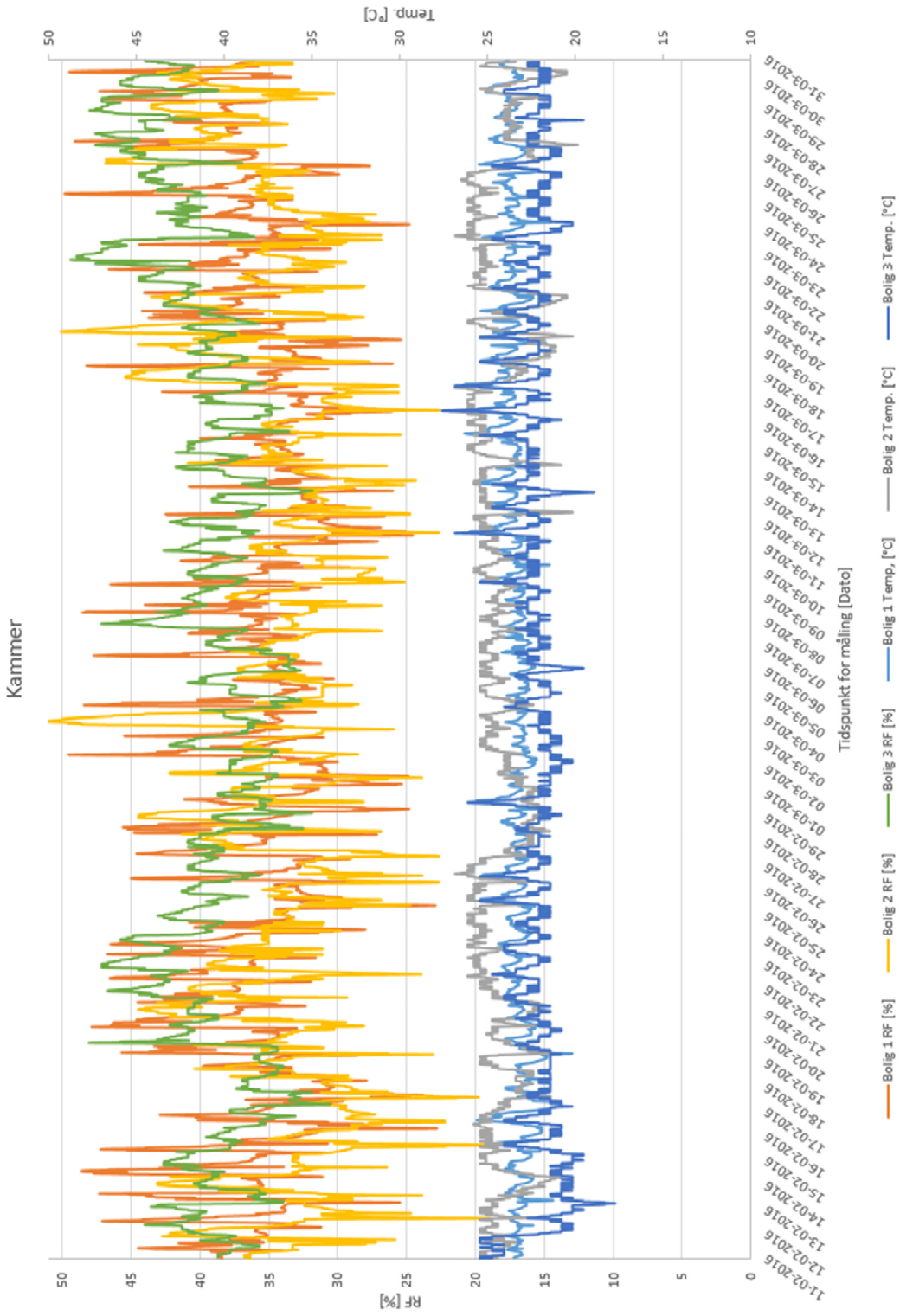
B.3.3 Køkken


Køkken
Temp. [°C]
RF [%]
Tidspunkt for måling [Dato]
GH22 RF [%]
GH24 RF [%]
GH28 RF [%]
GH22 Temp. [°C]
GH24 Temp. [°C]
GH28 Temp. [°C]

B.3.4 Soveværelse



B.3.5 Kammer


Kammer
Temp. [°C]
RF [%]
Tidspunkt for måling [Dato]
Bolig 1 RF [%]
Bolig 2 RF [%]
Bolig 3 RF [%]
Bolig 1 Temp. [°C]
Bolig 2 Temp. [°C]
Bolig 3 Temp. [°C]

B.3.6 Behandling af loggerdata

Indeforhold:	Bolig 1 - Grovkøkken		Temp. max.:	28,2 °C	RF max.:	51,7 %RH	Dugpkt. max:	14,3 °C	Kritisk 75%, max:	18,8 °C	Fugtklasse 1:	18%	Fugtklasse 4:	4%
Antal målinger:	2350 logninger		Temp. minimum:	21,1 °C	RF min.:	22,7 %RH	Dugpkt. min.:	0,7 °C	Kritisk 75%, min.:	4,8 °C	Fugtklasse 2:	56%	Fugtklasse 5:	4%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	23,8 °C	RF gen.:	35,8 %RH	Dugpkt. gen.:	7,6 °C	Kritisk 75%, gen.:	11,9 °C	Fugtklasse 3:	16%	Fugtklasse, gen.:	2

Indeforhold:	Bolig 1 - Soveværelse		Temp. max.:	23,9 °C	RF max.:	50,1 %RH	Dugpkt. max:	10,8 °C	Kritisk 75%, max:	15,2 °C	Fugtklasse 1:	28%	Fugtklasse 4:	1%
Antal målinger:	2349 logninger		Temp. minimum:	18,3 °C	RF min.:	29,6 %RH	Dugpkt. min.:	1,6 °C	Kritisk 75%, min.:	5,7 °C	Fugtklasse 2:	60%	Fugtklasse 5:	1%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	21,2 °C	RF gen.:	39,2 %RH	Dugpkt. gen.:	6,7 °C	Kritisk 75%, gen.:	11,0 °C	Fugtklasse 3:	8%	Fugtklasse, gen.:	2

Resultater fra logninger i Bolig 1.

Indeforhold:	Bolig 2 - Grovkøkken		Temp. max.:	23,4 °C	RF max.:	99,8 %RH	Dugpkt. max:	18,3 °C	Kritisk 75%, max:	23,0 °C	Fugtklasse 1:	20%	Fugtklasse 4:	4%
Antal målinger:	2350 logninger		Temp. minimum:	10,4 °C	RF min.:	35,2 %RH	Dugpkt. min.:	-0,3 °C	Kritisk 75%, min.:	3,7 °C	Fugtklasse 2:	48%	Fugtklasse 5:	3%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	16,8 °C	RF gen.:	54,1 %RH	Dugpkt. gen.:	7,4 °C	Kritisk 75%, gen.:	11,7 °C	Fugtklasse 3:	22%	Fugtklasse, gen.:	2

Indeforhold:	Bolig 2 - Soveværelse		Temp. max.:	26,1 °C	RF max.:	47,9 %RH	Dugpkt. max:	12,3 °C	Kritisk 75%, max:	16,8 °C	Fugtklasse 1:	10%	Fugtklasse 4:	2%
Antal målinger:	2349 logninger		Temp. minimum:	18,3 °C	RF min.:	27,2 %RH	Dugpkt. min.:	-0,1 °C	Kritisk 75%, min.:	3,9 °C	Fugtklasse 2:	45%	Fugtklasse 5:	3%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	23,4 °C	RF gen.:	38,8 %RH	Dugpkt. gen.:	8,5 °C	Kritisk 75%, gen.:	12,9 °C	Fugtklasse 3:	38%	Fugtklasse, gen.:	2

Resultater fra logninger i Bolig 2.

Indeforhold:	Bolig 3 - Grovkøkken		Temp. max.:	23,4 °C	RF max.:	69,0 %RH	Dugpkt. max:	14,3 °C	Kritisk 75%, max:	18,9 °C	Fugtklasse 1:	25%	Fugtklasse 4:	4%
Antal målinger:	2350 logninger		Temp. minimum:	15,1 °C	RF min.:	26,7 %RH	Dugpkt. min.:	-0,3 °C	Kritisk 75%, min.:	3,7 °C	Fugtklasse 2:	47%	Fugtklasse 5:	2%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	20,2 °C	RF gen.:	43,1 %RH	Dugpkt. gen.:	7,2 °C	Kritisk 75%, gen.:	11,4 °C	Fugtklasse 3:	19%	Fugtklasse, gen.:	2

Indeforhold:	Bolig 3 - Soveværelse		Temp. max.:	26,9 °C	RF max.:	48,2 %RH	Dugpkt. max:	11,5 °C	Kritisk 75%, max:	15,9 °C	Fugtklasse 1:	30%	Fugtklasse 4:	2%
Antal målinger:	2349 logninger		Temp. minimum:	18,0 °C	RF min.:	26,3 %RH	Dugpkt. min.:	1,1 °C	Kritisk 75%, min.:	5,2 °C	Fugtklasse 2:	51%	Fugtklasse 5:	1%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	22,9 °C	RF gen.:	35,9 %RH	Dugpkt. gen.:	6,9 °C	Kritisk 75%, gen.:	11,2 °C	Fugtklasse 3:	13%	Fugtklasse, gen.:	2

Resultater fra logninger i Bolig 3.

Indeforhold:	Bolig 4 - Grovkøkken		Temp. max.:	26,5 °C	RF max.:	45,0 %RH	Dugpkt. max:	10,7 °C	Kritisk 75%, max:	15,1 °C	Fugtklasse 1:	45%	Fugtklasse 4:	0%
Antal målinger:	2350 logninger		Temp. minimum:	20,7 °C	RF min.:	22,5 %RH	Dugpkt. min.:	1,2 °C	Kritisk 75%, min.:	5,3 °C	Fugtklasse 2:	49%	Fugtklasse 5:	0%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	22,8 °C	RF gen.:	33,9 %RH	Dugpkt. gen.:	6,0 °C	Kritisk 75%, gen.:	10,2 °C	Fugtklasse 3:	3%	Fugtklasse, gen.:	1

Indeforhold:	Bolig 4 - Soveværelse		Temp. max.:	26,3 °C	RF max.:	43,8 %RH	Dugpkt. max:	11,1 °C	Kritisk 75%, max:	15,5 °C	Fugtklasse 1:	57%	Fugtklasse 4:	0%
Antal målinger:	2349 logninger		Temp. minimum:	22,2 °C	RF min.:	22,1 %RH	Dugpkt. min.:	1,1 °C	Kritisk 75%, min.:	5,2 °C	Fugtklasse 2:	36%	Fugtklasse 5:	0%
Ude gennemsnit:	4,4 °C	81,4 %RH	Temp. gennemsnit:	23,5 °C	RF gen.:	31,3 %RH	Dugpkt. gen.:	5,5 °C	Kritisk 75%, gen.:	9,7 °C	Fugtklasse 3:	3%	Fugtklasse, gen.:	1

Resultater fra logninger i Bolig 4.

B.4 Bygningstermografering – Rapport

1/24

Inspektionsrapport

Rapportdato	18-02-2016		
Firma	Master i Bygningsfysik Speciale (MB4)	Kunde	Studie, specialerapport
Adresse	AAU København	Stedets adresse	Grenhusene, Hvidovre
Thermograf	Per Juel Hansen	Kontaktperson	DAB

Billed- og objektparametre

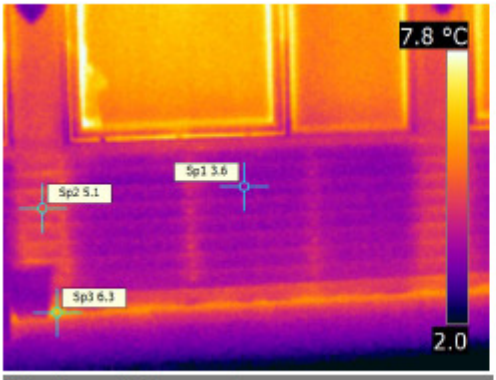
Tekstkommentarer

Kameramodel	FLIR T250_ Western
Billeddato	18-02-2016 08:44:06
Billednavn	IR_5609.jpg
Emissitivitet	0,93
Reflekteret temperatur	-5,0 °C
Objektafstand	1,0 m

Beskrivelse

[B. 1] - Ydervæg mod pergolagang. Største varmetab ses fra hoveddør (Sp4), område ved installationsindføring (Sp2) og ved sokkel (Sp3).

2/24

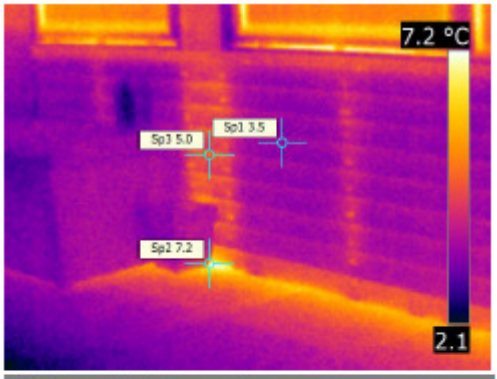


Billed- og objektparametre		Tekstkommentarer
Kameramodel	FLIR T250_ Western	
Billeddato	18-02-2016 08:48:08	
Billednavn	IR_5635.jpg	
Emissitivitet	0,93	
Reflekteret temperatur	-5,0 °C	
Objektafstand	1,0 m	

Beskrivelse

[B. 1] - Ydervæg mod gårdhave. Væggen er efterisoleret med udvendig konstruktion, hvor lodrette lægter anes, da isoleringsniveauet her er lavere. Betonsøjler skaber tydelige kuldebroer (Sp2). Ligeledes tydeligt varmetab langs sokkel (Sp3).

3/24



Billed- og objektparametre		Tekstkommentarer
Kameramodel	FLIR T250_ Western	
Billeddato	18-02-2016 08:49:01	
Billednavn	IR_5641.jpg	
Emissitivitet	0,93	
Reflekteret temperatur	-5,0 °C	
Objektafstand	1,0 m	

Beskrivelse

[B. 1] - Ydervæg mod gårdhave. Igen samme problematikker som termografering side 2: Kuldebroer ved betonsøjler og sokkel.

4/24

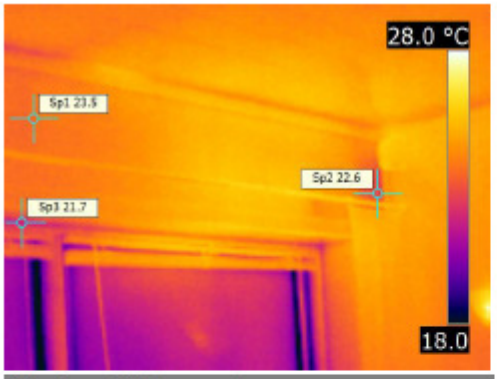
Billed- og objektparametre	
Kameramodel	FLIR T250_ Western
Billeddato	18-02-2016 08:54:39
Billednavn	IR_5645.jpg
Emissitivitet	0,93
Reflekteret temperatur	22,0 °C
Objektafstand	1,0 m

Tekstkommentarer

Beskrivelse

[B. 1] - Ydervæg i stue, hvor væggen er isoleret udvendigt. Betonsøjlen (Sp1) skaber tydelig forskel i overfladetemperaturen på væggen (ift. Sp2). Risiko for støvaftegninger på væggen ud for søjlen.

5/24



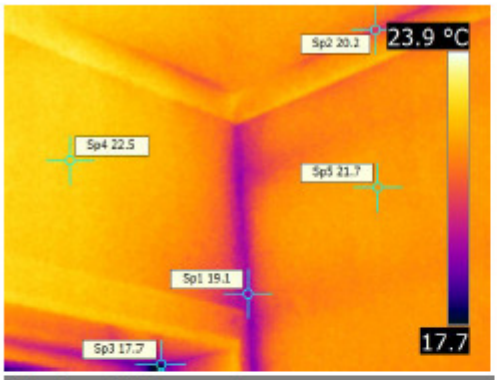
Billed- og objektparametre	
Kameramodel	FLIR T250_ Western
Billeddato	18-02-2016 08:56:19
Billednavn	IR_5657.jpg
Emissitivitet	0,93
Reflekteret temperatur	22,0 °C
Objektafstand	1,0 m

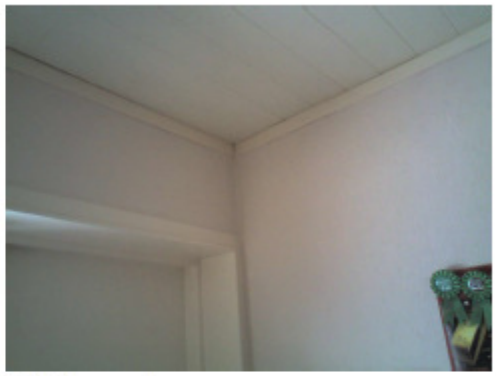
Tekstkommentarer

Beskrivelse

[B. 1] - Ydervæg i stue mod gårdhave, der er efterisoleret udvendigt. Ikke umiddelbart kritiske overfladetemperaturer her, dog områder med lidt lavere temperaturer i hjørner (Sp2) og omkring vinduer (Sp3).

6/24



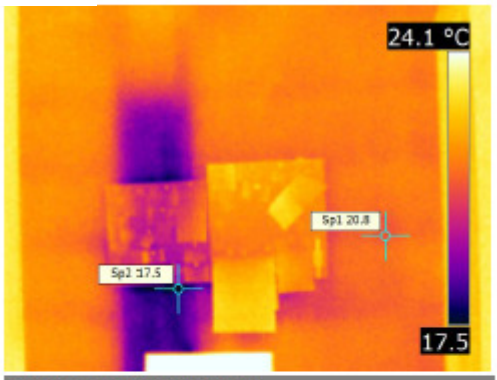


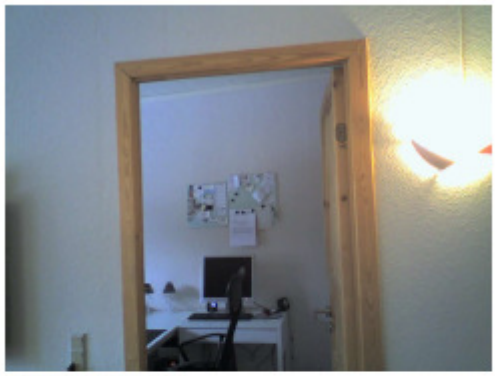
Billed- og objektparametre		Tekstkommentarer
Kameramodel	FLIR T250_ Western	
Billeddato	18-02-2016 08:56:58	
Billednavn	IR_5661.jpg	
Emissitivitet	0,93	
Reflekteret temperatur	22,0 °C	
Objektafstand	1,0 m	

Beskrivelse

[B. 1] - Hjørne i kammer med ydervæg mod hhv. gårdhave (Sp4) og gavl (Sp5). Særligt ved vinduer (Sp3) og i overgangen mellem de to ydervægge (Sp1) ses kuldeindfald og lave temperaturer.

7/24



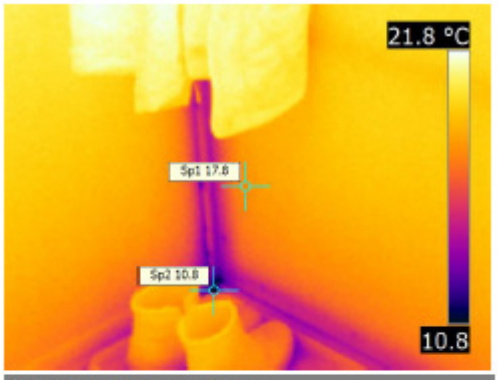


Billed- og objektparametre		Tekstkommentarer
Kameramodel	FLIR T250_ Western	
Billeddato	18-02-2016 08:58:54	
Billednavn	IR_5675.jpg	
Emissitivitet	0,93	
Reflekteret temperatur	22,0 °C	
Objektafstand	1,0 m	

Beskrivelse

[B. 1] - Gavlvæg i kammer (oprindeligt isoleret). Tydelig kuldebro ved betonsøjle (Sp2) og væsentlig lavere temperatur end den øvrige væg (Sp1).

8/24



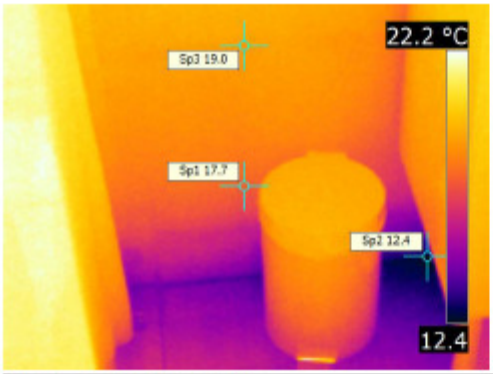
Billed- og objektparametre	
Kameramodel	FLIR T250_ Western
Billeddato	18-02-2016 09:00:44
Billednavn	IR_5689.jpg
Emissitivitet	0,93
Reflekteret temperatur	22,0 °C
Objektafstand	1,0 m

Tekstkommentarer

Beskrivelse

[B. 1] - Entré. Det lette vægparti mod pergolagangen er ringe isoleret. Særligt i samlinger ved gulv ses meget lav og kritisk temperatur (Sp2).

9/24



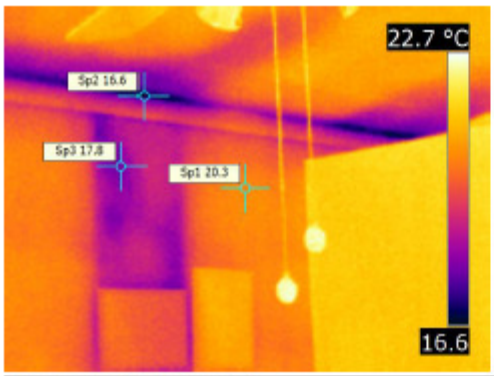
Billed- og objektparametre	
Kameramodel	FLIR T250_ Western
Billeddato	18-02-2016 09:01:32
Billednavn	IR_5695.jpg
Emissitivitet	0,93
Reflekteret temperatur	22,0 °C
Objektafstand	1,0 m

Tekstkommentarer

Beskrivelse

[B. 1] - I badeværelset er ydervæggen renoveret med ny isolering. Her ses kritisk lave temperaturer på væggen ved gulv (Sp2). Den øvrige overfladetemperatur på væggen varierer indenfor 1,5 °C (Sp1 og Sp3).

10/24

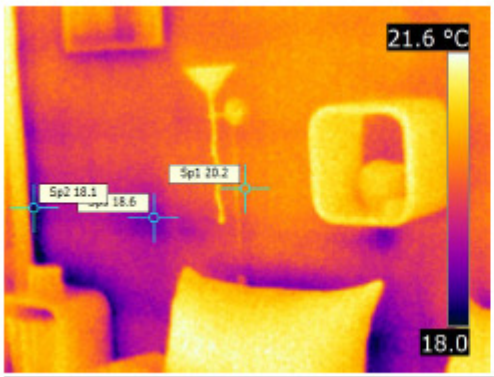


Billed- og objektparametre		Tekstkommentarer
Kameramodel	FLIR T250_ Western	
Billeddato	18-02-2016 09:06:13	
Billednavn	IR_5715.jpg	
Emissitivitet	0,93	
Reflekteret temperatur	18,7 °C	
Objektafstand	1,0 m	

Beskrivelse

[B. 1] - I soveværelset mod nabogårdhave ses igen tydelig kuldebro ved betonsøjle (Sp3). Også langs med, og på, loftet ses lave temperaturer. Loftet i dette rum er oprindeligt sænket i forhold til tagkonstruktionen, der senere er efterisoelret udefra.

11/24

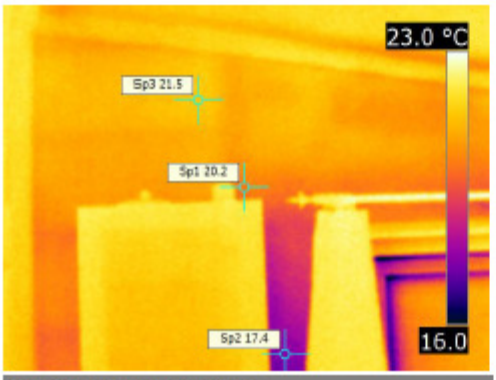


Billed- og objektparametre		Tekstkommentarer
Kameramodel	FLIR T250_ Western	
Billeddato	18-02-2016 09:06:54	
Billednavn	IR_5719.jpg	
Emissitivitet	0,93	
Reflekteret temperatur	18,7 °C	
Objektafstand	1,0 m	

Beskrivelse

[B. 1] - Soveværelse, ydervæg mod nabogårdhave (samme område som termograferingsbillede side 10). Ydervæggens isoleringsniveau er mangelfuld, og der ses kuldebroer flere steder.

12/24

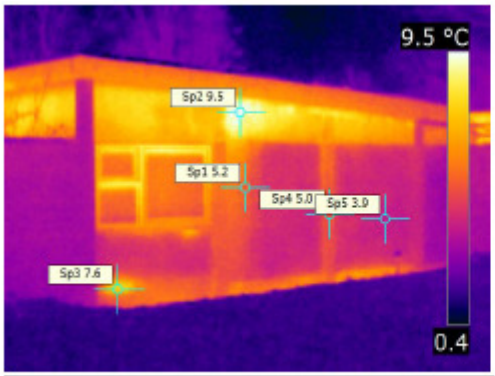


Billed- og objektparametre		Tekstkommentarer
Kameramodel	FLIR T250_ Western	
Billeddato	18-02-2016 09:07:45	
Billednavn	IR_5727.jpg	
Emissitivitet	0,93	
Reflekteret temperatur	18,7 °C	
Objektafstand	1,0 m	

Beskrivelse

[B. 1] - Soveværelse, ydervæg mod grønt område. Betonsøjlen danner tydelig kuldebro (Sp2). Overliggende let ydervægskonstruktion har væsentlig bedre overfladetemperatur (Sp3). Konstruktionens træskelet sænker overfladetemperaturen omkring 1,5 °C (Sp1).

13/24

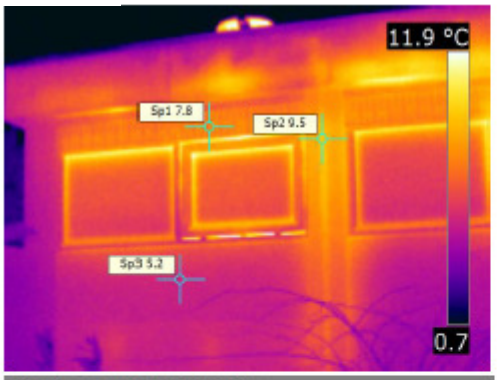


Billed- og objektparametre		Tekstkommentarer
Kameramodel	FLIR T250_ Western	
Billeddato	18-02-2016 09:35:59	
Billednavn	IR_5737.jpg	
Emissitivitet	0,93	
Reflekteret temperatur	-5,0 °C	
Objektafstand	1,0 m	

Beskrivelse

[B. 1] - Ydervæg mod grønt område. Varmetab ses ved den øverste del af ydervæggene (den lette konstruktion), og langs sokkel og ved betonsøjler ses kuldebroer. Målingerne på betonvæggene snyder, da der bagved er et svagt ventileret hulrum.

14/24

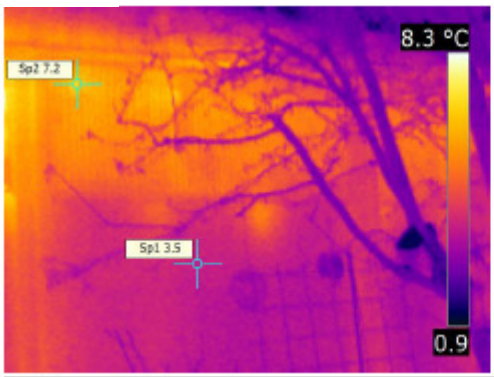


Billed- og objektparametre		Tekstkommentarer
Kameramodel	FLIR T250_ Western	
Billeddato	18-02-2016 09:50:09	
Billednavn	IR_5789.jpg	
Emissitivitet	0,93	
Reflekteret temperatur	-5,0 °C	
Objektafstand	1,0 m	

Beskrivelse

[B. 5] - Ydervæg målt fra nabogårdhave. Flere utætheder ved tag skaber varmetab, ligesom betonsøjle skaber kuldebro. Målingerne på betonvæggene kan snyde grundet bagvedliggende ventileret hulrum.

15/24



Billed- og objektparametre		Tekstkommentarer
Kameramodel	FLIR T250_ Western	
Billeddato	18-02-2016 09:50:24	
Billednavn	IR_5791.jpg	
Emissitivitet	0,93	
Reflekteret temperatur	-5,0 °C	
Objektafstand	1,0 m	

Beskrivelse

[B. 5] - Ydervæg målt fra nabogårdhave. Samme problematikker som termograferingsbillede side 14.

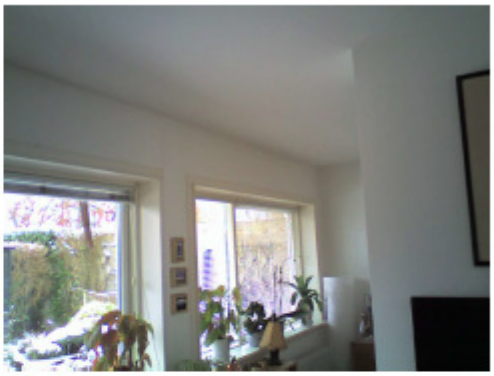
16/24

Billed- og objektparametre		Tekstkommentarer
Kameramodel	FLIR T250_ Western	
Billeddato	18-02-2016 09:53:15	
Billednavn	IR_5805.jpg	
Emissitivitet	0,93	
Reflekteret temperatur	-5,0 °C	
Objektafstand	1,0 m	

Beskrivelse

[B. 5] - Ydervæg mod grønt område viser de samme problematikker som termograferingsbillede 13. Ydervæggenes isoleringsniveau er mangelfuldt med flere kuldebroer.

17/24

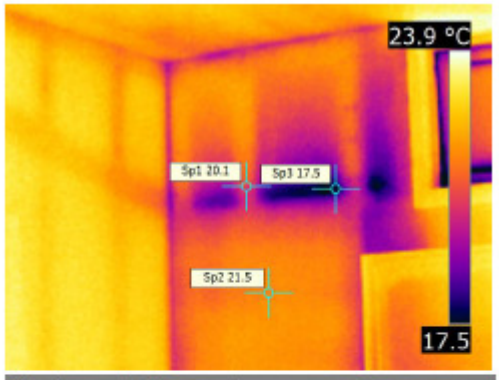


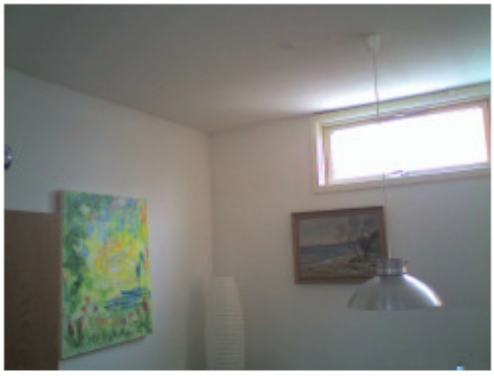
Billed- og objektparametre		Tekstkommentarer
Kameramodel	FLIR T250_ Western	
Billeddato	18-02-2016 09:58:30	
Billednavn	IR_5815.jpg	
Emissitivitet	0,93	
Reflekteret temperatur	20,6 °C	
Objektafstand	1,0 m	

Beskrivelse

[B. 5] - Ydervæg mod gårdhave i stue. Samme problematikker som i [GH22], hvor betonsøjlerne skaber kuldebroer. Langs med loft og vinduer ses tillige stort kuldeindfald.

18/24





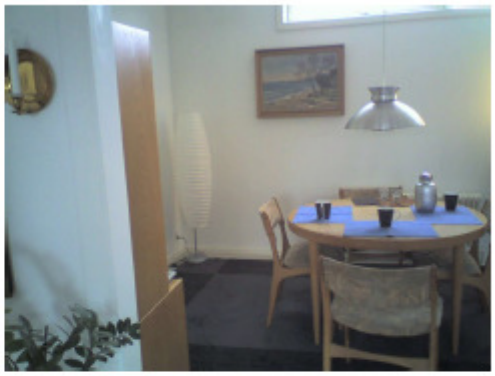
Billed- og objektparametre	Tekstkommentarer

Kameramodel	FLIR T250_ Western
Billeddato	18-02-2016 10:00:45
Billednavn	IR_5823.jpg
Emissitivitet	0,93
Reflekteret temperatur	20,6 °C
Objektafstand	1,0 m

Beskrivelse

[B. 5] - Ydervæg ved spiseplads mod nabogårdhave. Stor variation i overfladetemperaurerne med risiko for sortsværtninger ved kuldebroer. Skelettet i den lette konstruktion anes (Sp1). Det tyder på, at der mangler isolering i dele af væggen (Sp3).

19/24



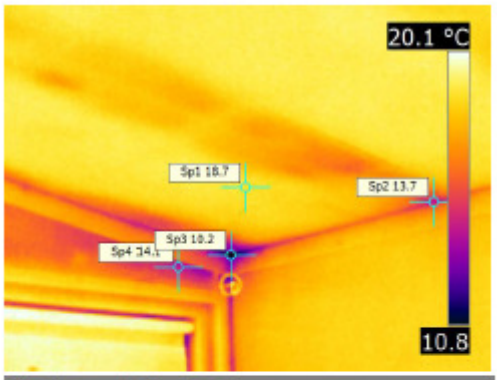
Billed- og objektparametre	Tekstkommentarer

Kameramodel	FLIR T250_ Western
Billeddato	18-02-2016 10:01:18
Billednavn	IR_5827.jpg
Emissitivitet	0,93
Reflekteret temperatur	20,6 °C
Objektafstand	1,0 m

Beskrivelse

[B. 5] - Ydervæg ved spiseplads. Under billede ses igen tydeligt, at betonsøjlen danner en kuldebro, der bringer overfladetemperaturen flere grader under væggens generelle overfaldetemperatur.

20/24



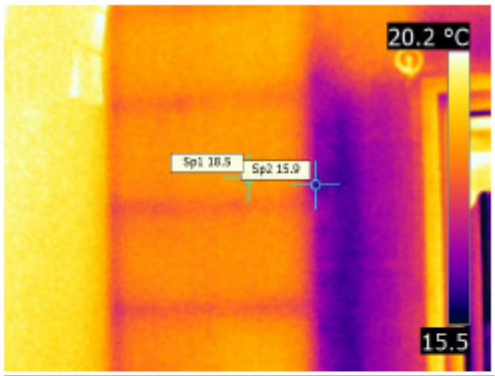
Billed- og objektparametre	Tekstkommentarer

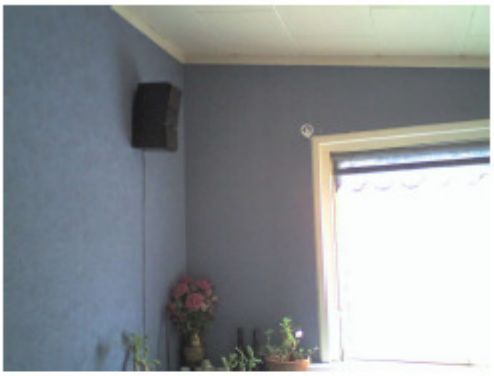
Kameramodel	FLIR T250_ Western
Billeddato	18-02-2016 10:05:18
Billednavn	IR_5845.jpg
Emissitivitet	0,93
Reflekteret temperatur	18,5 °C
Objektafstand	1,0 m

Beskrivelse

[B. 5] - I kammer med ydervægge mod grønt område ses igen meget varierende isoleringsniveau i vægge og lofter.

21/24





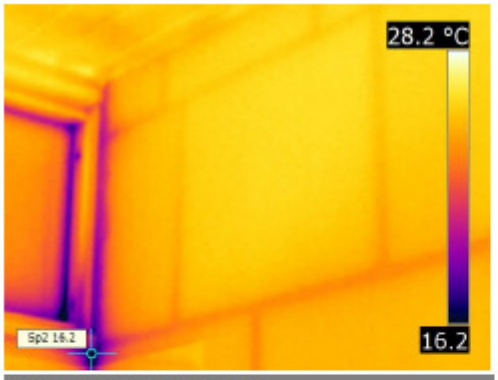
Billed- og objektparametre	Tekstkommentarer

Kameramodel	FLIR T250_ Western
Billeddato	18-02-2016 10:07:03
Billednavn	IR_5855.jpg
Emissitivitet	0,93
Reflekteret temperatur	18,5 °C
Objektafstand	1,0 m

Beskrivelse

[B. 5] - I værelse er det igen betonsøjlen der skaber en tydelig kuldebro (Sp2). Til venstre derfor kan fugerne i betonelementvæggen tydeligt ses, da de er koldere en resten af elementet. Tyder på manglende isolering i denne del af væggen.

22/24



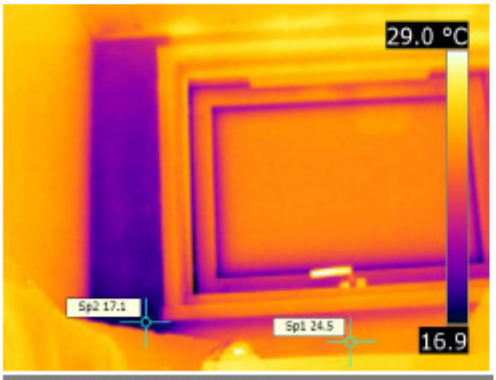
Billed- og objektparametre	
Kameramodel	FLIR T250_ Western
Billeddato	18-02-2016 10:11:31
Billednavn	IR_5873.jpg
Emissitivitet	0,93
Reflekteret temperatur	20,6 °C
Objektafstand	1,0 m

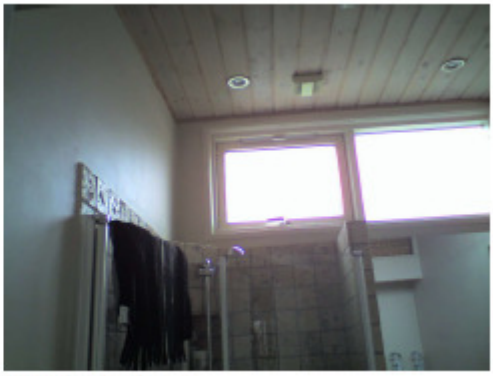
Tekstkommentarer

Beskrivelse

[B. 5] - Ydervægge på badeværelset er renoveret og opbygget med ny isolering. Fugerne i de nye gasbetonblokke ses tydeligt og bekræfter konstruktionens opbygning. Ved vindue ses stort kuldeindfald.

23/24





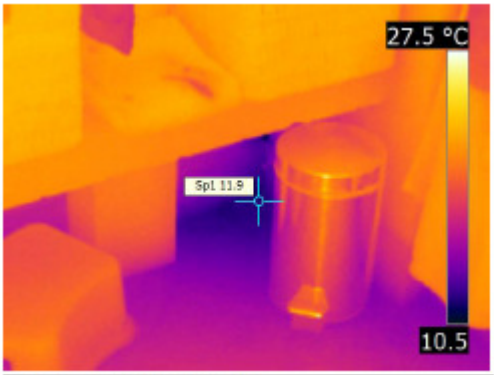
Billed- og objektparametre	
Kameramodel	FLIR T250_ Western
Billeddato	18-02-2016 10:11:59
Billednavn	IR_5877.jpg
Emissitivitet	0,93
Reflekteret temperatur	20,6 °C
Objektafstand	1,0 m

Tekstkommentarer

Beskrivelse

[B. 5] - I badeværelset er det igen betonsøjlerne der danner kuldebroer. Meget store variationer i overfladetemperaturen, da øvrige vægge har nyt og højere isoleringsniveau.

24/24



Billed- og objektparametre	
Kameramodel	FLIR T250_ Western
Billeddato	18-02-2016 10:12:15
Billednavn	IR_5879.jpg
Emissitivitet	0,93
Reflekteret temperatur	20,6 °C
Objektafstand	1,0 m

Tekstkommentarer

Beskrivelse

[B. 5] - I badeværelset ses meget lave overfladetemperaturer på ydervæggen ved gulvet. Samme tendens som i [GH22], termograferingsbillede side 9.

B.5 Beregninger efter Glasers metode

B.5.1 Glaserberegninger – Eksist. forhold

06-05-2016 Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer (eksist.)

Beregning for: 01 - Januar | Overgangsisolans: 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætningsdamptryk p_m Pa	Dampermeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusionsmodstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,73	-0,6	581,0				546,1	94
					0,1	616,3				546,1	89
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,040	2,12	0,02	0,34	0,5	631,9	2,00E-12	2,00E+10	85,76	631,9	100
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,040	-	0,09	1,64	2,1	711,2	2,00E-10	2,00E+08	184,07	711,2	100
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	14,60	16,7	1902,0	2,00E-10	2,00E+08	184,07	895,3	47
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,91	17,6	2015,0	2,60E-11	5,00E+08	460,17	1.355,4	67
Indvendig overgangsisolans			0,13	2,37	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	1,13	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	2,09E+10	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	0,886	W/m²K	0,89
Konklusion:	Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)				

$ΣZ_u$ =	2,00E+10	$Δp_u$ =	85,8
$ΣZ_i$ =	7,00E+08	$Δp_i$ =	644,2

Figur 113 – Resultat af korrigeret Glaser-beregning for eksist. ydervæg med betonelementer.

29-04-2016 Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg udfor betonsøjle (eksist.)

Beregning for: 01 - Januar | Overgangsisolans: 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætningsdamptryk p_m Pa	Dampermeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusionsmodstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	2,62	-0,6	581,0				546,1	94
					2,0	706,4				546,1	77
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	6,18	8,2	1087,2	2,00E-12	1,00E+11	541,05	1.087,2	100
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	3,28	11,5	1354,5	2,60E-11	5,00E+08	0,92	1.354,5	100
Indvendig overgangsisolans			0,13	8,52	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	0,31	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	1,01E+11	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	3,181	W/m²K	3,18
Konklusion:	Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)				

$ΣZ_u$ =	1,00E+11	$Δp_u$ =	541,1
$ΣZ_i$ =	5,00E+08	$Δp_i$ =	0,9

Figur 114 - Resultat af korrigeret Glaser-beregning for eksist. ydervæg ud for betonsøjle.

20-04-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg udfor betonsøjle (eksist.)

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisolans: 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 2-3

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	2,62	-0,6	581,0				546,1	94
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,200	2,12	0,09	6,18	2,0	706,4	2,00E-12	1,00E+11	526,24	546,1	77
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	3,28	8,2	1087,2	2,60E-11	5,00E+08	2,63	1.072,4	99
					11,5	1354,5				1.075,0	79
Indvendig overgangsisolans			0,13	8,52	20,0	2337,0				1.075,0	46
		ΣR =	0,31	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	1,01E+11	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	528,9	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	3,181	W/m²K	3,18
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 115 - Resultat af Glaser-beregning for eksist. ydervæg ud for betonsøjle, hvor fugtbelastningsklassen er sat ned til fugtbelastningsklasse 2.

06-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med træbeklædning (eksist.)

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisolans: 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,65	-0,6	581,0				546,1	94
Træbeklædning, nåletræ	0,025	0,15	0,17	2,69	0,0	612,5	2,00E-12	1,25E+10	197,11	546,1	89
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,060	-	0,09	1,45	2,7	743,2	2,00E-10	3,00E+08	227,93	743,2	100
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	12,91	4,2	823,6	2,00E-10	2,00E+08	151,95	823,6	100
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,81	17,1	1948,4	2,60E-11	5,00E+08	379,88	975,6	50
					17,9	2050,2				1.355,4	66
Indvendig overgangsisolans			0,13	2,10	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	1,28	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	1,35E+10	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,783	W/m²K	0,78
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

$ΣZ_u$ =	1,25E+10	$Δp_u$ =	197,1
$ΣZ_i$ =	7,00E+08	$Δp_i$ =	531,8

Figur 116 - Resultat af korrigeret Glaser-beregning for eksist. ydervæg med bræddebeklædning.

06-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer - DAB renovering i badeværelser

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisolar: 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,40	-0,6	581,0				546,1	94
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,040	2,12	0,02	0,19	-0,2	600,8	2,00E-12	2,00E+10	64,15	546,1	91
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,050	-	0,09	0,91	0,0	610,3	2,00E-10	2,50E+08	12,91	610,3	100
Polystyren, kl. 38	0,050	0,038	1,32	13,31	0,9	652,0	4,00E-12	1,25E+10	645,65	652,0	100
Gasbeton (limede plader), 575 kg/m³	0,075	0,17	0,44	4,46	14,2	1620,7	6,70E-11	1,12E+09	57,82	1.297,6	80
					18,7	2153,3				1.355,4	63
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,32	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,04	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	3,39E+10	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	**0,491**	**W/m²K**	*0,49*	
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*				

$ΣZ_v$ =	2,00E+10	$Δp_v$ =	64,2
$ΣZ_i$ =	1,36E+10	$Δp_i$ =	703,5

Figur 117 – Resultat af Glaser-beregning for eksist. ydervæg i udvalgte badeværelser, hvor der tidligere er etableret indvendig isolering. Her med betonelementer.

20-04-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg udfor betonsøjle, DAB renoveringer i badeværelser

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisolar: 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,67	-0,6	581,0				546,1	94
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,200	2,12	0,09	1,58	0,1	613,6	2,00E-12	1,00E+11	141,52	546,1	89
Polystyren (EPS), kl. 38	0,020	0,038	0,53	8,80	1,6	687,6	4,00E-12	5,00E+09	405,46	687,6	100
Gasbeton (limede plader), 575 kg/m³	0,075	0,17	0,44	7,38	10,4	1264,7	6,70E-11	1,12E+09	90,77	1.264,7	100
					17,8	2040,4				1.355,4	66
Indvendig overgangsisolans			0,13	2,17	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	1,23	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	1,06E+11	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	**0,812**	**W/m²K**	*0,81*	
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*				

$ΣZ_v$ =	1,00E+11	$Δp_v$ =	141,5
$ΣZ_i$ =	1,12E+09	$Δp_i$ =	90,8

Figur 118 - Resultat af Glaser-beregning for eksist. ydervæg i udvalgte badeværelser, hvor der tidligere er etableret indvendig isolering. Her ud for betonsøjle.

B.5.2 Glaserberegninger – Nye løsninger

B.5.2.1 Udvendig efterisolering

1.1 - Ude I, (100/20 mm)

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 100 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola: 02 Vandret

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C
Vent. Lag + udv.bekl. + overgangsisolans			0,3	1,50	-0,6
					0,9
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,18	1,1
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,100	0,037	2,70	13,49	14,6
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,09	14,7
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,040	-	0,09	0,45	15,1
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	3,99	19,1
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,25	19,4
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,65	20,0
		ΣR =	4,13	*20,60* t inde - t ude =	20,6

U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,242** **W/m²K** *0,24*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 100 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola: 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
					0,9	651,7				546,1	84
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,18	1,1	660,2	-	4,00E+08	15,13		
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,100	0,037	2,70	13,49	14,6	1657,4	2,00E-10	5,00E+08	18,91	561,2	85
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,040	2,12	0,02	0,09	14,7	1667,5	2,00E-12	2,00E+10	756,38	580,1	35
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret, vandr.	0,040	-	0,09	0,45	15,1	1716,5	2,00E-10	2,00E+08	7,56	1.336,5	80
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	3,99	19,1	2210,1	2,00E-10	2,00E+08	7,56	1.344,1	78
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,25	19,4	2244,7	2,60E-11	5,00E+08	18,91	1.351,6	61
										1.370,6	61
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,65	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	3,83	*19,10* t inde - t ude =	19,1		ΣZ =	2,14E+10	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

Figur 119 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for betonelementer, 100 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg med betonsøjle, efterisoleret med 20 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola: 02 Vandret

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C
Vent. Lag + udv.bekl. + overgangsisolans			0,3	5,28	-0,6
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,63	4,7
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,020	0,037	0,54	9,52	5,3
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	1,66	14,8
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,33	16,5
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,88	16,8
					17,7
Indvendig overgangsisolans			0,13	2,29	20,0
		ΣR =	1,17	*20,60* t inde - t ude =	20,6

U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,855** **W/m²K** *0,85*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg med betonsøjle, efterisoleret med 20 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola: 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætningsdamptryk p_m Pa	Damppermeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusionsmodstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
					4,7	853,8				546,1	64
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,63	5,3	892,4	-	4,00E+08	0,54	546,6	61
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,020	0,037	0,54	9,51	14,8	1687,3	2,00E-10	1,00E+08	0,13	546,8	32
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,200	2,12	0,09	1,66	16,5	1876,5	2,00E-12	1,00E+11	134,75	681,5	36
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,33	16,8	1916,3	-	5,00E+11	673,77	1.355,3	71
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,88	17,7	2025,9	2,60E-11	5,00E+08	0,67	1.356,0	67
Indvendig overgangsisolans			0,13	2,29	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	0,87	*15,30* t inde - t ude =	15,3		ΣZ =	6,01E+11	$p_{i(inde)}$-$p_{u(ude)}$ =	809,3	

Figur 120 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 20 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg med træbeklædning, efterisoleret med 100 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C
Vent. Lag + udv.bekl. + overgangsisolans			0,3	1,50	-0,6
					0,9
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,18	1,1
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,100	0,037	2,70	13,55	14,6
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,800	-	0,09	0,45	15,1
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	4,01	19,1
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,25	19,3
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,65	20,0
		ΣR =	4,11	*20,60* t inde - t ude =	20,6

U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,243** **W/m²K** *0,24*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg med træbeklædning, efterisoleret med 100 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
					0,9	651,7				546,1	84
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,18	1,1	660,2	-	4,00E+08	202,33		
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,100	0,037	2,70	13,55						748,4	*113*
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret, vandr.	0,080	-	0,09	0,45	14,6	1664,7	2,00E-10	5,00E+08	252,92		
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	4,01	15,1	1713,8	2,00E-10	4,00E+08	202,33	1.001,3	60
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,25	19,1	2209,5	2,00E-10	2,00E+08	101,17	1.203,7	70
					19,3	2244,3	2,60E-11	5,00E+08	252,92	1.304,8	59
										1.557,8	69
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,65	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	3,81	*19,10* t inde - t ude =	19,1		ΣZ =	1,60E+09	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

Figur 121 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for tidligere træbeklædning, 100 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

1.2 - Ude II, (150/70 mm)

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 150 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C
Vent. Lag + udv.bekl. + overgangsisolans			0,3	1,13	-0,6 0,5
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,14	0,7
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,150	0,037	4,05	15,24	15,9
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,07	16,0
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,040	-	0,09	0,34	16,3
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	3,01	19,3
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,19	19,5
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,49	20,0
		ΣR =	5,48	*20,60* t inde - t ude =	20,6

U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,183** **W/m²K** *0,18*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 150 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
					0,5	633,1				546,1	86
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,14	0,6	639,3	-	4,00E+08	14,95	561,1	88
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,150	0,037	4,05	15,26	15,9	1805,7	2,00E-10	7,50E+08	28,04	589,1	33
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,040	2,12	0,02	0,07	16,0	1813,9	2,00E-12	2,00E+10	747,65	1.336,7	74
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret, vandr.	0,040	-	0,09	0,34	16,3	1853,6	2,00E-10	2,00E+08	7,48	1.344,2	73
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	3,01	19,3	2240,7	2,00E-10	2,00E+08	7,48	1.351,7	60
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,19	19,5	2267,1	2,60E-11	5,00E+08	18,69	1.370,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,49	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	5,18	*19,50* t inde - t ude =	19,5		ΣZ =	2,17E+10	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

Figur 122 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for betonelementer, 150 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonsøjle, efterisoleret med 70 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C
Vent. Lag + udv.bekl. + overgangsisolans			0,3	2,45	-0,6
					1,9
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,29	2,1
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,070	0,037	1,89	15,46	17,6
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	0,77	18,4
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,15	18,5
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,41	18,9
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,06	20,0
		ΣR =	2,52	*20,60* t inde - t ude =	20,6

U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,397** **W/m²K** *0,40*

Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonsøjle, efterisoleret med 70 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætningsdamptryk p_m Pa	Dampermeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusionsmodstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
					1,9	700,3				546,1	78
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,29	2,2	715,1	-	4,00E+08	0,54		
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,070	0,037	1,89	15,42	17,6	2013,0	2,00E-10	3,50E+08	0,47	546,6	76
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,200	2,12	0,09	0,77	18,4	2112,7	2,00E-12	1,00E+11	134,70	547,1	27
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,15	18,5	2133,0	-	5,00E+11	673,49	681,8	32
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,41	18,9	2188,0	2,60E-11	5,00E+08	0,67	1.355,3	64
										1.356,0	62
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,06	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,22	*18,10* t inde - t ude =	18,1		ΣZ =	6,01E+11	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

Figur 123 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 70 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med træbeklædning, efterisoleret med 150 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C
Vent. Lag + udv.bekl. + overgangsisolans			0,3	1,13	-0,6
					0,5
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,14	0,7
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,150	0,037	4,05	15,30	16,0
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,800	-	0,09	0,34	16,3
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	3,02	19,3
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,19	19,5
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,49	20,0
		ΣR =	5,46	*20,60* t inde - t ude =	20,6

U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,183** **W/m²K** *0,18*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med træbeklædning, efterisoleret med 150 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætningsdamptryk p_m Pa	Damppermeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusionsmodstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
					0,5	633,1				546,1	86
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,14	0,6	639,3	-	4,00E+08	174,99		
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,150	0,037	4,05	15,32	16,0	1812,2	2,00E-10	7,50E+08	328,11	721,1	*113*
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret, vandr.	0,080	-	0,09	0,34	16,3	1852,0	2,00E-10	4,00E+08	174,99	1.049,2	58
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	3,02	19,3	2240,3	2,00E-10	2,00E+08	87,50	1.224,2	66
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,19	19,5	2266,8	2,60E-11	5,00E+08	218,74	1.311,7	59
										1.530,4	68
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,49	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	5,16	*19,50* t inde - t ude =	19,5		ΣZ =	1,85E+09	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

Figur 124 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for tidligere træbeklædning, 150 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

1.3 - Ude III, (200/120 mm)

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 200 mm

Beregning for: 01 - Januar — Overgangsisola: 02 Vandret

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C
Vent. Lag + udv.bekl. + overgangsisolans			0,3	0,90	-0,6 0,3
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,11	0,4
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,200	0,037	5,41	16,30	16,7
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,06	16,8
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,040	-	0,09	0,27	17,0
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	2,41	19,5
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,15	19,6
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,39	20,0
		ΣR =	6,83	*20,60* t inde - t ude =	20,6

U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,146** **W/m²K** *0,15*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 200 mm

Beregning for: 01 - Januar — Overgangsisola: 02 Vandret — Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
					0,3	624,0				546,1	88
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,11	0,4	628,9	-	4,00E+08	14,78	560,9	89
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,200	0,037	5,41	16,31	16,7	1902,0	2,00E-10	1,00E+09	36,96	597,8	31
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,040	2,12	0,02	0,06	16,8	1908,9	2,00E-12	2,00E+10	739,12	1.337,0	70
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret, vandr.	0,040	-	0,09	0,27	17,0	1942,0	2,00E-10	2,00E+08	7,39	1.344,3	69
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	2,41	19,5	2259,5	2,00E-10	2,00E+08	7,39	1.351,7	60
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,15	19,6	2280,8	2,60E-11	5,00E+08	18,48	1.370,2	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,39	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	6,53	*19,70* t inde - t ude =	19,7		ΣZ =	2,19E+10	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	809,3	

Figur 125 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for betonelementer, 200 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonsøjle, efterisoleret med 120 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C
Vent. Lag + udv.bekl. + overgangsisolans			0,3	1,60	-0,6
					1,0
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,19	1,2
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,120	0,037	3,24	17,25	18,4
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	0,50	18,9
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,10	19,0
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,27	19,3
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,69	20,0
		ΣR =	3,87	*20,60* t inde - t ude =	20,6

U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,258** **W/m²K** *0,26*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonsøjle, efterisoleret med 120 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætningsdamptryk p_m Pa	Dampermeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusionsmodstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
					1,0	656,4				546,1	83
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,19	1,2	665,5	-	4,00E+08	0,54	546,6	82
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,120	0,037	3,24	17,25	18,4	2120,7	2,00E-10	6,00E+08	0,81	547,4	26
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400 kg/m³	0,200	2,12	0,09	0,50	18,9	2188,3	2,00E-12	1,00E+11	134,64	682,1	31
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,10	19,0	2202,0	-	5,00E+11	673,21	1.355,3	62
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,27	19,3	2238,8	2,60E-11	5,00E+08	0,67	1.356,0	61
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,69	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	3,57	*19,00* t inde - t ude =	19,0		ΣZ =	6,01E+11	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

Figur 126 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 120 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med træbeklædning, efterisoleret med 200 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C
Vent. Lag + udv.bekl. + overgangsisolans			0,3	0,91	-0,6
					0,3
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,11	0,4
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,200	0,037	5,41	16,35	16,8
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,800	-	0,09	0,27	17,0
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	2,42	19,5
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,15	19,6
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,39	20,0
		ΣR =	6,81	*20,60* t inde - t ude =	20,6

U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,147** **W/m²K** *0,15*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med træbeklædning, efterisoleret med 200 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
					0,3	624,0				546,1	88
Vindgips, 9 mm	0,009	0,25	0,04	0,11	0,4	628,9	-	4,00E+08	154,16	700,3	*111*
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,200	0,037	5,41	16,35	16,8	1907,7	2,00E-10	1,00E+09	385,40	1.085,7	57
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret, vandr.	0,080	-	0,09	0,27	17,0	1941,0	2,00E-10	4,00E+08	154,16	1.239,8	64
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	2,42	19,5	2259,3	2,00E-10	2,00E+08	77,08	1.316,9	58
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,15	19,6	2280,7	2,60E-11	5,00E+08	192,70	1.509,6	66
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,39	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	6,51	*19,70* t inde - t ude =	19,7		ΣZ =	2,10E+09	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

Figur 127 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for tidligere træbeklædning, 200 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

1.4 - Ude IV, (160/80 mm, pudset)

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelem., efterisoleret med 160 mm (pudset)

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,15	-0,6	581,0				546,1	94
					-0,4	588,4				546,1	93
Puds, 1700 kg/m³	0,005	0,85	0,01	0,02	-0,4	589,5	1,00E-11	5,00E+08	17,01	563,1	96
Mineraluldsisolering (ude hård) > 100	0,160	0,038	4,21	16,23	15,8	1794,6	6,70E-11	2,39E+09	81,25	644,4	36
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,07	15,9	1803,0	2,00E-12	2,00E+10	680,43	1.324,8	73
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,040	-	0,09	0,35	16,2	1843,3	2,00E-10	2,00E+08	6,80	1.331,6	72
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	3,08	19,3	2238,5	2,00E-10	2,00E+08	6,80	1.338,4	60
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,19	19,5	2265,5	2,60E-11	5,00E+08	17,01	1.355,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,50	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	5,35	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	2,38E+10	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	0,187	W/m²K	0,19
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*				

Figur 128 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for betonelementer, 160 mm isolering (pudset). Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned

21-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg ud for betonsøjle, efterisoleret med 80 mm (pudset)

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,33	-0,6	581,0				546,1	94
					-0,3	597,0				546,1	91
Puds, 1700 kg/m³	0,005	0,85	0,01	0,05	-0,2	599,4	1,00E-11	5,00E+08	0,67	546,8	91
Mineraluldsisolering (ude hård) < 100	0,080	0,037	2,16	17,81	17,6	2009,7	6,70E-11	1,19E+09	1,60	548,4	27
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	0,78	18,4	2110,4	2,00E-12	1,00E+11	134,39	682,8	32
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,15	18,5	2130,9	-	5,00E+11	671,96	1.354,8	64
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,41	18,9	2186,5	2,60E-11	5,00E+08	0,67	1.355,4	62
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,07	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,50	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	6,02E+11	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	0,400	W/m²K	0,40
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*				

Figur 129 - Beregning efter Glasers metode af udvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 80 mm isolering (pudset). Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned

B.5.2.2 Indvendig efterisolering

2.1 - Inde I, (75/10 mm)

05-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 75 mm (I)

Beregning for: 02 - Februar | Overgangsisola: 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,35	-1,1	557,4				507,2	91
					-0,8	573,8					
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,17			2,00E-12	2,00E+10	32,53	507,2	88
					-0,6	581,7					
Hulrum (15-20 mm), svagt ventileret,	0,015	-	0,09	0,74			2,00E-10	7,50E+07	0,12	539,8	93
					0,2	617,6					
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,075	0,037	2,03	17,73			2,00E-10	3,75E+08	0,61	539,9	87
					17,9	2048,0					
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,10			-	5,00E+11	813,31	540,5	26
					18,0	2061,3					
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,44			2,60E-11	5,00E+08	0,81	1.353,8	66
					18,4	2118,7					
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,44			2,60E-11	5,00E+08	0,81	1.354,6	64
					18,9	2177,5					
										1.355,4	62
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,14	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,41	21,10 t inde - t ude =	21,1		ΣZ =	5,21E+11	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	848,2	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,414	W/m²K	0,41
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 130 – Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonelementer, 75 mm isolering. Her for februar måned for også at undersøge indvendig overfladetemperatur.

20-04-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af ydervæg udfor betonsøjle, efterisoleret med 10 mm.

Beregning for: 02 - Februar | Overgangsisola: 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	1,27	-1,1	557,4				507,2	91
					0,2	618,0					
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	2,99			2,00E-12	1,00E+11	141,12	507,2	82
					3,2	766,1					
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,59			-	5,00E-11	0,00	648,3	85
					3,8	799,0					
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,010	0,037	0,27	8,57			2,00E-10	5,00E+07	0,07	648,3	81
					12,3	1432,6					
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,37			-	5,00E+11	705,60	648,4	45
					12,7	1468,2					
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	1,59			2,60E-11	5,00E+08	0,71	1.354,0	92
					14,3	1628,0					
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	1,59			2,60E-11	5,00E+08	0,71	1.354,7	83
					15,9	1802,9					
										1.355,4	75
Indvendig overgangsisolans			0,13	4,12	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	0,67	21,10 t inde - t ude =	21,1		ΣZ =	6,01E+11	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	848,2	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	1,503	W/m²K	1,50
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 131 – Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 10 mm isolering.
Her for februar måned for også at undersøge indvendig overfladetemperatur.

2.2 - Inde II, (75/25 mm)

05-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 75 mm (II)

Beregning for: 02 - Februar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,35	-1,1	557,4				507,2	91
					-0,8	573,8					
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,17			2,00E-12	2,00E+10	32,53	507,2	88
					-0,6	581,7					
Hulrum (15-20 mm), svagt ventileret,	0,030	-	0,09	0,74			2,00E-10	1,50E+08	0,24	539,8	93
					0,2	617,6					
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,075	0,037	2,03	17,73			2,00E-10	3,75E+08	0,61	540,0	87
					17,9	2048,0					
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,10			-	5,00E+11	813,20	540,6	26
					18,0	2061,3				1.353,8	66
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,44			2,60E-11	5,00E+08	0,81		
					18,4	2118,7				1.354,6	64
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,44			2,60E-11	5,00E+08	0,81		
					18,9	2177,5				1.355,4	62
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,14	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,41	*21,10* t inde - t ude =	21,1		ΣZ =	5,22E+11	p_{inde}-p_{ude} =	848,2	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	**0,414**	**W/m²K**	*0,41*
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*				

Figur 132 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonelementer, 75 mm isolering. Her for februar måned for også at undersøge indvendig overfladetemperatur.

Figur 133 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 25

20-04-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg udfor betonsøjle, efterisoleret med 25 mm.

Beregning for: 02 - Februar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,79	-1,1	557,4				507,2	91
					-0,3	595,0					
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	1,86			2,00E-12	1,00E+11	141,10	507,2	85
					1,5	682,8				648,3	95
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,37			-	5,00E-11	0,00		
					1,9	701,1				648,3	92
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,025	0,037	0,68	13,32			2,00E-10	1,25E+08	0,18		
					15,2	1730,3				648,5	37
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,23			-	5,00E+11	705,51		
					15,5	1756,3				1.354,0	77
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,99			2,60E-11	5,00E+08	0,71		
					16,5	1870,4				1.354,7	72
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,99			2,60E-11	5,00E+08	0,71		
					17,4	1991,0				1.355,4	68
Indvendig overgangsisolans			0,13	2,56	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	1,07	*21,10* t inde - t ude =	21,1		ΣZ =	6,01E+11	p_{inde}-p_{ude} =	848,2	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	**0,934**	**W/m²K**	*0,93*
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*				

mm isolering.
Her for februar måned for også at undersøge indvendig overfladetemperatur.

11-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med træbeklædning, efterisoleret med 75 mm (II)

Beregning for: 02 - Februar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,33	-1,1	557,4				507,2	91
					-0,8	572,8					
Træbeklædning, nåletræ	0,025	0,15	0,17	1,37			2,00E-12	1,25E+10	20,62	507,2	89
					0,6	637,7					
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,050	-	0,09	0,74			2,00E-10	2,50E+08	0,41	527,9	83
					1,3	672,7					
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,075	0,037	2,03	16,67			2,00E-10	3,75E+08	0,62	528,3	79
					18,0	2064,3					
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,10			-	5,00E+11	824,90	528,9	26
					18,1	2076,9					
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,41			2,60E-11	5,00E+08	0,82	1.353,8	65
					18,5	2131,2					
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,41			2,60E-11	5,00E+08	0,82	1.354,6	64
					18,9	2186,7					
										1.355,4	62
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,07	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,57	*21,10* t inde - t ude =	21,1		ΣZ =	5,14E+11	p_{inde}-p_{ude} =	848,2	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,390	W/m²K	*0,39*
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 134 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for træbeklædning, 75 mm isolering. Her for februar måned for også at undersøge indvendig overfladetemperatur.

2.3 - Inde III, (95/30 mm)

05-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 95 mm

Beregning for: 02 - Februar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,29	-1,1	557,4				507,2	91
					-0,8	570,8					
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,13			2,00E-12	2,00E+10	32,53	507,2	89
					-0,7	577,2					
Hulrum (15-20 mm), svagt ventileret,	0,015	-	0,09	0,61			2,00E-10	7,50E+07	0,12	539,8	94
					-0,1	606,9					
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,095	0,037	2,57	18,34			2,00E-10	4,75E+08	0,77	539,9	89
					18,3	2098,5					
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,08			-	5,00E+11	813,16	540,6	26
					18,4	2109,5					
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,36			2,60E-11	5,00E+08	0,81	1.353,8	64
					18,7	2157,3					
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,36			2,60E-11	5,00E+08	0,81	1.354,6	63
					19,1	2205,9					
										1.355,4	61
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,93	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,95	*21,10* t inde - t ude =	21,1		ΣZ =	5,22E+11	p_{inde}-p_{ude} =	848,2	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,339	W/m²K	*0,34*
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 135 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonelementer, 95 mm isolering. Her for februar måned for også at undersøge indvendig overfladetemperatur.

20-04-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg udfor betonsøjle. Efterisoleret med 30 mm.

Beregning for: 02 - Februar | Overgangsisola: 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,70	-1,1	557,4				507,2	91
					-0,4	590,7				507,2	86
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	1,65	1,3	668,4	2,00E-12	1,00E+11	141,10	648,3	97
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,33	1,6	684,3	-	5,00E-11	0,00	648,3	95
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,030	0,037	0,81	14,19	15,8	1790,6	2,00E-10	1,50E+08	0,21	648,5	36
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,21	16,0	1814,4	-	5,00E+11	705,48	1.354,0	75
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,88	16,8	1918,3	2,60E-11	5,00E+08	0,71	1.354,7	71
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,88	17,7	2027,4	2,60E-11	5,00E+08	0,71	1.355,4	67
Indvendig overgangsisolans			0,13	2,28	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	1,21	*21,10* t inde - t ude =	21,1		ΣZ =	6,01E+11	p_{inde}-p_{ude} =	848,2	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,829	W/m²K	*0,83*
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 136 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 30 mm isolering. Her for februar måned for også at undersøge indvendig overfladetemperatur.

11-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med træbeklædning, efterisoleret med 95 mm

Beregning for: 02 - Februar | Overgangsisola: 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,27	-1,1	557,4				507,2	91
					-0,8	570,1				507,2	89
Træbeklædning, nåletræ	0,025	0,15	0,17	1,13	0,3	624,1	2,00E-12	1,25E+10	20,62	527,8	85
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,035	-	0,09	0,61	0,9	652,4	2,00E-10	1,75E+08	0,29	528,1	81
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,095	0,037	2,57	17,44	18,4	2109,7	2,00E-10	4,75E+08	0,78	528,9	25
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,08	18,4	2120,3	-	5,00E+11	824,86	1.353,8	64
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,34	18,8	2165,8	2,60E-11	5,00E+08	0,82	1.354,6	63
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,34	19,1	2212,2	2,60E-11	5,00E+08	0,82	1.355,4	61
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,88	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	3,11	*21,10* t inde - t ude =	21,1		ΣZ =	5,14E+11	p_{inde}-p_{ude} =	848,2	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,322	W/m²K	*0,32*
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 137 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for træbeklædning, 95 mm isolering. Her for februar måned for også at undersøge indvendig overfladetemperatur.

2.4 - Inde IV, 195/145

05-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med 195 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,15	-0,6	581,0				546,1	94
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,07	-0,5	588,0	2,00E-12	2,00E+10	31,00	546,1	93
Hulrum (15-20 mm), svagt ventileret,	0,030	-	0,09	0,31	-0,4	591,4	2,00E-10	1,50E+08	0,23	577,1	98
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,195	0,037	5,27	19,20	-0,1	606,7	2,00E-10	9,75E+08	1,51	577,4	95
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,04	19,1	2212,6	-	5,00E+11	775,01	578,9	26
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,18	19,2	2218,5	2,60E-11	5,00E+08	0,78	1.353,9	61
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,18	19,3	2243,8	2,60E-11	5,00E+08	0,78	1.354,7	60
					19,5	2269,3				1.355,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,47	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	5,66	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	5,22E+11	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,177	W/m²K	0,18
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 138 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonelementer, 195 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

20-04-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg udfor betonsøjle. Efterisoleret med 145 mm.

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,19	-0,6	581,0				546,1	94
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	0,45	-0,4	590,2	2,00E-12	1,00E+11	134,50	546,1	93
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,09	0,0	612,3	-	5,00E-11	0,00	680,6	*111*
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,145	0,037	3,92	18,71	0,1	616,3	2,00E-10	7,25E+08	0,98	680,6	*110*
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,06	18,8	2175,1	-	5,00E+11	672,49	681,6	31
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,24	18,9	2182,7	2,60E-11	5,00E+08	0,67	1.354,1	62
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,24	19,1	2215,5	2,60E-11	5,00E+08	0,67	1.354,8	61
					19,4	2248,6				1.355,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,62	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	4,31	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	6,02E+11	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,232	W/m²K	0,23
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 139 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 145 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

15-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med træbeklædning, efterisoleret med 195 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m^2K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m^2×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,14	-0,6	581,0				546,1	94
					-0,5	587,8				546,1	93
Træbeklædning, nåletræ	0,025	0,15	0,17	0,59	0,1	616,4	2,00E-12	1,25E+10	19,66	565,8	92
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,035	-	0,09	0,32	0,5	630,9	2,00E-10	1,75E+08	0,28	566,1	90
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,195	0,037	5,27	18,69	19,1	2215,8	2,00E-10	9,75E+08	1,53	567,6	26
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,04	19,2	2221,5	-	5,00E+11	786,26	1.353,9	61
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,18	19,4	2246,2	2,60E-11	5,00E+08	0,79	1.354,6	60
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,18	19,5	2271,1	2,60E-11	5,00E+08	0,79	1.355,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,46	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	5,81	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	5,15E+11	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,172	W/m²K	0,17
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 140 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for træbeklædning, 195 mm isolering. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

2.5 - Inde V, 195/145 (kl. 34)

05-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med S195 mm

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m^2K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m^2×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,13	-0,6	581,0				546,1	94
					-0,5	587,5				546,1	93
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,06	-0,4	590,6	2,00E-12	2,00E+10	31,00	577,1	98
Hulrum (15-20 mm), svagt ventileret,	0,030	-	0,09	0,29	-0,1	604,7	2,00E-10	1,50E+08	0,23	577,4	95
Mineraluldsisolering, kl. 34 ("Super")	0,195	0,034	5,74	19,30	19,2	2221,8	2,00E-10	9,75E+08	1,51	578,9	26
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,04	19,2	2227,3	-	5,00E+11	775,01	1.353,9	61
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,17	19,4	2250,7	2,60E-11	5,00E+08	0,78	1.354,7	60
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,17	19,6	2274,4	2,60E-11	5,00E+08	0,78	1.355,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,44	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	6,12	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	5,22E+11	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,163	W/m²K	0,16
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 141 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonelementer, 195 mm isolering i λ-klasse 34. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

20-04-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg udfor betonsøjle. Efterisoleret med S145 mm.

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola: 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,18	-0,6	581,0				546,1	94
					-0,4	589,5				546,1	93
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	0,42	0,0	610,2	2,00E-12	1,00E+11	134,50	680,6	*112*
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,08	0,1	613,9	-	5,00E-11	0,00	680,6	*111*
Mineraluldsisolering, kl. 34 ("Super")	0,145	0,034	4,26	18,85	18,9	2186,7	2,00E-10	7,25E+08	0,98	681,6	31
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,05	19,0	2193,8	-	5,00E+11	672,49	1.354,1	62
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,22	19,2	2224,3	2,60E-11	5,00E+08	0,67	1.354,8	61
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,22	19,4	2255,1	2,60E-11	5,00E+08	0,67	1.355,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,57	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	4,66	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	6,02E+11	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,215	W/m²K	0,21
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 142 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 145 mm isolering i λ-klasse 34. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

16-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af yderv. betonsøjle. Efterisoleret med S145 mm., defekt dampsp.

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola: 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,18	-0,6	581,0				546,1	94
					-0,4	589,5				546,1	93
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,200	2,12	0,09	0,42	0,0	610,2	2,00E-12	1,00E+11	638,63	1.184,8	*194*
Tagpap	0,003	0,16	0,02	0,08	0,1	613,9	-	5,00E-11	0,00	1.184,8	*193*
Mineraluldsisolering, kl. 34 ("Super")	0,145	0,034	4,26	18,85	18,9	2186,7	2,00E-10	7,25E+08	4,63	1.189,4	54
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,05	19,0	2193,8	-	2,50E+10	159,66	1.349,0	61
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,22	19,2	2224,3	2,60E-11	5,00E+08	3,19	1.352,2	61
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,22	19,4	2255,1	2,60E-11	5,00E+08	3,19	1.355,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,57	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	4,66	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	1,27E+11	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,215	W/m²K	0,21
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 143 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for betonsøjle, 145 mm isolering i λ-klasse 34. Simuleret med defekt dampspærre. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

15-05-2016

Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med træbeklædning, efterisoleret med S195 mm

Beregning for: 01 - Januar | Overgangsisola 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,13	-0,6	581,0				546,1	94
					-0,5	587,3				546,1	93
Træbeklædning, nåletræ	0,025	0,15	0,17	0,55	0,1	614,0	2,00E-12	1,25E+10	19,66	565,8	92
Hulrum (>25 mm), svagt ventileret,	0,035	-	0,09	0,30	0,4	627,3	2,00E-10	1,75E+08	0,28	566,1	90
Mineraluldsisolering, kl. 34 ("Super")	0,195	0,034	5,74	18,83	19,2	2224,6	2,00E-10	9,75E+08	1,53	567,6	26
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,04	19,2	2229,9	-	5,00E+11	786,26	1.353,9	61
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,16	19,4	2252,8	2,60E-11	5,00E+08	0,79	1.354,6	60
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,16	19,6	2275,9	2,60E-11	5,00E+08	0,79	1.355,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,43	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	6,27	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	5,15E+11	$p_{(inde)}$-$p_{(ude)}$ =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	**0,159**	**W/m²K**	*0,16*
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*				

Figur 144 - Beregning efter Glasers metode af indvendig konstruktionsløsning ud for træbeklædning, 195 mm isolering i λ-klasse 34. Her for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

B.5.2.3 Hulrumsisolering

3.1 - Hulrum

07-05-2016 Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med hulrumsfyld

Beregning for: 01 - Januar | Overgangsisolans: 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætningsdamptryk p_m Pa	Dampermeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusionsmodstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,39	-0,6	581,0				546,1	94
					-0,2	600,0					
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,18						546,1	91
					0,0	609,1	2,00E-12	2,00E+10	774,45		
Mineraluld, granulat hulrumsfyld, kl. 37	0,040	0,037	1,08	10,51						1.320,6	*217*
					10,5	1267,1	2,00E-10	2,00E+08	7,74		
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	7,77						1.328,3	*105*
					18,3	2095,6	2,00E-10	2,00E+08	7,74		
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,49						1.336,1	64
					18,7	2160,3	2,60E-11	5,00E+08	19,36		
										1.355,4	63
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,26	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,12	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	2,09E+10	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	0,472	W/m²K	*0,47*
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*				

Figur 145 – Efterisolering i hulrum (40 mm), beregning for januar måned for at undersøge fugt i konstruktionen i mest kritiske måned.

07-05-2016 Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg med betonelementer, efterisoleret med hulrumsfyld

Beregning for: 02 - Februar | Overgangsisolans: 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperaturændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætningsdamptryk p_m Pa	Dampermeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusionsmodstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,40	-1,1	557,4				507,2	91
					-0,7	576,1					
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,19						507,2	88
					-0,5	585,1	2,00E-12	2,00E+10	811,68		
Mineraluld, granulat hulrumsfyld, kl. 37	0,040	0,037	1,08	10,76						1.318,9	*225*
					10,2	1247,7	2,00E-10	2,00E+08	8,12		
Mineraluldsisolering (1950'erne)	0,040	0,05	0,80	7,96						1.327,0	*106*
					18,2	2090,0	2,00E-10	2,00E+08	8,12		
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,50						1.335,1	64
					18,7	2156,2	2,60E-11	5,00E+08	20,29		
										1.355,4	63
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,29	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,12	*21,10* t inde - t ude =	21,1		ΣZ =	2,09E+10	p_{inde}-p_{ude} =	848,2	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR	U =	0,472	W/m²K	*0,47*
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*				

Figur 146 – Efterisolering i hulrum (40 mm), beregning for februar måned for at undersøge indvendig overfladetemperatur.

B.5.3 Glaserberegninger – Simulering af utæt dampspærre

B.5.3.1 Case I – Grenhusene, defekt dampspærre

11-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning af yderv. betonelem., efterisol. m. 75 mm (II), defekt dampspærre

Beregning for: 01 - Januar | Overgangsisola 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,34	-0,6	581,0				546,1	94
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,16	-0,3	597,6	2,00E-12	2,00E+10	347,90	546,1	91
Hulrum (15-20 mm), svagt ventileret,	0,030	-	0,09	0,73	-0,1	605,6	2,00E-10	1,50E+08	2,61	894,0	148
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,075	0,037	2,03	17,31	0,6	639,0	2,00E-10	3,75E+08	6,52	896,6	140
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,10	17,9	2054,5	-	2,50E+10	434,87	903,2	44
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,43	18,0	2067,5	2,60E-11	5,00E+08	8,70	1.338,0	65
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,43	18,5	2123,7	2,60E-11	5,00E+08	8,70	1.346,7	63
					18,9	2181,1				1.355,4	62
Indvendig overgangsisolans			0,13	1,11	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	2,41	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	4,65E+10	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,414	W/m²K	0,41
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 147 –Simulering af defekt dampspærre i 75 mm indvendig efterisoleret konstruktion – Case I, Grenhusene.

05-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier", Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København**
Beregning med betonelem., efterisoleret med 195 mm, defekt dampspærre

Beregning for: 01 - Januar | Overgangsisola 02 Vandret | Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,15	-0,6	581,0				546,1	94
Beton (jernbeton ude, 1953), 2400	0,040	2,12	0,02	0,07	-0,5	588,0	2,00E-12	2,00E+10	343,47	546,1	93
Hulrum (15-20 mm), svagt ventileret,	0,030	-	0,09	0,31	-0,4	591,4	2,00E-10	1,50E+08	2,58	889,6	150
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,195	0,037	5,27	19,20	-0,1	606,7	2,00E-10	9,75E+08	16,74	892,2	147
Dampspærre, PE-folie	0,002	0,17	0,01	0,04	19,1	2212,6	-	2,50E+10	429,34	908,9	41
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,18	19,2	2218,5	2,60E-11	5,00E+08	8,59	1.338,3	60
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,18	19,3	2243,8	2,60E-11	5,00E+08	8,59	1.346,8	60
					19,5	2269,3				1.355,4	60
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,47	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	5,66	20,60 t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	4,71E+10	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion:	U = 1/ΣR U =	0,177	W/m²K	0,18
Konklusion:	*Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*			

Figur 148 – Simulering af defekt dampspærre i 195 mm indvendig efterisoleret konstruktion – Case I, Grenhusene

B.5.3.2 Case II – Albertslund Syd, uden dampspærre

10-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg "Albertslund Syd" - Beton-sandwich oprindelig

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4

Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,66	-0,6	581,0				546,1	94
					0,1	613,2				546,1	89
Beton (jernbeton ude, 1962), 2400	0,060	2,16	0,03	0,46			2,00E-12	3,00E+10	343,19		
					0,5	634,0				889,3	*140*
Mineraluldsisolering (hård), (1960'erne)	0,050	0,05	1,00	16,54			6,70E-11	7,46E+08	8,54		
					17,1	1944,3				897,9	46
Beton (jernbeton inde, 1962), 2400	0,080	1,68	0,05	0,79			2,00E-12	4,00E+10	457,58		
					17,8	2043,4				1.355,4	66
Indvendig overgangsisolans			0,13	2,15	20,0	2337,0				1.355,4	58
		ΣR =	1,25	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	7,07E+10	p_{inde}-p_{ude} =	809,3	

U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,803** **W/m²K** *0,80*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

Figur 149 – Simulering af defekt/manglende dampspærre i traditionel indvendig isolering af betonelementbyggeri fra 1960'erne – Case II, Albertslund Syd – Oprindelige forhold.

10-05-2016 **Specialerapport "Varmeisolering i efterkrigstidens betonelementbyggerier",**
Master i Bygningsfysik F16 - Aalborg Universitet, København
Beregning af ydervæg "Albertslund Syd" - Beton-sandwich m. indv. efterisol.

Beregning for: 01 - Januar Overgangsisola 02 Vandret Fugtbelastningsklassegrænse: 3-4 Beregnet af: *PJH*

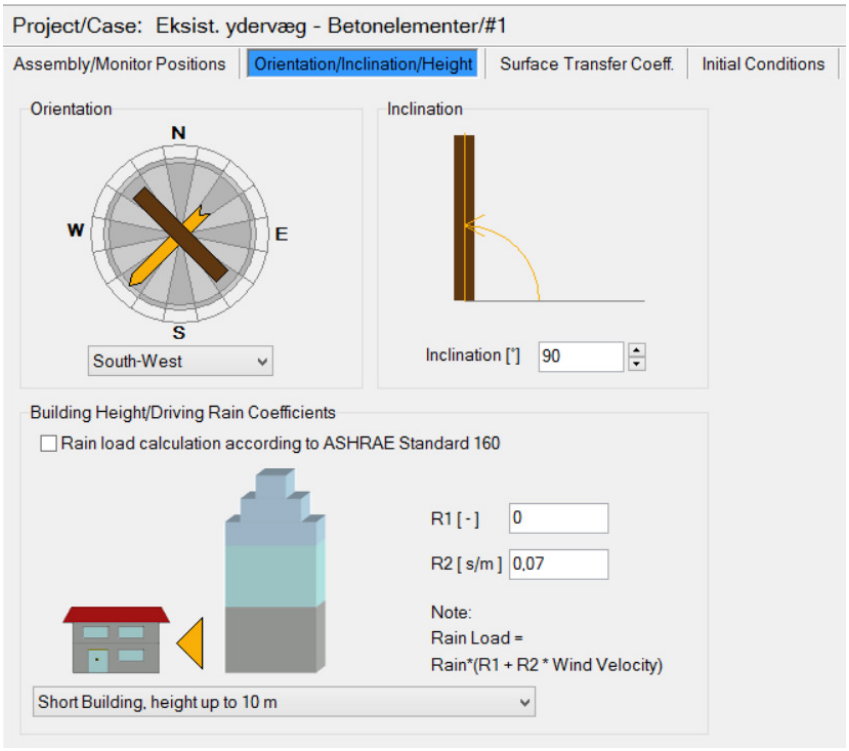
Materiale	Tykkelse s m	Varmeled-ningsevne λ W/m×K	Isolans R=s/λ m²K/W	Temperatur-ændring Δθ °C	Temperatur θ °C	Mætnings-damptryk p_m Pa	Damp-permeabilitet δ kg/m×s×Pa	Diffusions-modstand Z=s/δ Pa×m²×s/kg	Damptryksfald Δp Pa	Damptryk p Pa	Relativ fugtighed RF %	Noter
Udvendig overgangsisolans			0,04	0,20	-0,6	581,0				546,1	94	
					-0,4	590,9				546,1	92	
Beton (jernbeton ude, 1962), 2400	0,060	2,16	0,03	0,14			2,00E-12	3,00E+10	336,06			
					-0,3	597,8				882,2	*148*	
Mineraluldsisolering (hård), (1960'erne)	0,050	0,05	1,00	5,09			6,70E-11	7,46E+08	8,36			
					4,8	861,8				890,5	*103*	*Oprindelig indvendig overflade*
Beton (jernbeton inde, 1962), 2400	0,080	1,68	0,05	0,24	5,1	876,5	2,00E-12	4,00E+10	448,08			
Mineraluldsisolering, kl. 37	0,100	0,037	2,70	13,75						1.338,6	*153*	*Efterisolering*
					18,8	2172,9	2,00E-10	5,00E+08	5,60			
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,25						1.344,2	62	
					19,1	2207,7	2,60E-11	5,00E+08	5,60			
Gipsplade	0,013	0,26	0,05	0,25						1.349,8	61	
					19,3	2243,0	2,60E-11	5,00E+08	5,60			
										1.355,4	60	
Indvendig overgangsisolans			0,13	0,66	20,0	2337,0				1.355,4	58	
		ΣR =	4,05	*20,60* t inde - t ude =	20,6		ΣZ =	7,22E+10	p_{inde}-p_{ude} =	809,3		

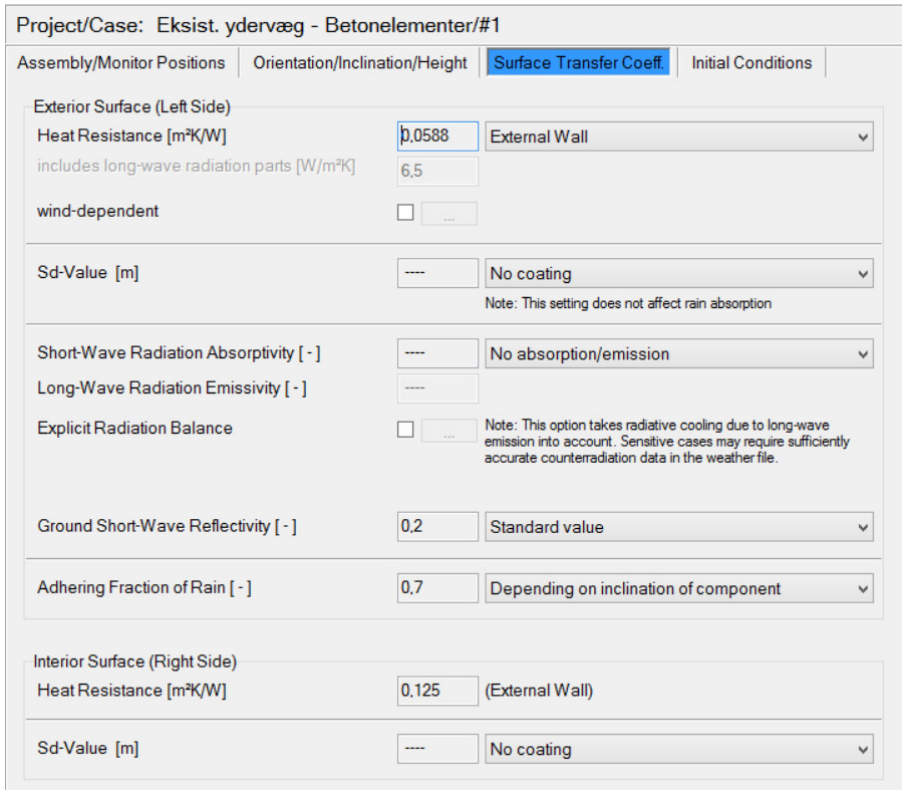
U-værdi for denne konstruktion: U = 1/ΣR U = **0,247** **W/m²K** *0,25*
Konklusion: *Krav ifølge BR61: 1,00 W/m²K (0,85 kcal/m² h.)*

Figur 150 - Simulering af defekt/manglende dampspærre i traditionel indvendig isolering af betonelementbyggeri fra 1960'erne – Case II, Albertslund Syd – Efterisolerede forhold, eksempel fra januar måned i fugtbelastningsklasse 3.

B.6 Simulering i WUFI

B.6.1 WUFI-simulering – Generelle indstillinger for simuleringer





Project/Case: Eksist. ydervæg - Betonelementer/#1

Assembly/Monitor Positions | Orientation/Inclination/Height | Surface Transfer Coeff. | Initial Conditions

Initial Moisture in Component
- (•) Constant Across Component
- ( ) In each Layer
- ( ) Read from File

Initial Temperature in Component
- (•) Constant Across Component
- ( ) Read from File

Initial Relative Humidity [-] 0,8

Initial Temperature in Component [°C] 20

Initial Water Content in Different Layers

No.	Material Layer	Thickn. [m]	Water Content [kg/m³]
1	Concrete, w/c=0.5	0,04	85,0
2	Air Layer 50 mm	0,05	1,88
3	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)	0,04	1,79
4	Gypsum Board	0,0125	6,3

Project/Case: Eksist. ydervæg - Betonelementer/#1

Calculation Period / Profiles | Numerics

Mode of Calculation
- [x] Heat Transport Calculation
- [x] Moisture Transport Calculation

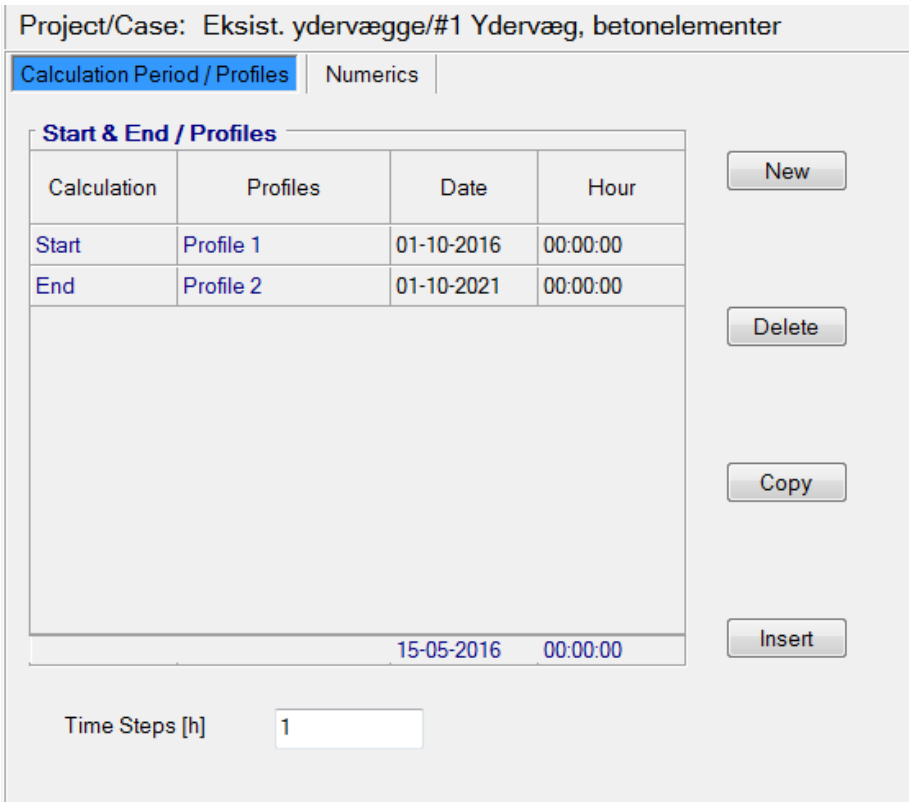
For Thermal Conductivity
- (•) Use temperature and moisture dependency
- ( ) Use constant Design Value

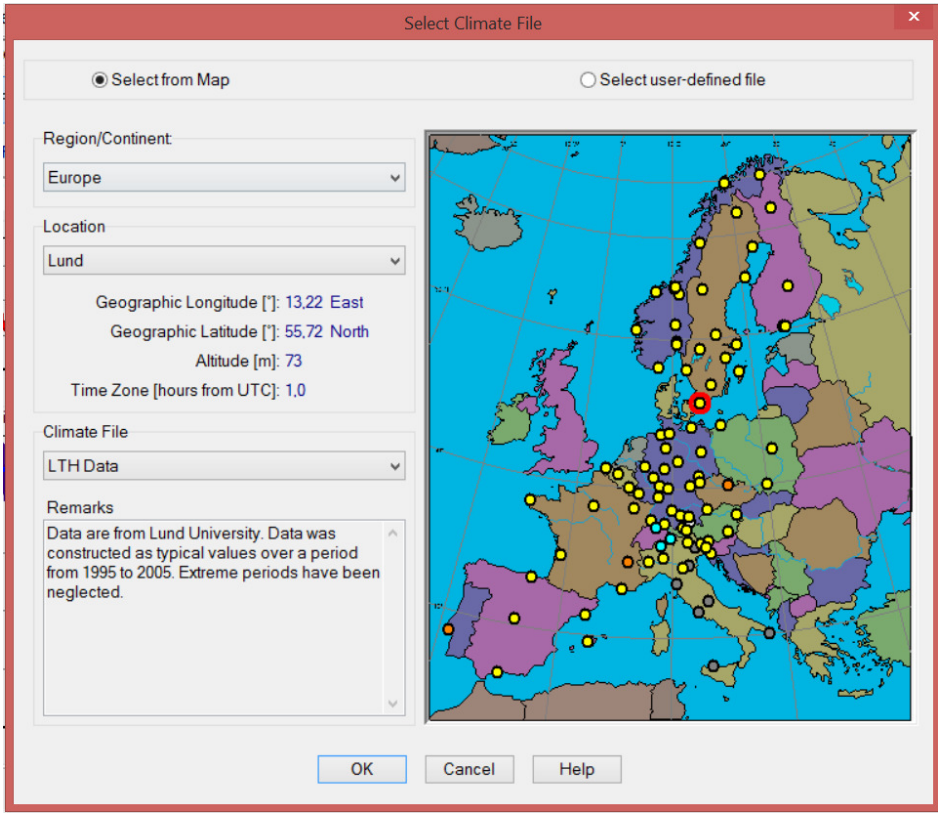
Hygrothermal Special Options
- [ ] Excluding Capillary Conduction
- [ ] Excluding Latent Heat of Evaporation
- [ ] Excluding Temperature Dependency in Latent Heat of Evaporation
- [ ] Excluding Latent Heat of Fusion

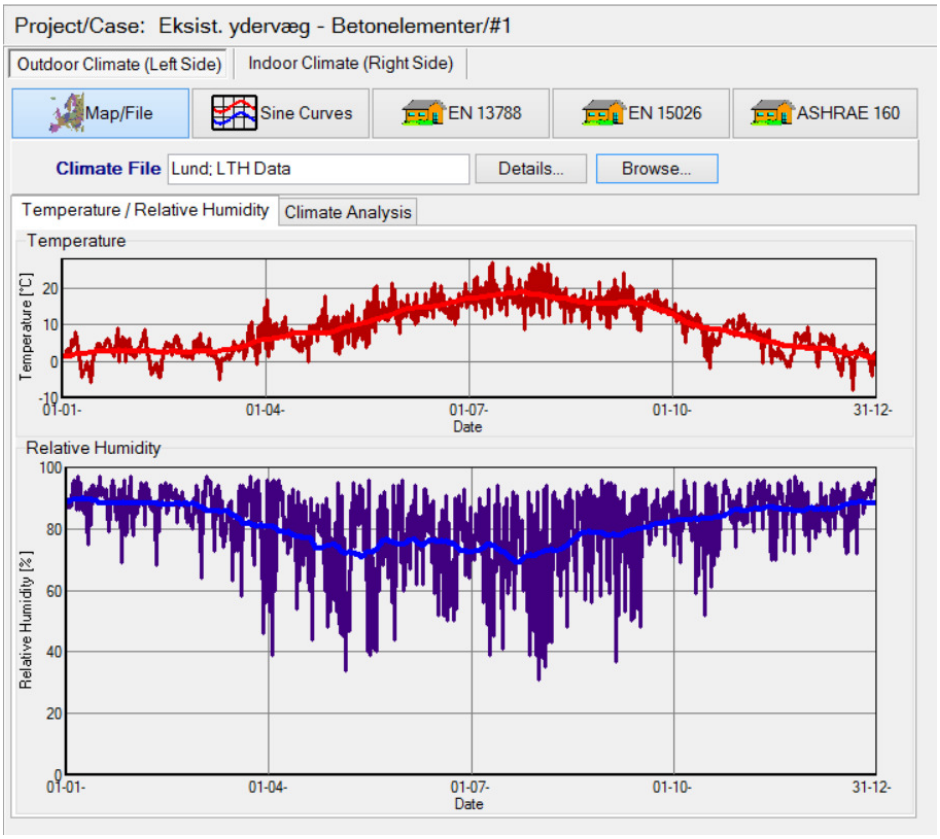
Numerical Parameters
- [x] Increased Accuracy
- [x] Adapted Convergence

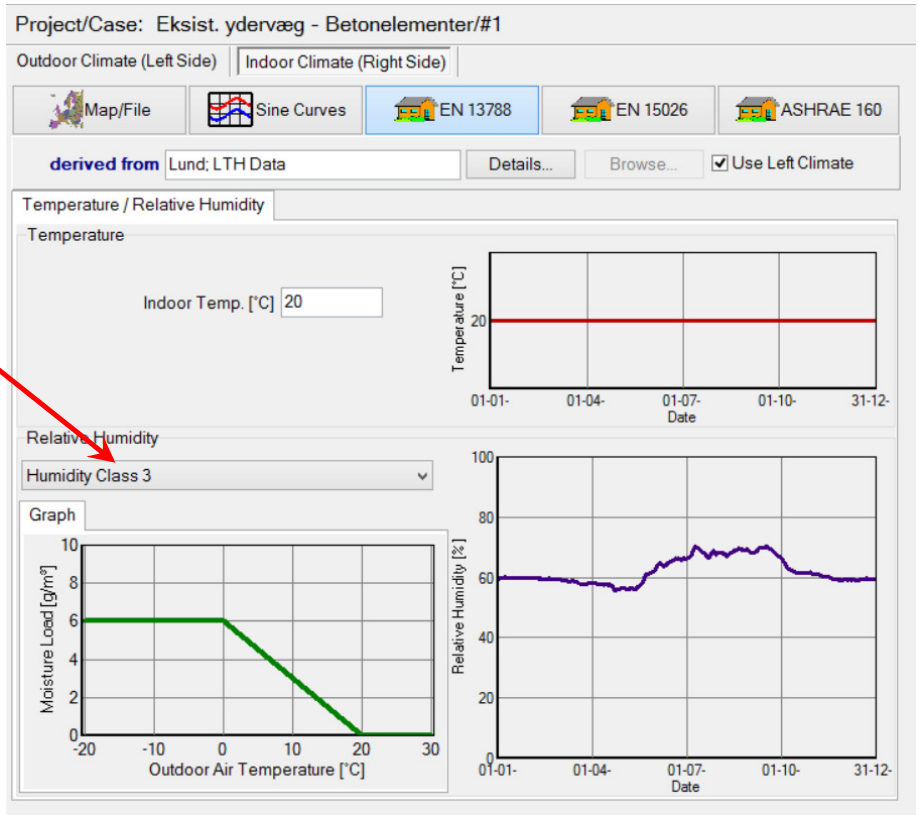
Adaptive Time Step Control
- [ ] Enable

Geometry
- (•) Cartesian
- ( ) Radially Symmetric


Project/Case: Eksist. ydervægge/#1 Ydervæg, betonelementer
Calculation Period / Profiles
Numerics
Start & End / Profiles
Calculation
Profiles
Date
Hour
Start
Profile 1
01-10-2016
00:00:00
End
Profile 2
01-10-2021
00:00:00
15-05-2016
00:00:00
New
Delete
Copy
Insert
Time Steps [h]
1


Select Climate File
Select from Map
Select user-defined file
Region/Continent:
Europe
Location
Lund
Geographic Longitude [°]: 13,22 East
Geographic Latitude [°]: 55,72 North
Altitude [m]: 73
Time Zone [hours from UTC]: 1,0
Climate File
LTH Data
Remarks
Data are from Lund University. Data was constructed as typical values over a period from 1995 to 2005. Extreme periods have been neglected.
OK
Cancel
Help

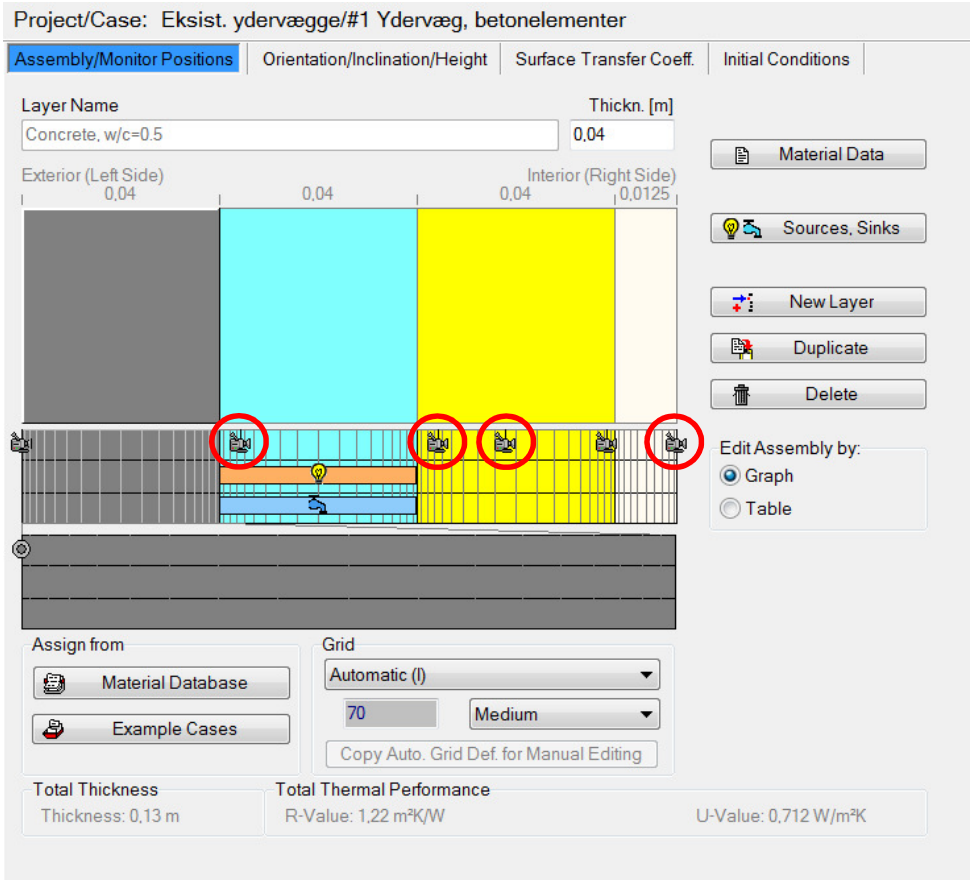

Project/Case: Eksist. ydervæg - Betonelementer/#1
Outdoor Climate (Left Side)
Indoor Climate (Right Side)
Map/File
Sine Curves
EN 13788
EN 15026
ASHRAE 160
Climate File
Lund; LTH Data
Details...
Browse...
Temperature / Relative Humidity
Climate Analysis
Temperature
Temperature [°C]
20
10
0
-10
01-01-
01-04-
01-07-
01-10-
31-12-
Date
Relative Humidity
Relative Humidity [%]
100
80
60
40
20
0
01-01-
01-04-
01-07-
01-10-
31-12-
Date


Project/Case: Eksist. ydervæg - Betonelementer/#1
Outdoor Climate (Left Side)
Indoor Climate (Right Side)
Map/File
Sine Curves
EN 13788
EN 15026
ASHRAE 160
derived from
Lund; LTH Data
Details...
Browse...
Use Left Climate
Temperature / Relative Humidity
Temperature
Indoor Temp. [°C]
20
Temperature [°C]
20
01-01-
01-04-
01-07-
01-10-
31-12-
Date
Relative Humidity
Humidity Class 3
Graph
Moisture Load [g/m³]
10
8
6
4
2
0
-20
-10
0
10
20
30
Outdoor Air Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
100
80
60
40
20
0
01-01-
01-04-
01-07-
01-10-
31-12-
Date

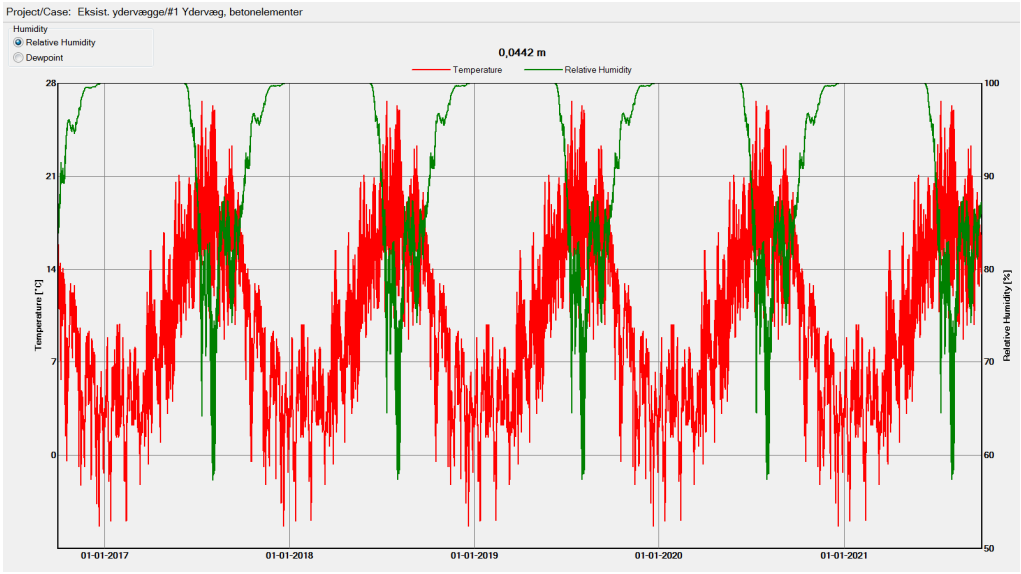
B.6.2 WUFI-simulering – Eksisterende forhold

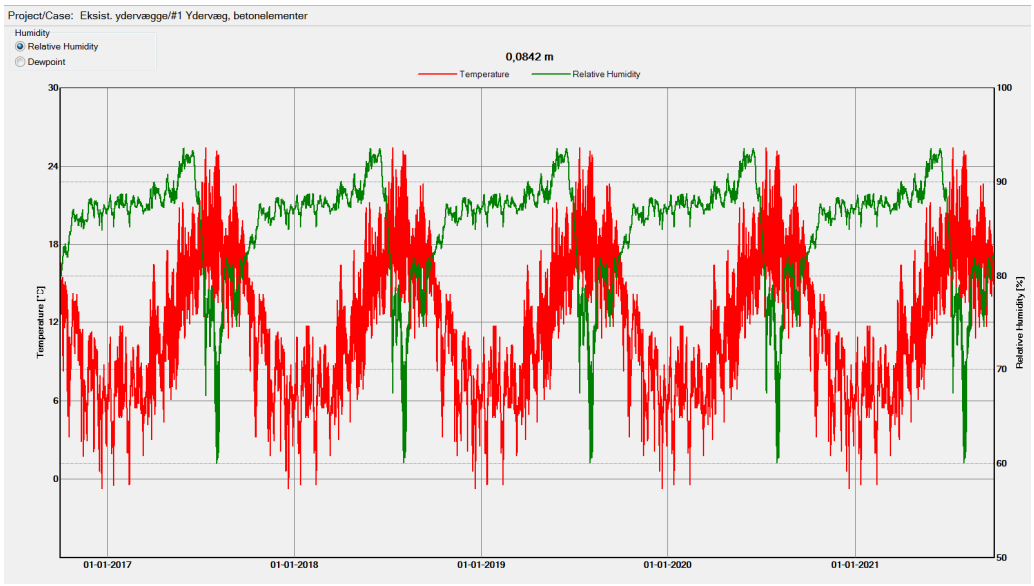
WUFI-simulering af eksist. facade (ud for betonelementer)

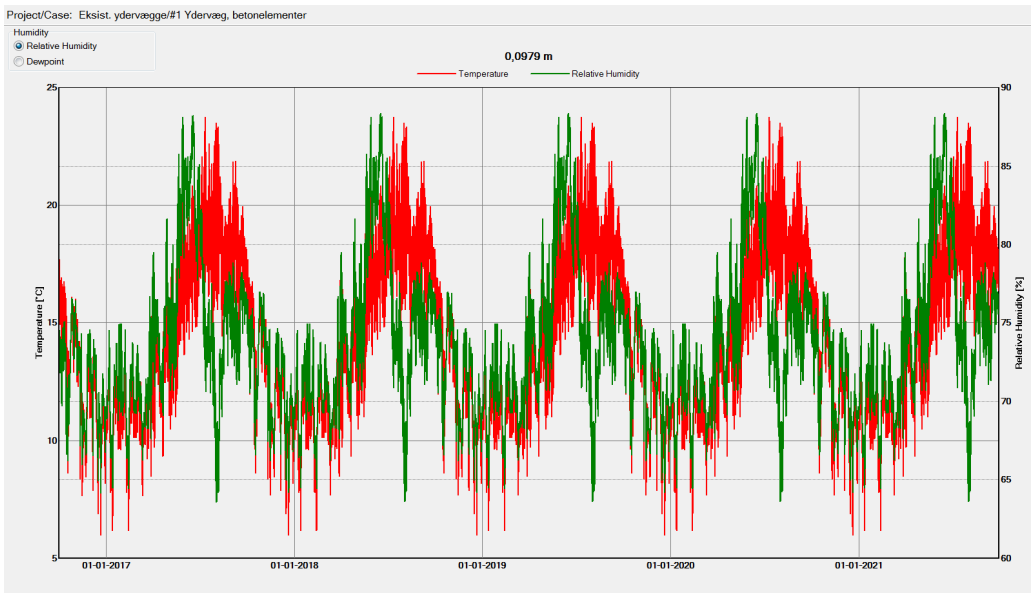
Kun markerede resultater er medtaget, da de er vurderet som mest relevante

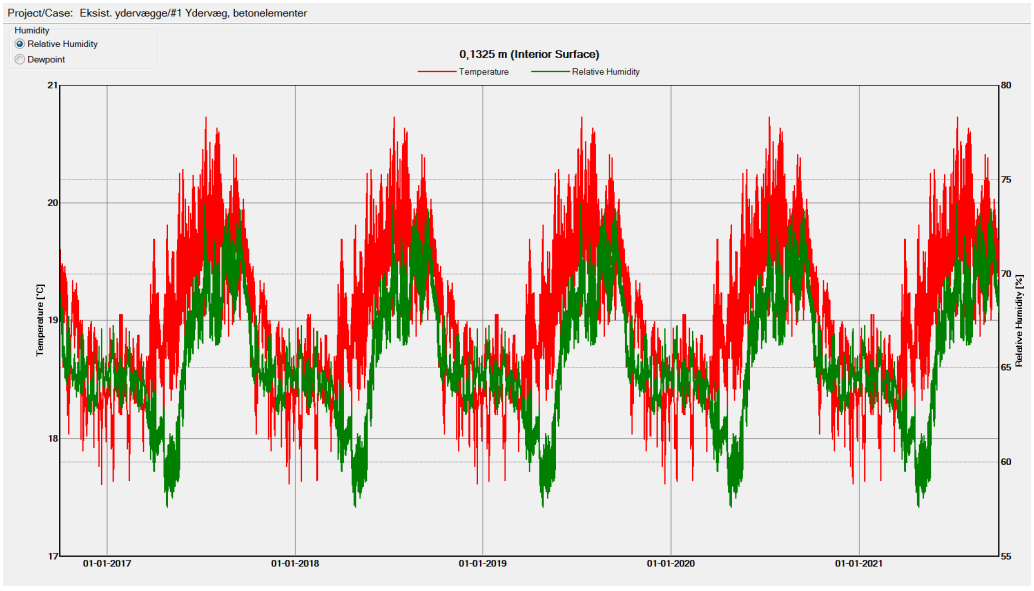


Resultater – udefra og ind



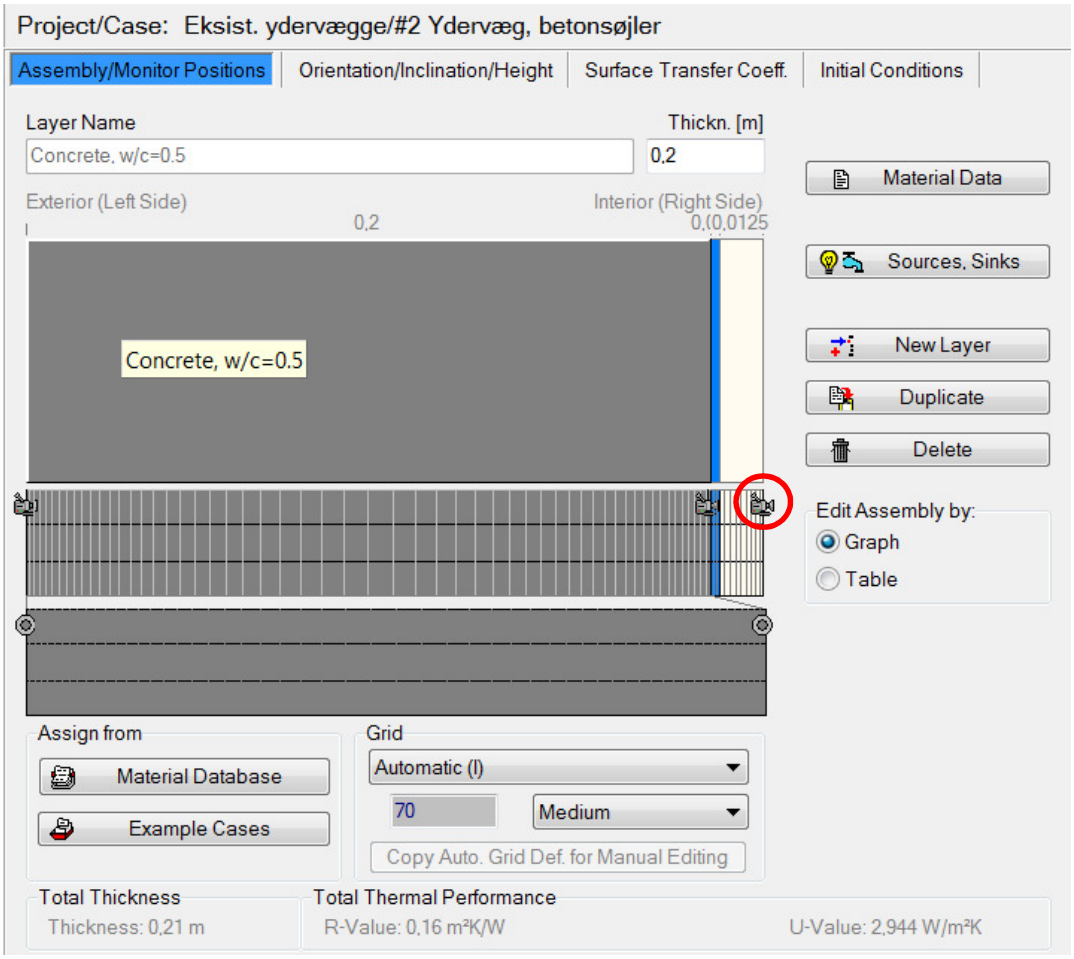

Project/Case: Eksist. ydervægge/#1 Ydervæg, betonelementer
Humidity
Relative Humidity
Dewpoint
0,0842 m
Temperature
Relative Humidity
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
01-01-2017
01-01-2018
01-01-2019
01-01-2020
01-01-2021


Project/Case: Eksist. ydervægge/#1 Ydervæg, betonelementer
Humidity
Relative Humidity
Dewpoint
0,0979 m
Temperature
Relative Humidity
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
01-01-2017
01-01-2018
01-01-2019
01-01-2020
01-01-2021

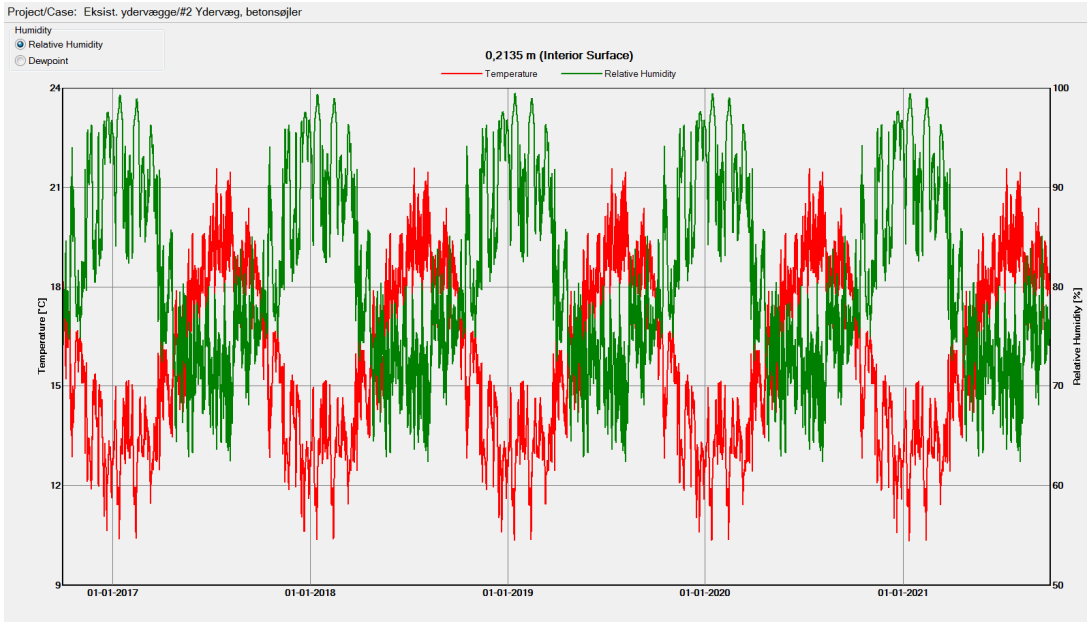

Project/Case: Eksist. ydervægge/#1 Ydervæg, betonelementer
Humidity
Relative Humidity
Dewpoint
0,1325 m (Interior Surface)
Temperature
Relative Humidity
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
01-01-2017
01-01-2018
01-01-2019
01-01-2020
01-01-2021

WUFI-simulering af eksist. facade (ud for betonsøjler)

Kun markerede resultater er medtaget, da de er vurderet som mest relevante

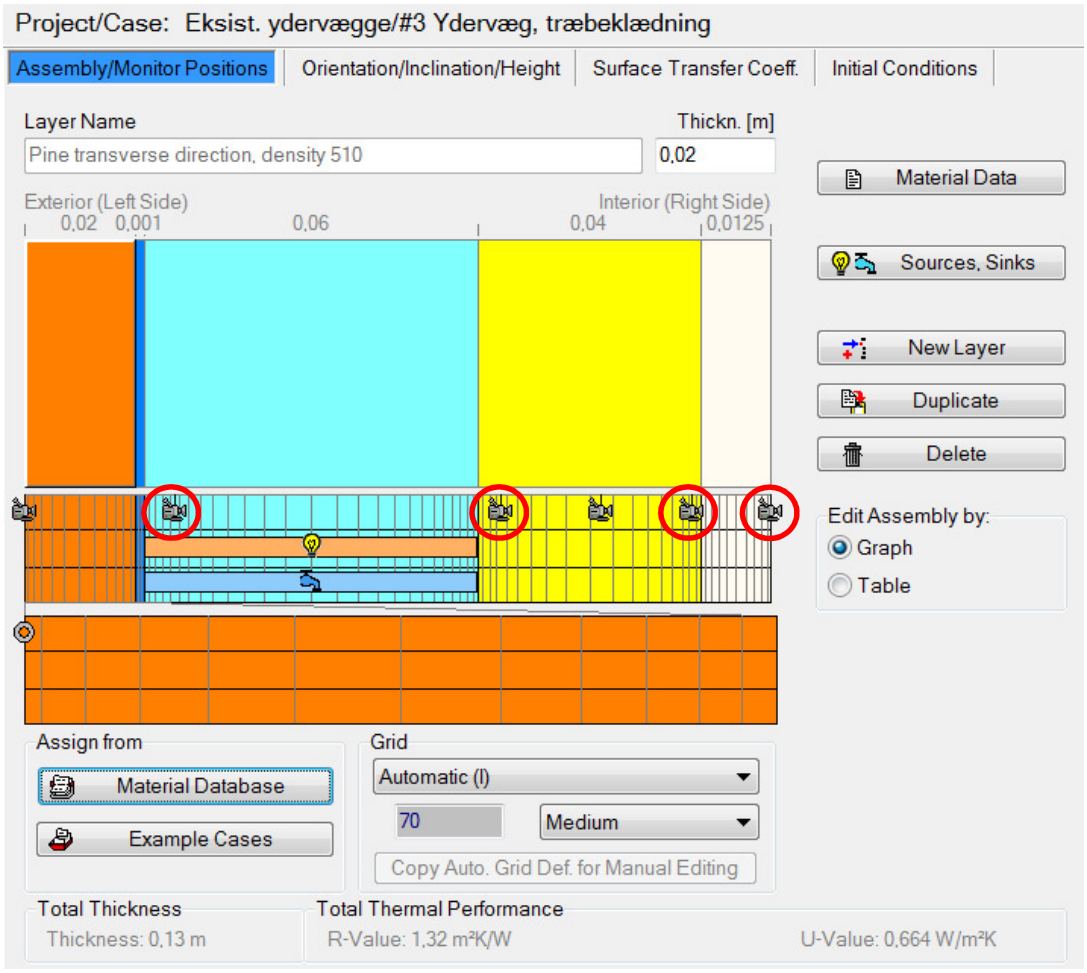


Resultater – udefra og ind

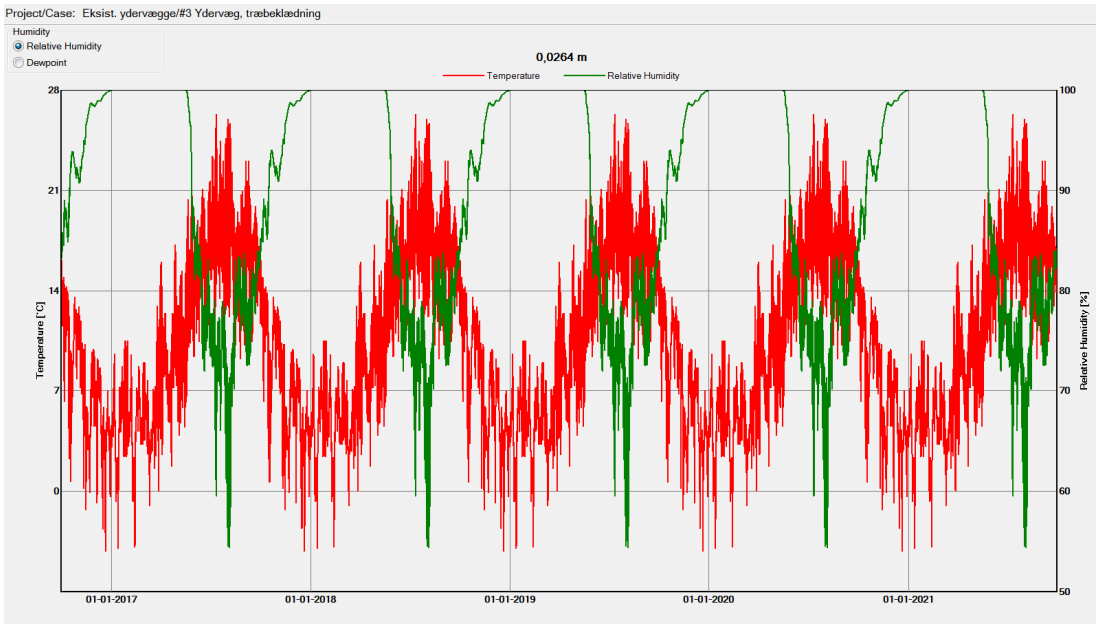


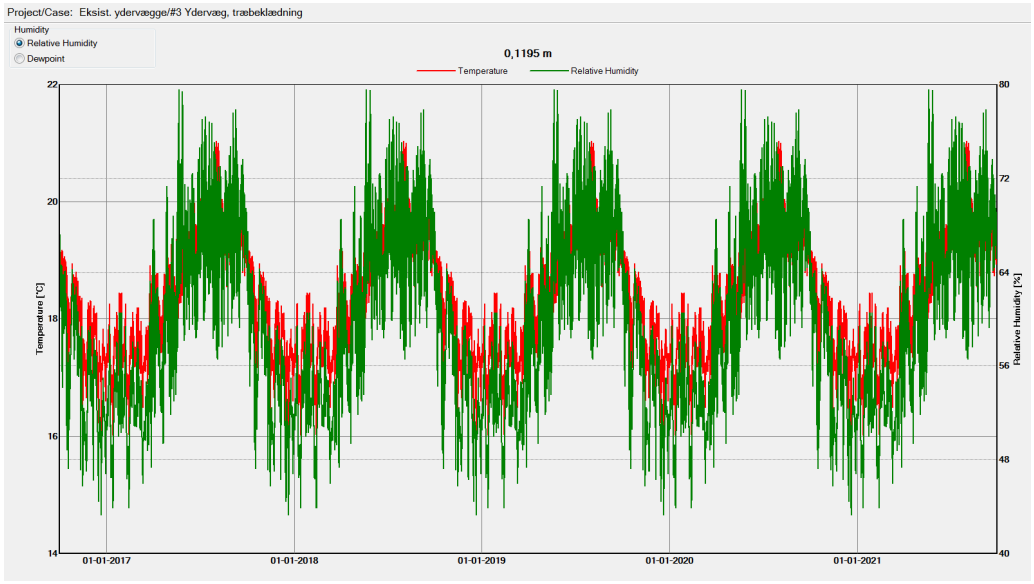
WUFI-simulering af eksist. facade (ud for træbeklædning)

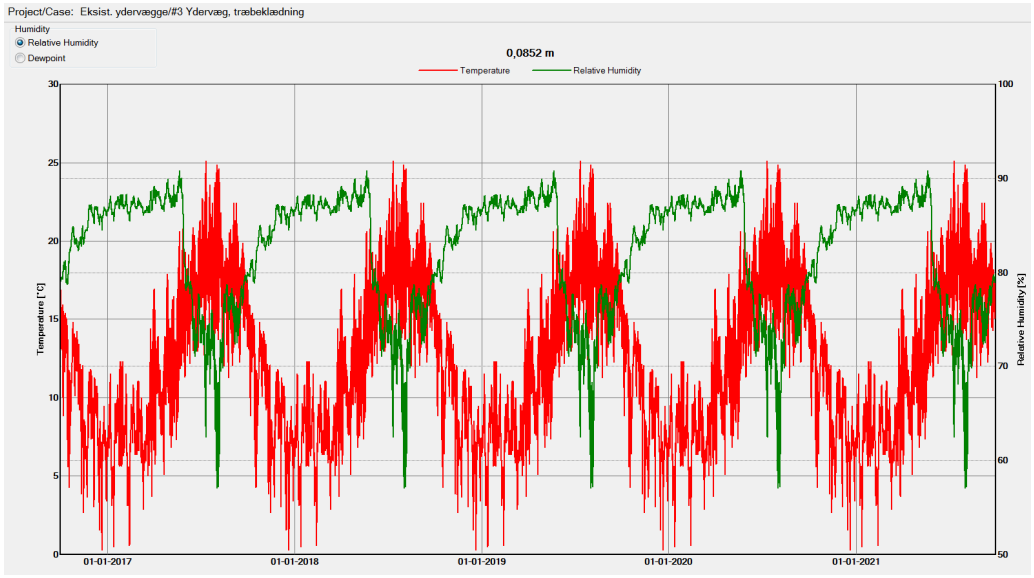
Kun markerede resultater er medtaget, da de er vurderet som mest relevante

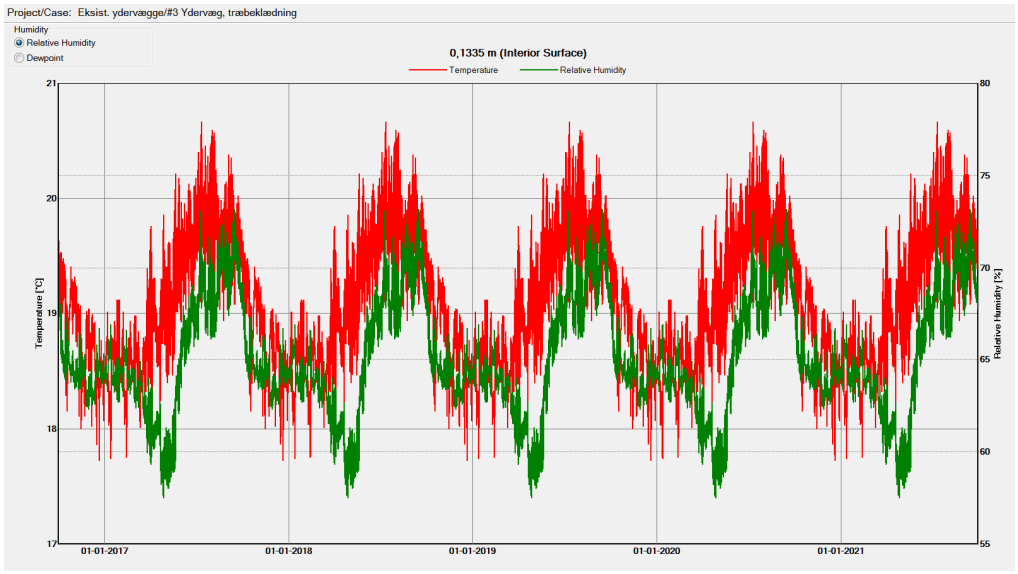


Resultater – udefra og ind




Project/Case: Eksist. ydervægge/#3 Ydervæg, træbeklædning
Humidity
Relative Humidity
Dewpoint
0,1195 m
Temperature
Relative Humidity
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
01-01-2017
01-01-2018
01-01-2019
01-01-2020
01-01-2021


Project/Case: Eksist. ydervægge/#3 Ydervæg, træbeklædning
Humidity
Relative Humidity
Dewpoint
0,0852 m
Temperature
Relative Humidity
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
01-01-2017
01-01-2018
01-01-2019
01-01-2020
01-01-2021

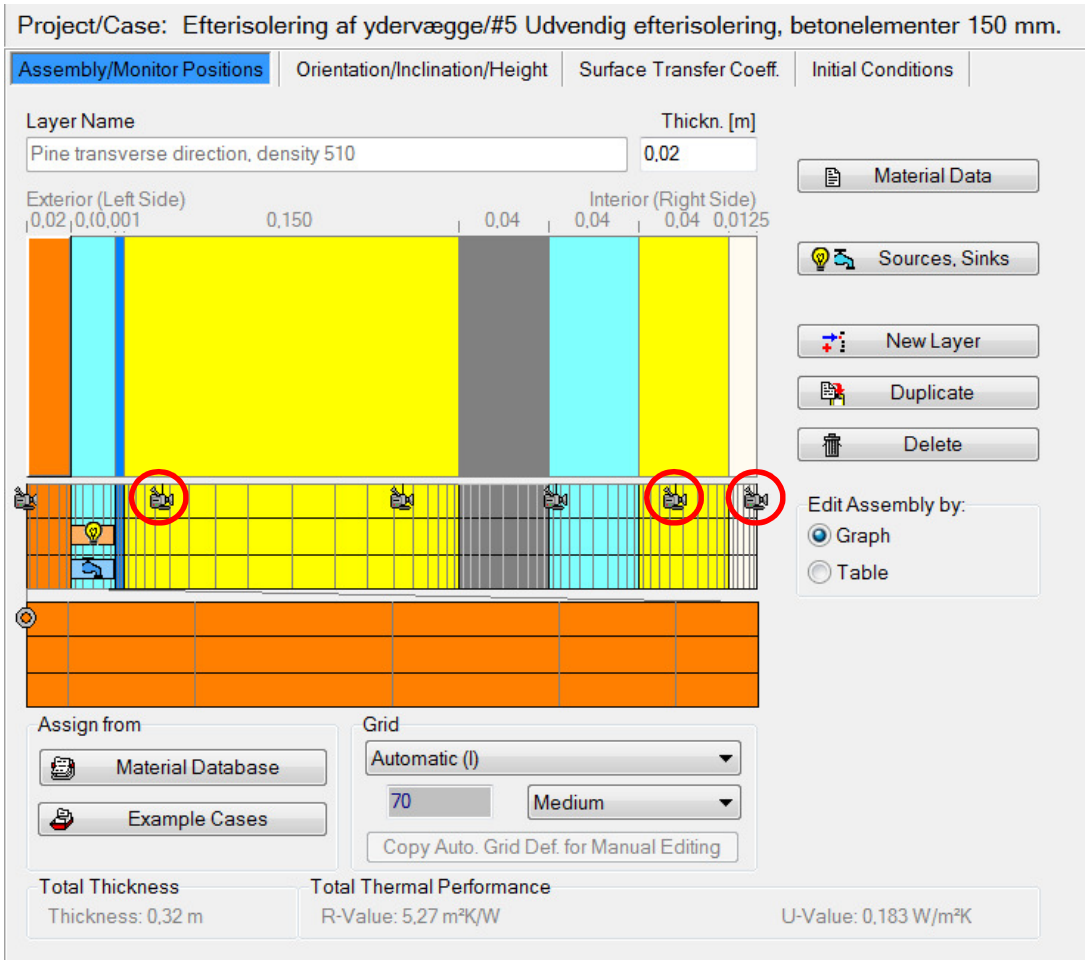

Project/Case: Eksist. ydervægge/#3 Ydervæg, træbeklædning
Humidity
Relative Humidity
Dewpoint
0,1335 m (Interior Surface)
Temperature
Relative Humidity
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
01-01-2017
01-01-2018
01-01-2019
01-01-2020
01-01-2021

B.6.3 WUFI-simulering – Nye forhold

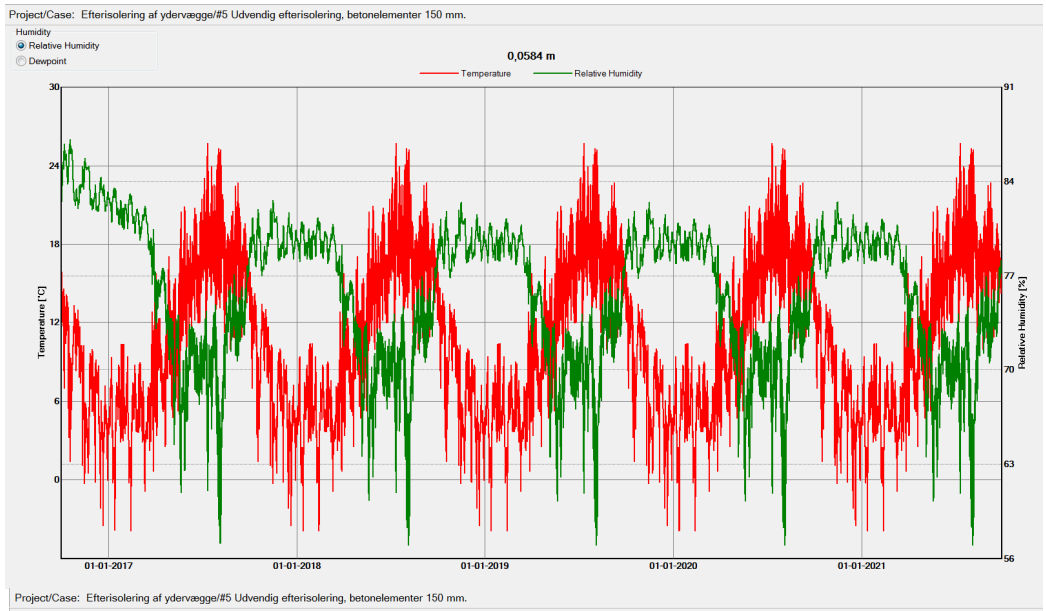
B.6.3.1 Udvendig efterisolering

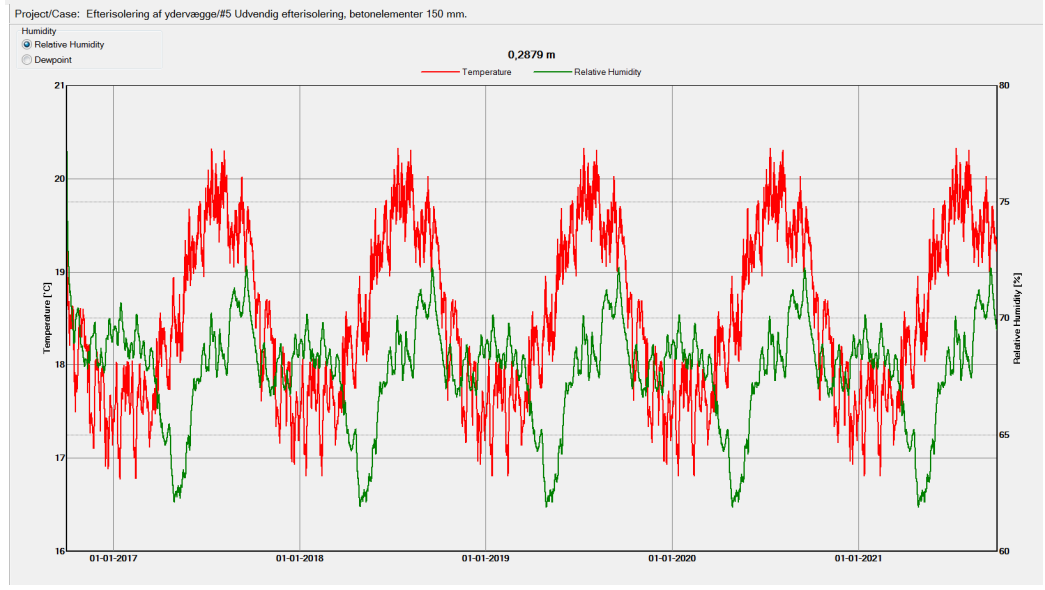
ID 1.2 WUFI-simulering af udvendigt efterisoleret facade (ud for betonelem. 150 mm)

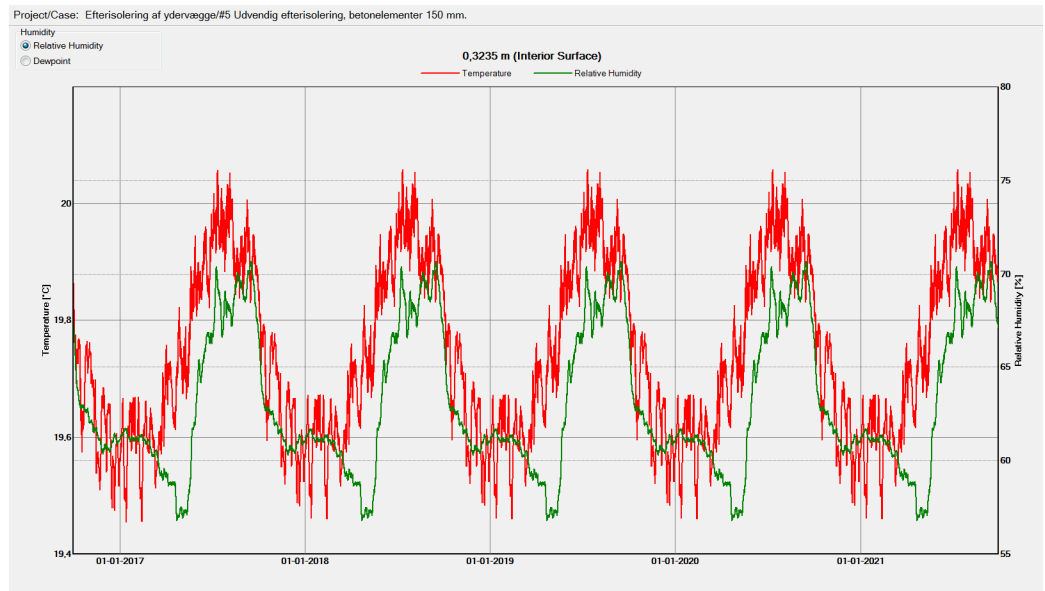
Kun markerede resultater er medtaget, da de er vurderet som mest relevante



Resultater – udefra og ind



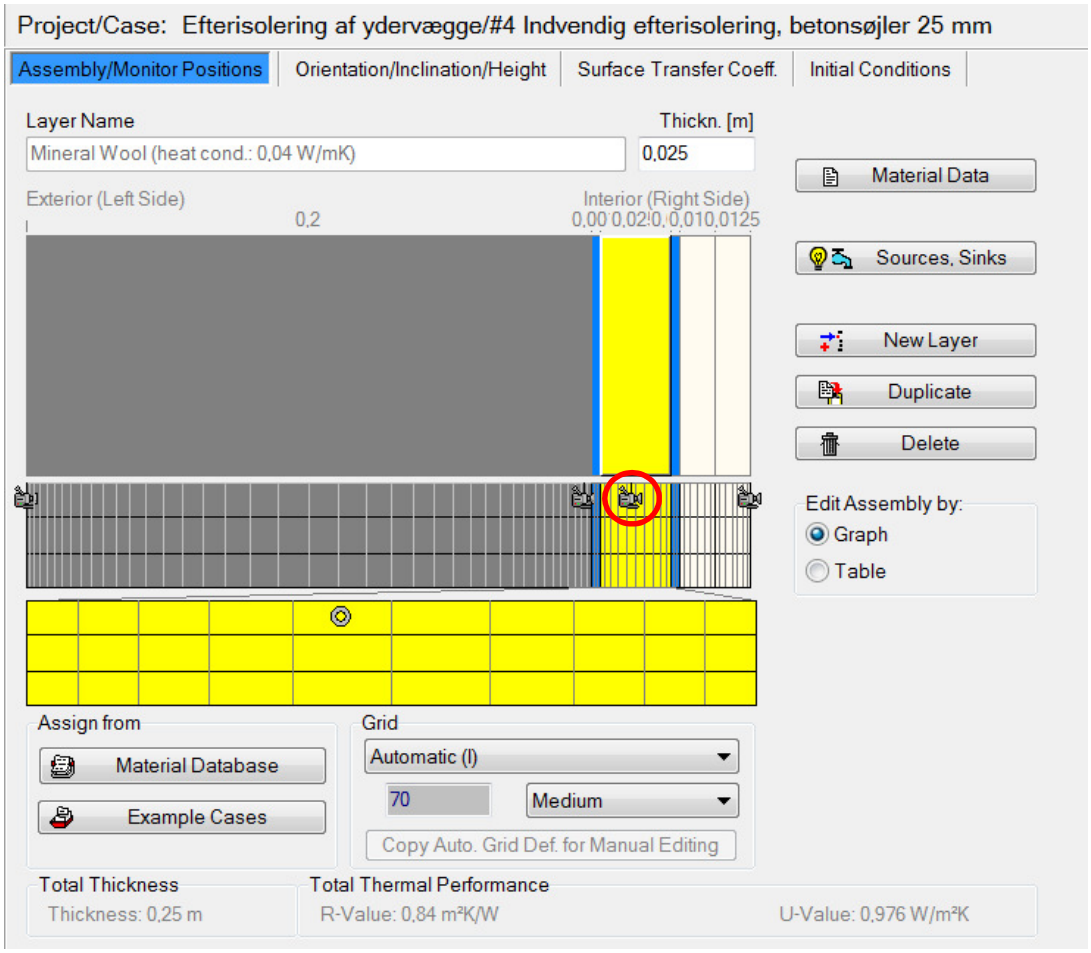




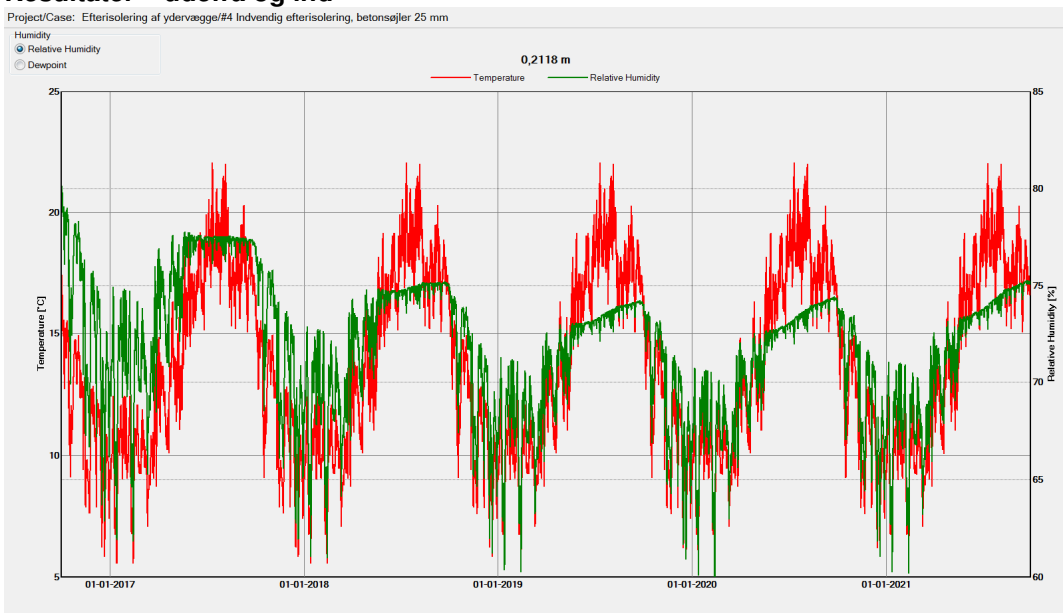
B.6.3.2 Indvendig efterisolering

ID 2.2a WUFI-simulering af indvendigt efterisoleret facade (ud for betonsøjle 25 mm)

Kun markerede resultater er medtaget, da de er vurderet som mest relevante

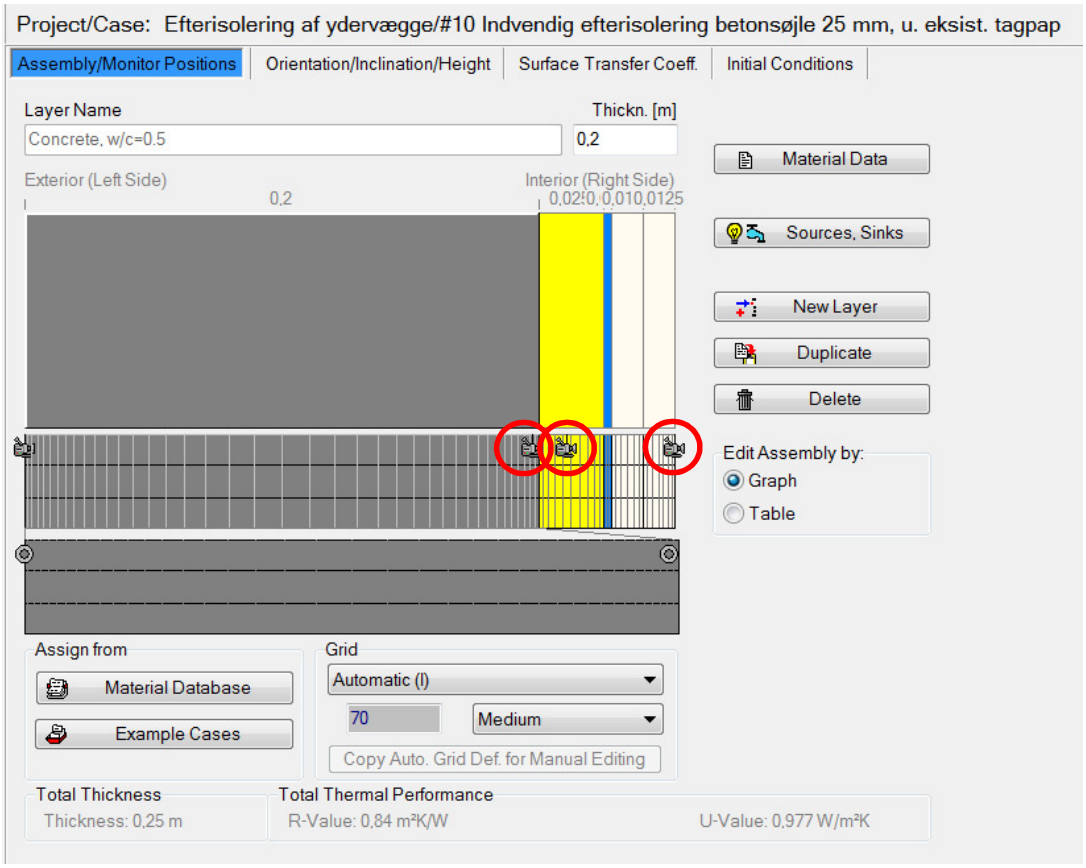


Resultater – udefra og ind

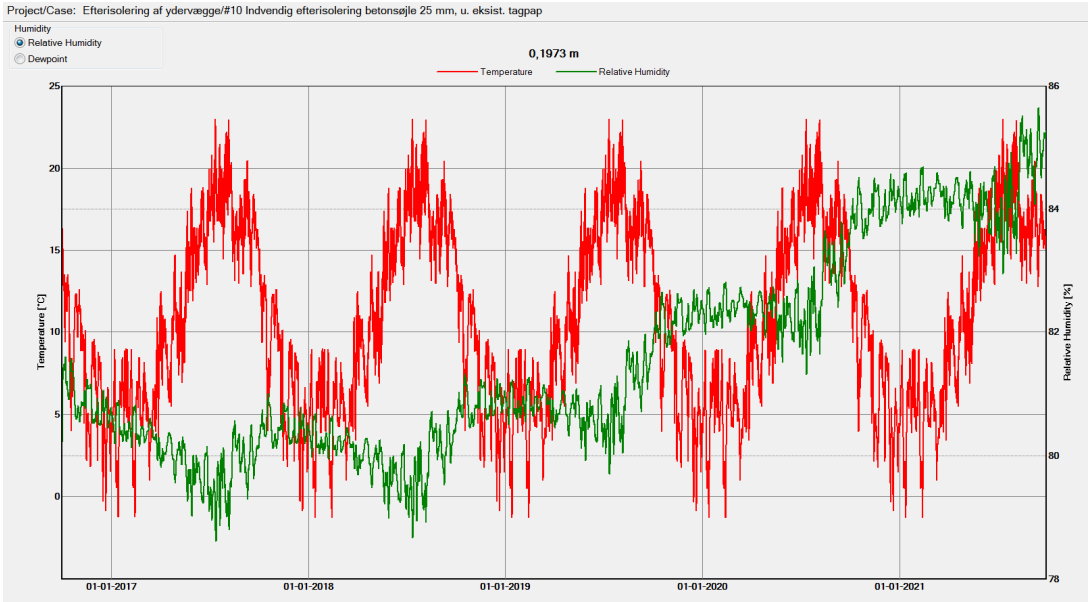


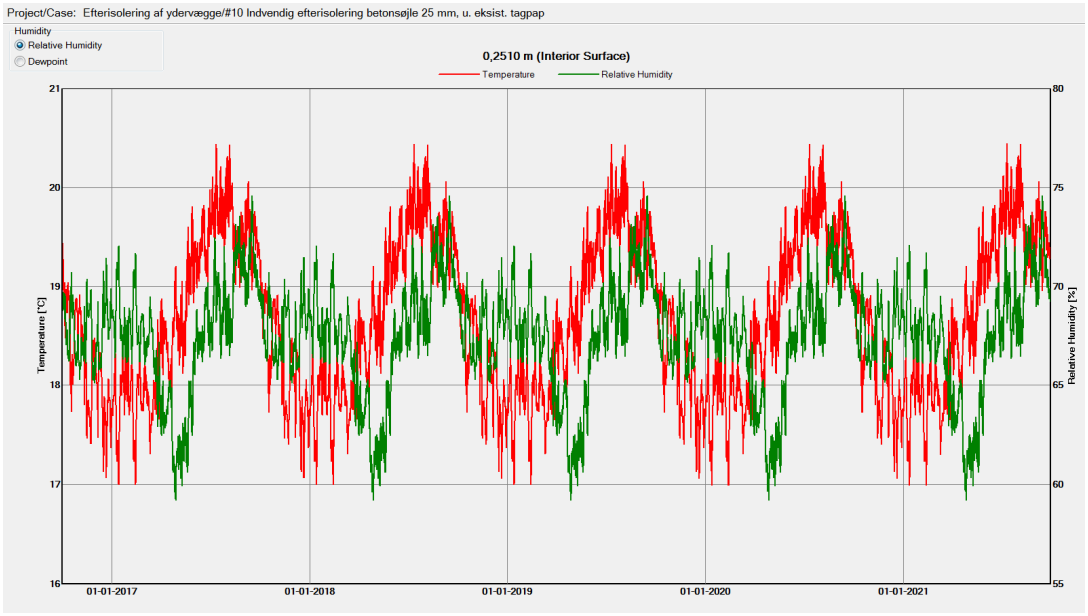
ID 2.2b WUFI-simulering af indvendigt efterisoleret facade (ud for betonsøjle 25 mm), eksist. tagpap ved søjle fjernet

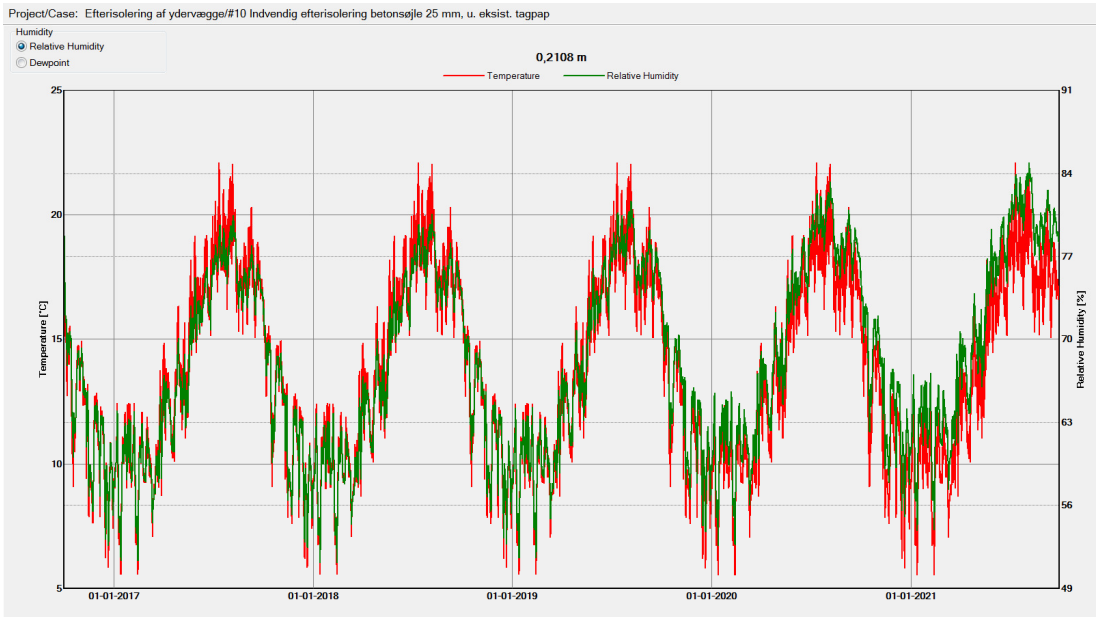
Kun markerede resultater er medtaget, da de er vurderet som mest relevante



Resultater – udefra og ind

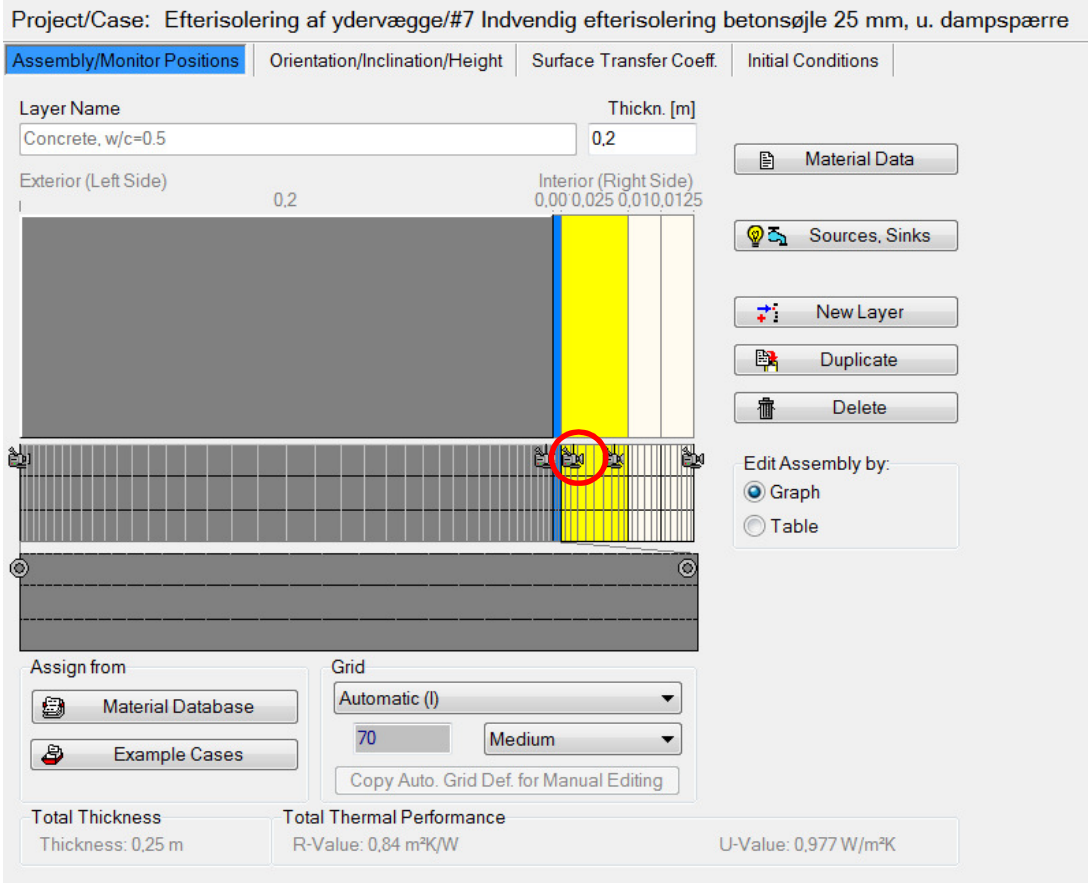



Project/Case: Efterisolering af ydervægge/#10 Indvendig efterisolering betonsøjle 25 mm, u. eksist. tagpap
Humidity
Relative Humidity
Dewpoint
0,2510 m (Interior Surface)
Temperature
Relative Humidity
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
21
20
19
18
17
16
80
75
70
65
60
55
01-01-2017
01-01-2018
01-01-2019
01-01-2020
01-01-2021

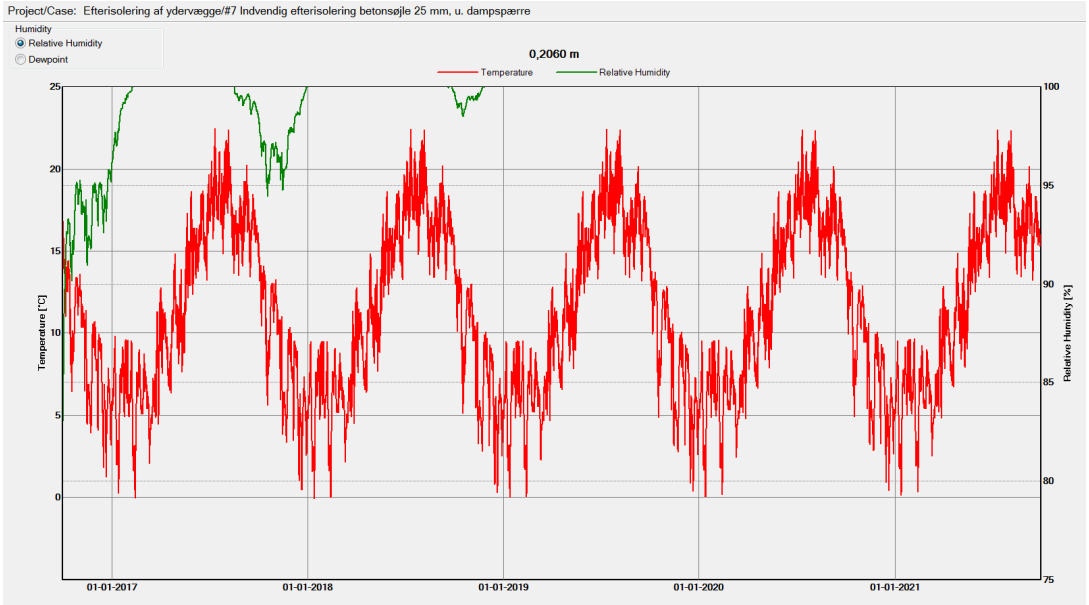

Project/Case: Efterisolering af ydervægge/#10 Indvendig efterisolering betonsøjle 25 mm, u. eksist. tagpap
Humidity
Relative Humidity
Dewpoint
0,2108 m
Temperature
Relative Humidity
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
25
20
15
10
5
91
84
77
70
63
56
49
01-01-2017
01-01-2018
01-01-2019
01-01-2020
01-01-2021

ID 2.2c WUFI-simulering af indvendigt efterisoleret facade (ud for betonsøjle 25 mm, uden dampspærre)

Kun markerede resultater er medtaget, da de er vurderet som mest relevante



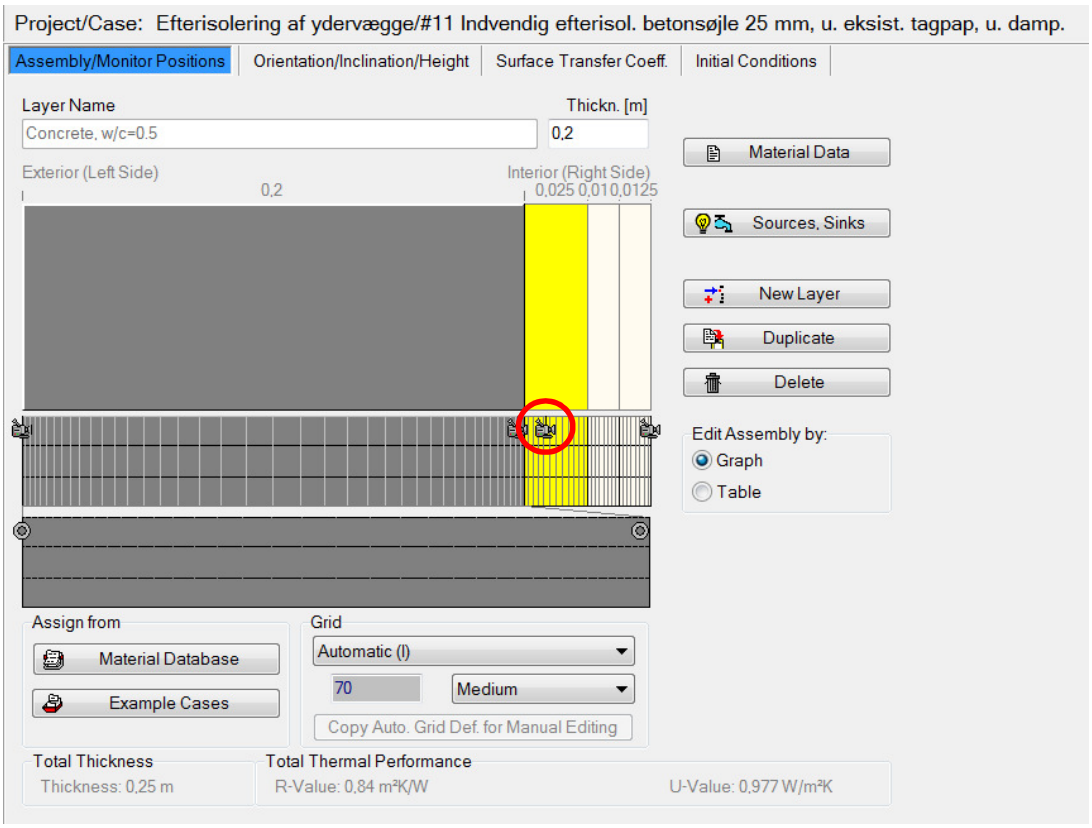
Resultater – udefra og ind



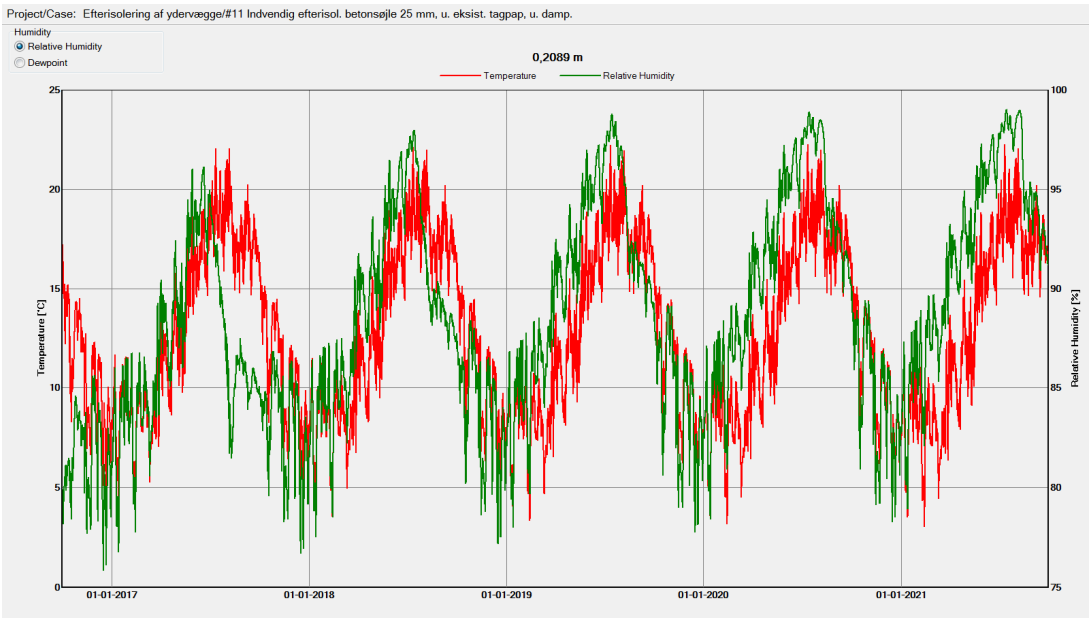
ID 2.2d WUFI-simulering af indvendigt efterisoleret facade

(ud for betonsøjle 25 mm, uden dampspærre) med eksist. tagpap fjernet

Kun markerede resultater er medtaget, da de er vurderet som mest relevante

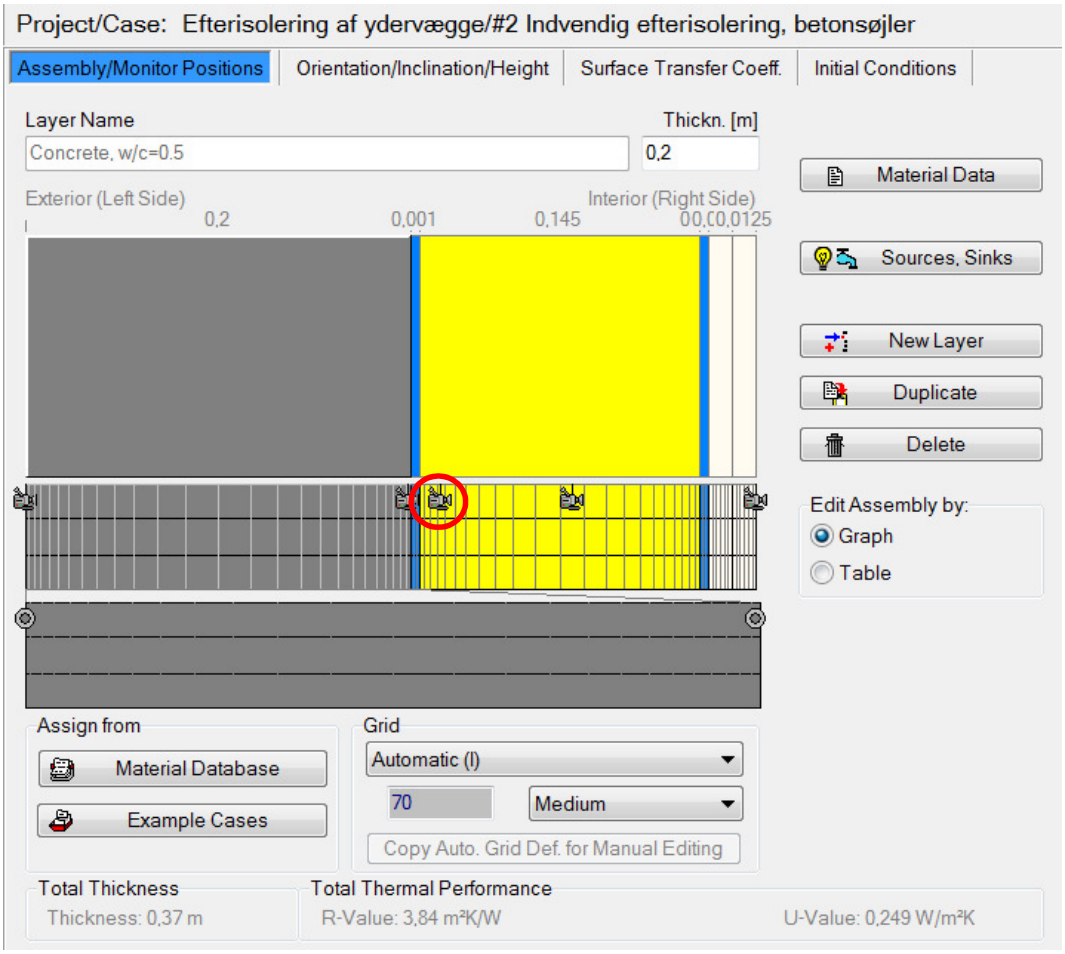


Resultater – udefra og ind

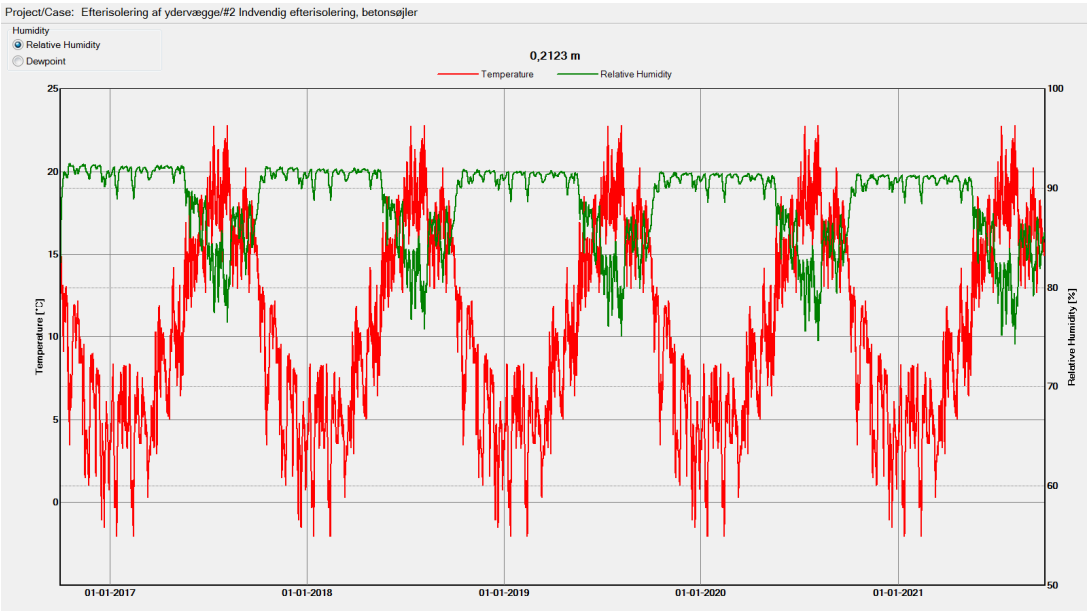


ID 2.5a WUFI-simulering af indvendigt efterisoleret facade (ud for betonsøjle 145 mm)

Kun markerede resultater er medtaget, da de er vurderet som mest relevante

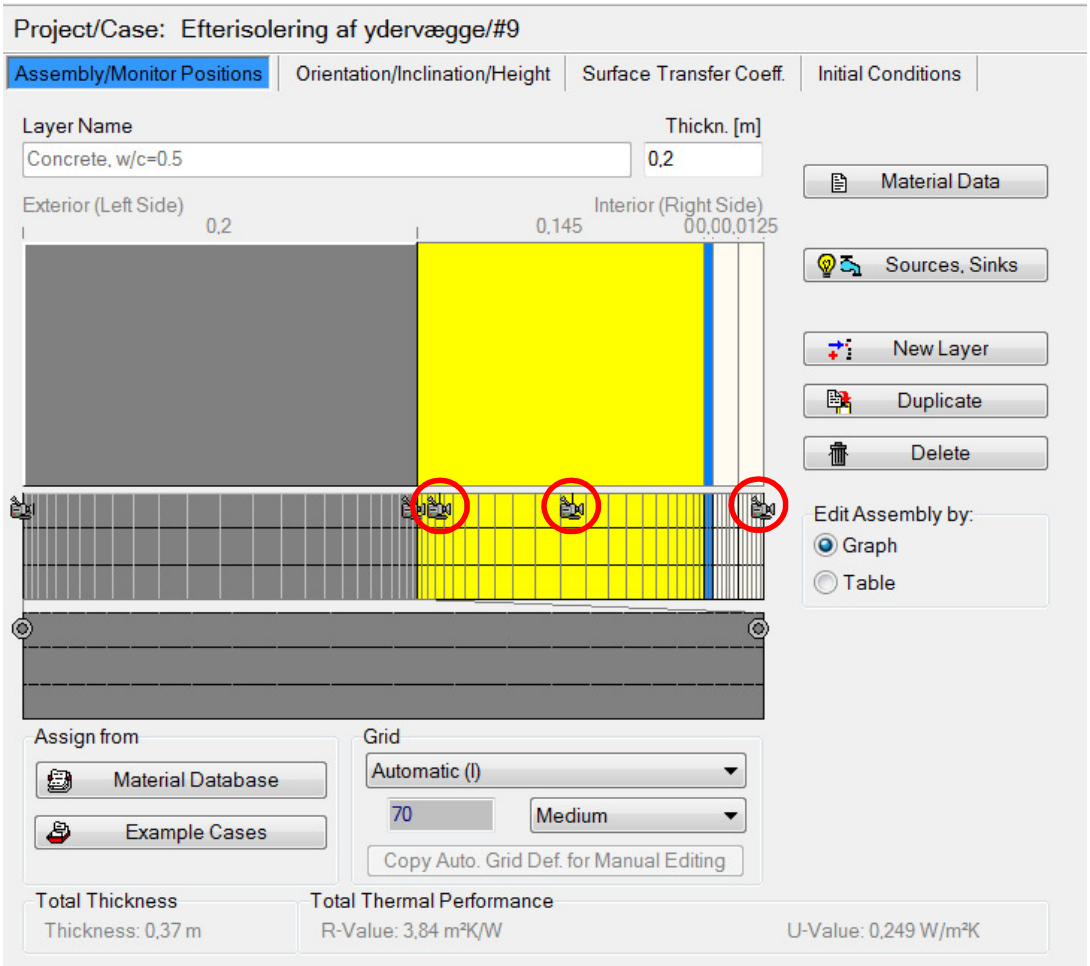


Resultater – udefra og ind

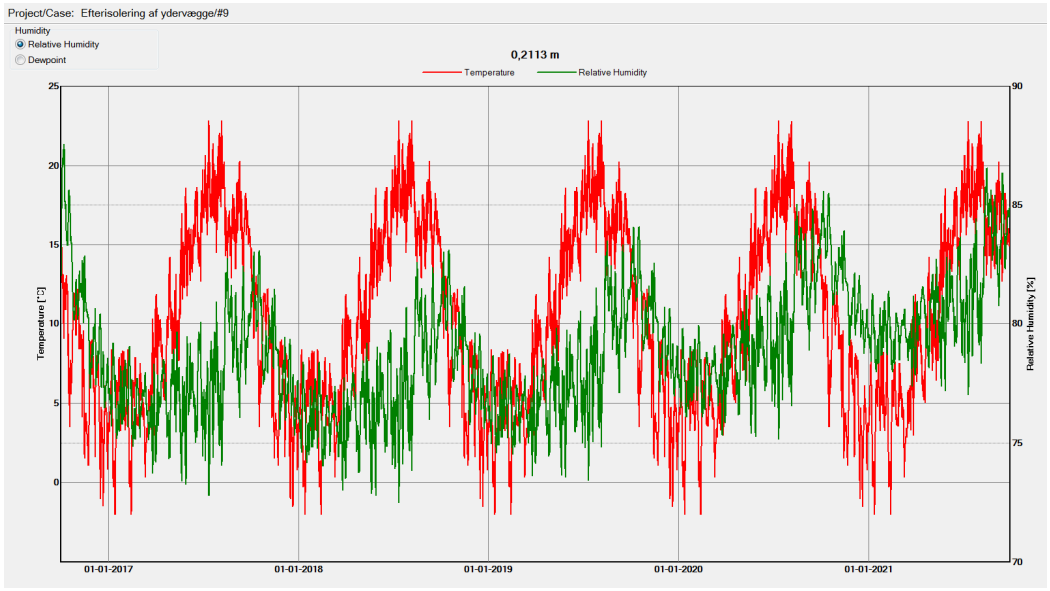


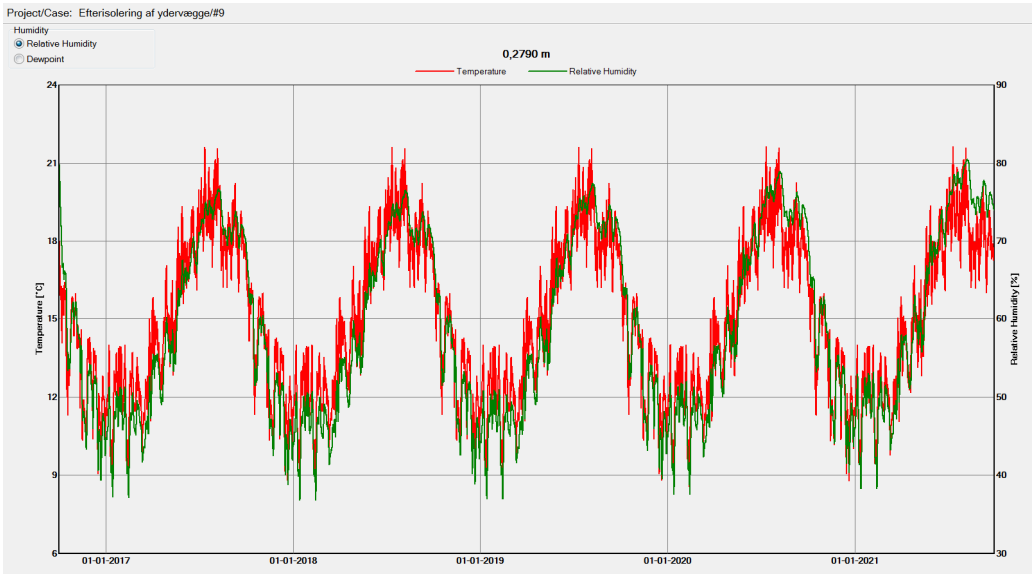
ID 2.5b WUFI-simulering af indvendigt efterisoleret facade (ud for betonsøjle 145 mm), eksist. tagpap ved søjle fjernet

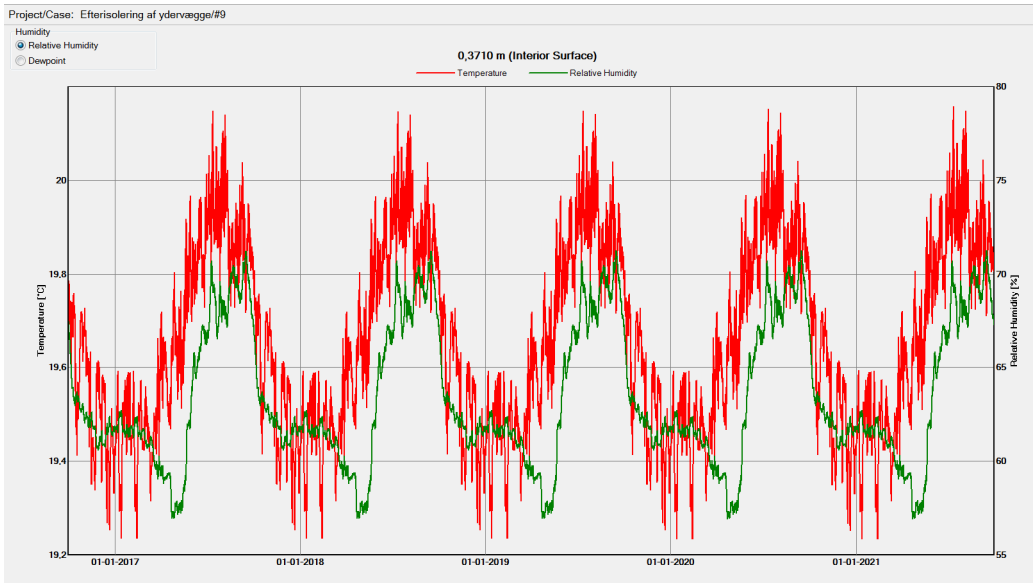
Kun markerede resultater er medtaget, da de er vurderet som mest relevante



Resultater – udefra og ind

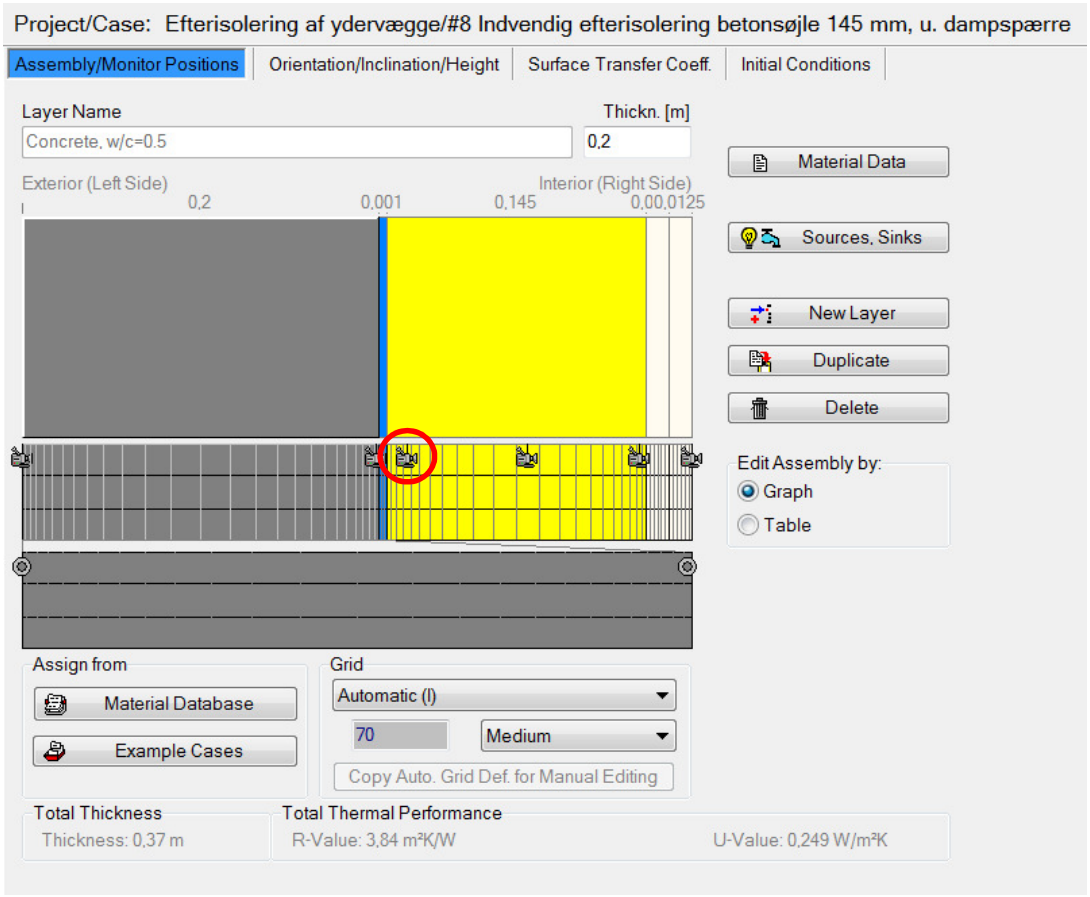




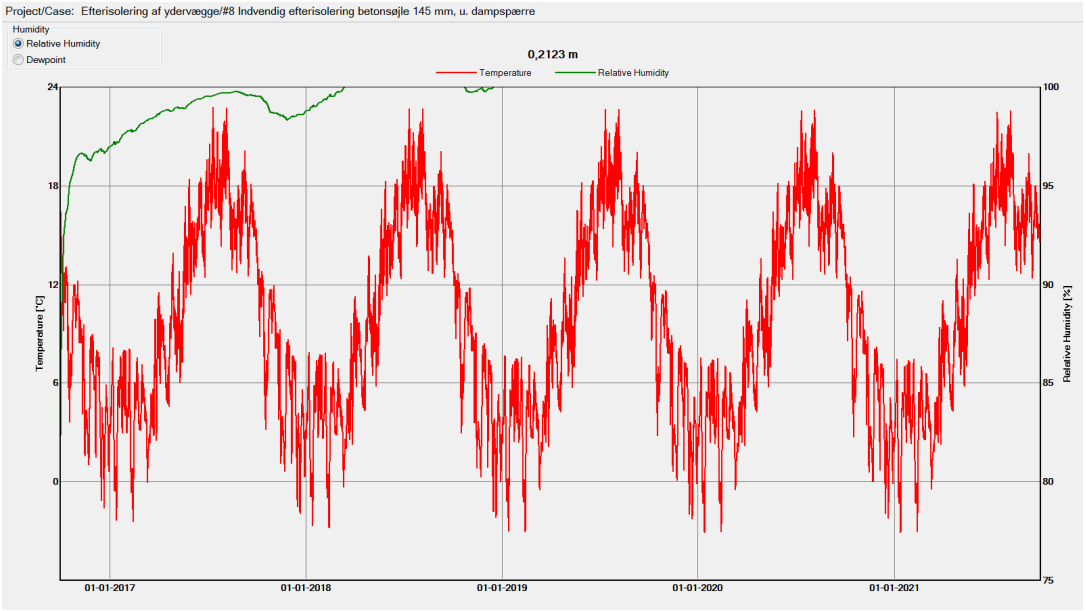


ID 2.5c WUFI-simulering af indvendigt efterisoleret facade (ud for betonsøjle 145 mm, uden dampspærre)

Kun markerede resultater er medtaget, da de er vurderet som mest relevante



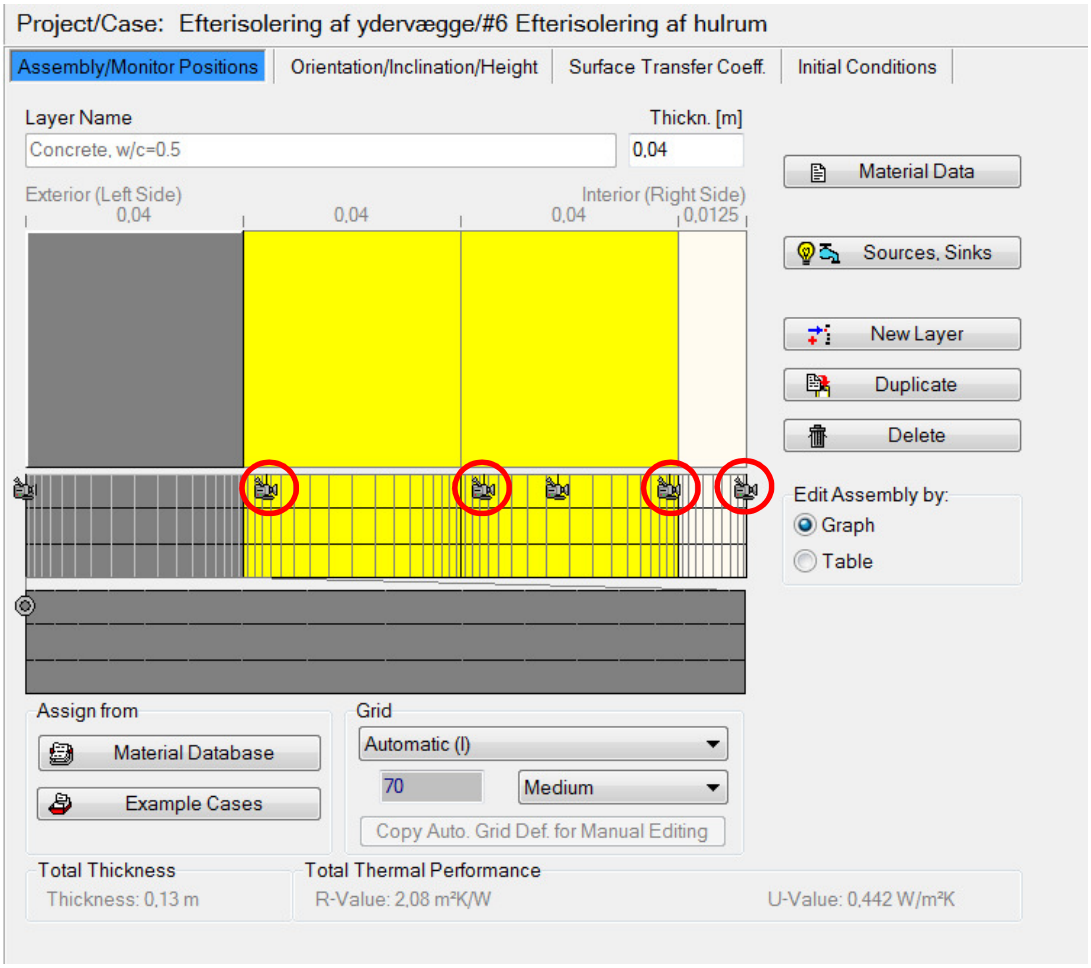
Resultater – Udefra og ind



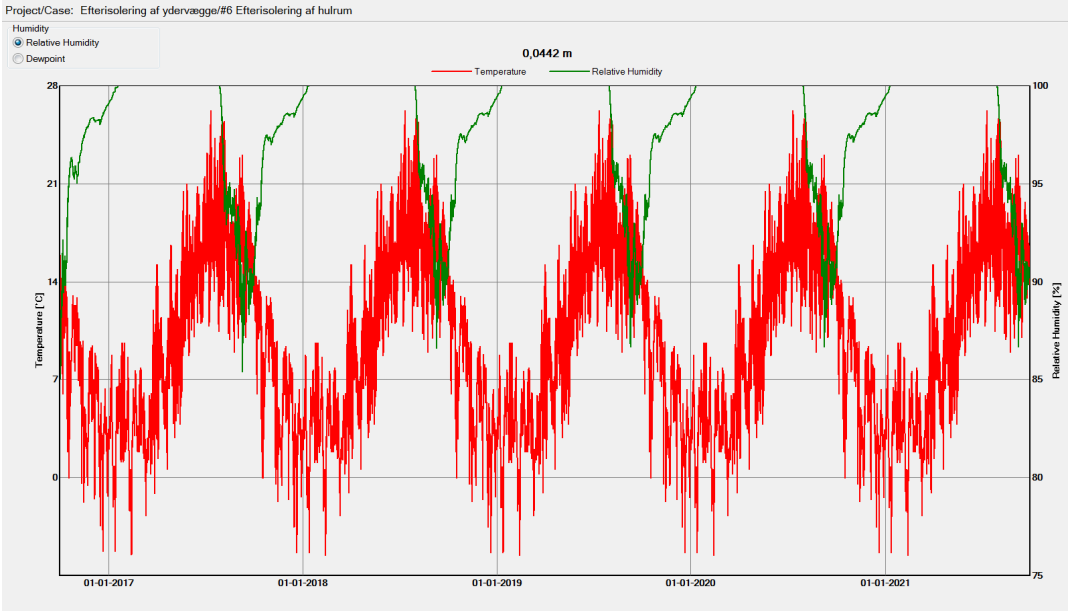
B.6.3.3 Hulrumsisolering

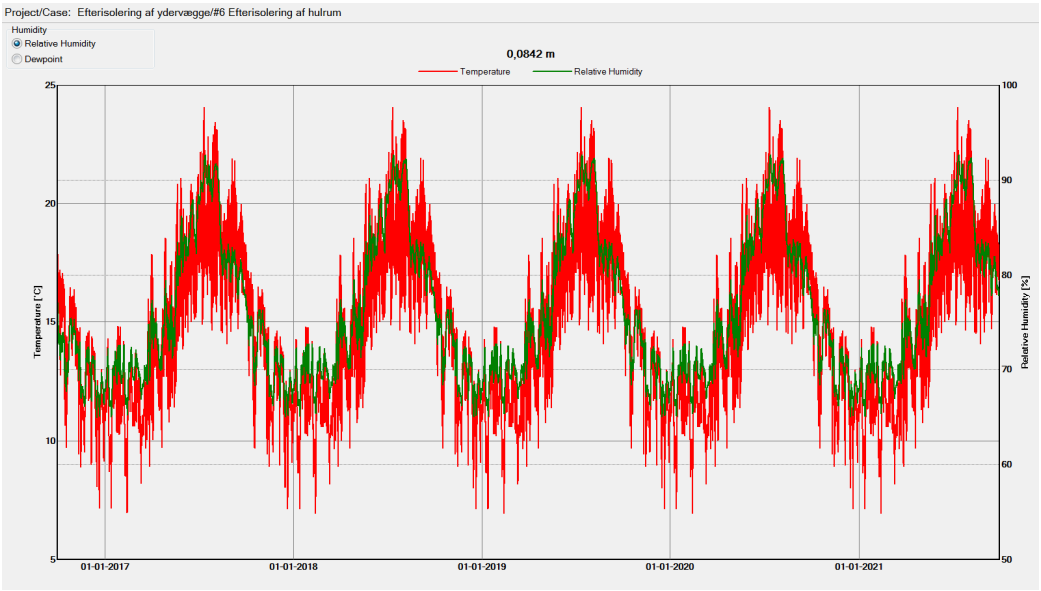
ID 3.1 WUFI-simulering af efterisoleret facade, hulrum (40 mm)

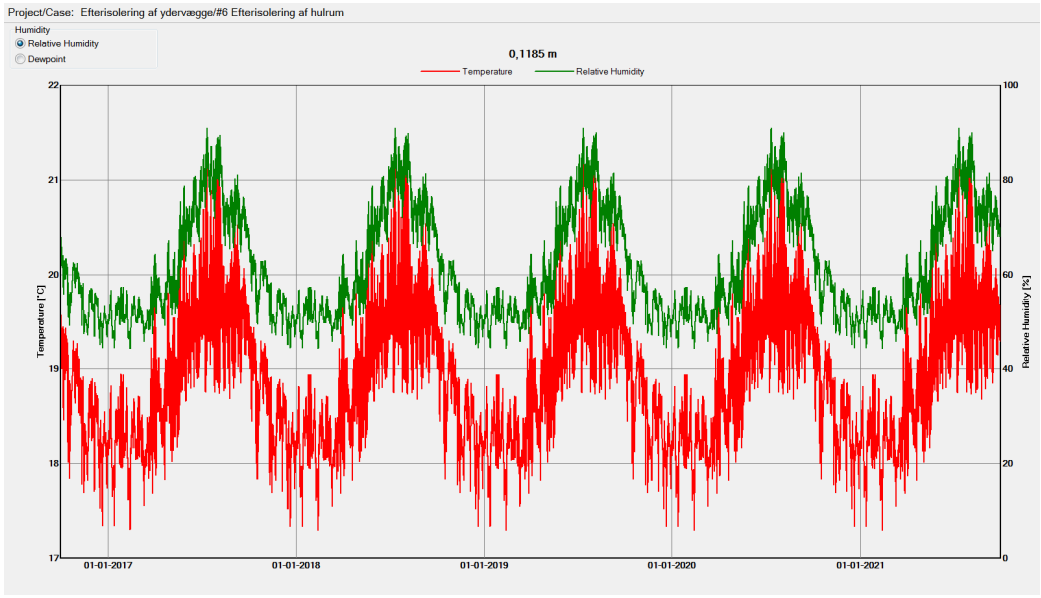
Kun markerede resultater er medtaget, da de er vurderet som mest relevante

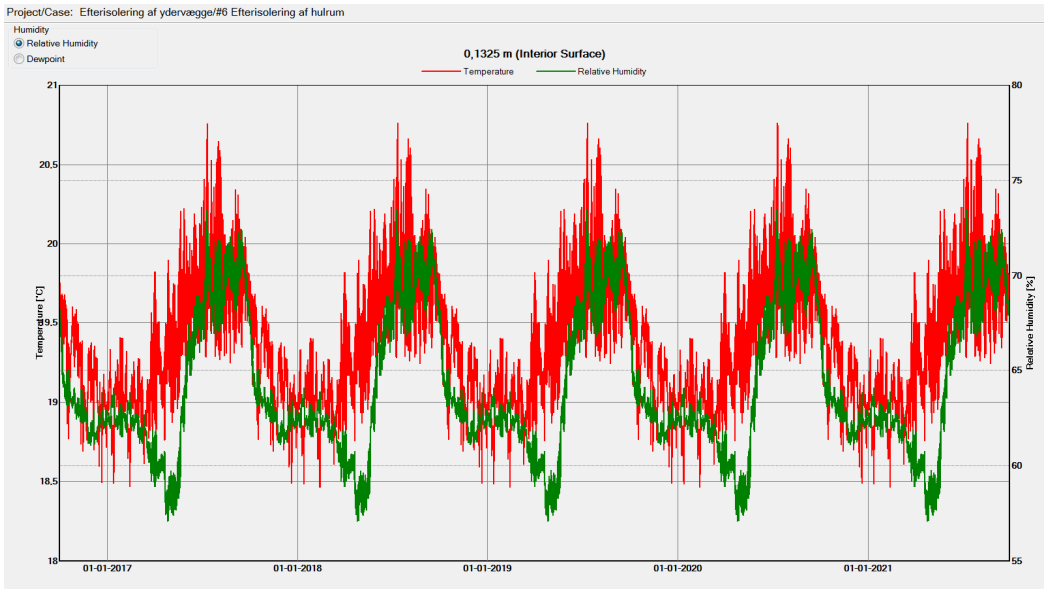


Resultater – Udefra og ind



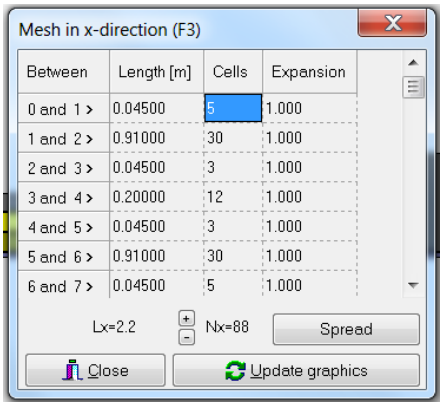

Project/Case: Efterisolering af ydervægge/#6 Efterisolering af hulrum
Humidity
Relative Humidity
Dewpoint
0,0842 m
Temperature
Relative Humidity
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
01-01-2017
01-01-2018
01-01-2019
01-01-2020
01-01-2021

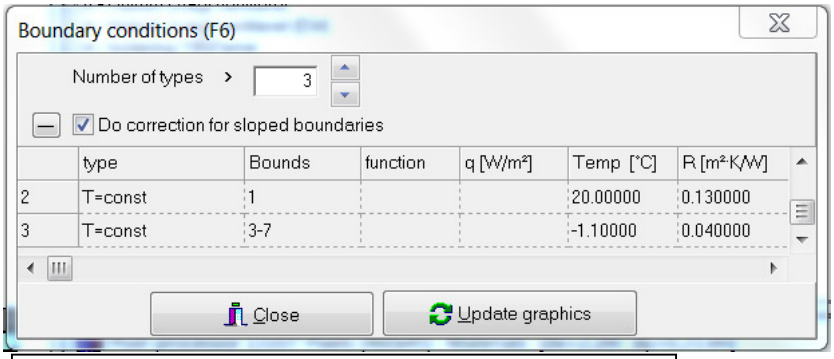

Project/Case: Efterisolering af ydervægge/#6 Efterisolering af hulrum
Humidity
Relative Humidity
Dewpoint
0,1185 m
Temperature
Relative Humidity
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
01-01-2017
01-01-2018
01-01-2019
01-01-2020
01-01-2021


Project/Case: Efterisolering af ydervægge/#6 Efterisolering af hulrum
Humidity
Relative Humidity
Dewpoint
0,1325 m (Interior Surface)
Temperature
Relative Humidity
Temperature [°C]
Relative Humidity [%]
01-01-2017
01-01-2018
01-01-2019
01-01-2020
01-01-2021

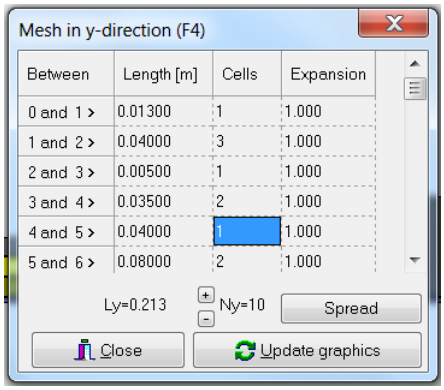
B.7 Simulering i HEAT2

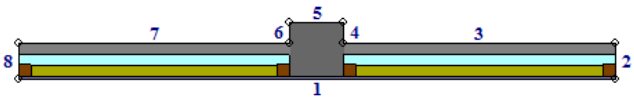
B.7.1 HEAT2-simulering – Eksisterende forhold

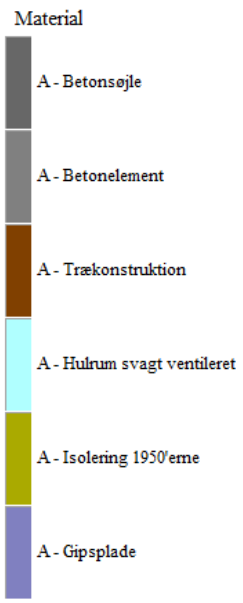


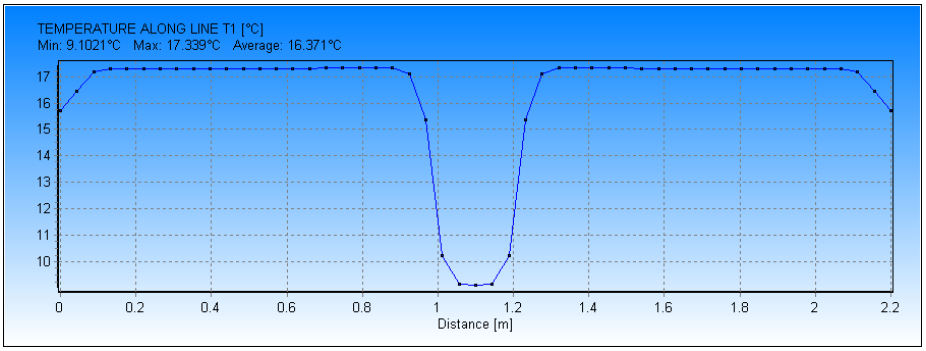


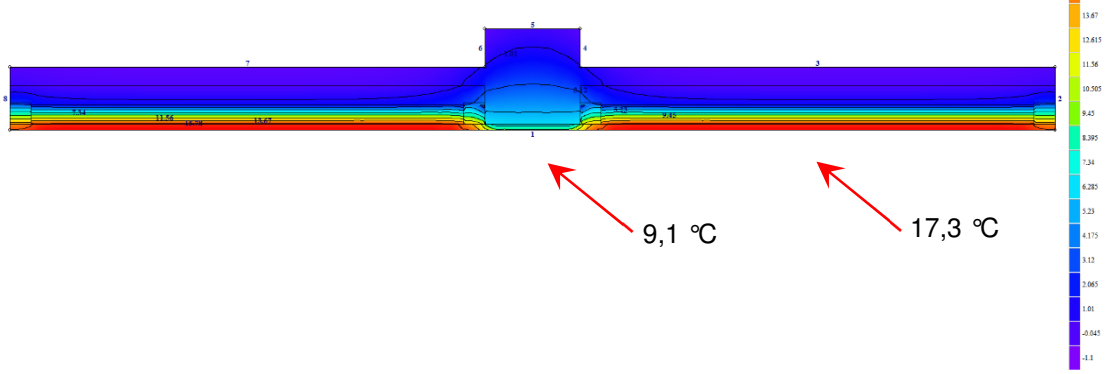
Generel indstilling for randbetingelser (februar, TRY)









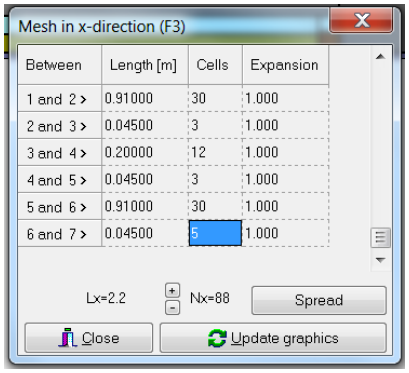


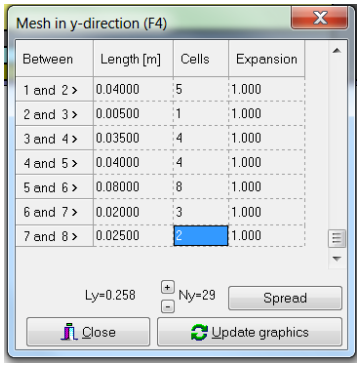
B.7.2 HEAT2-simulering – Nye forhold

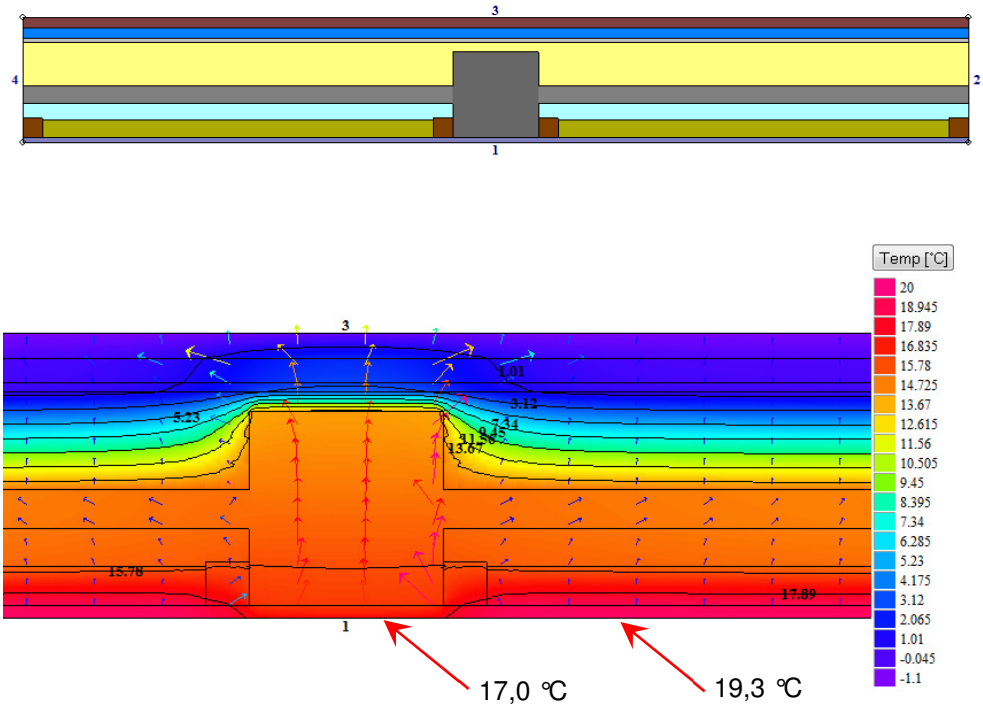
B.7.2.1 Udvendig efterisolering

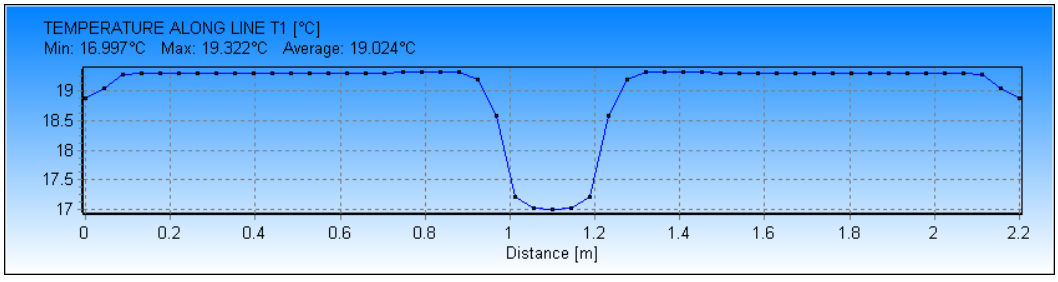
ID 1.1 - Udvendig efterisolering

Løsning: 100/20 mm.





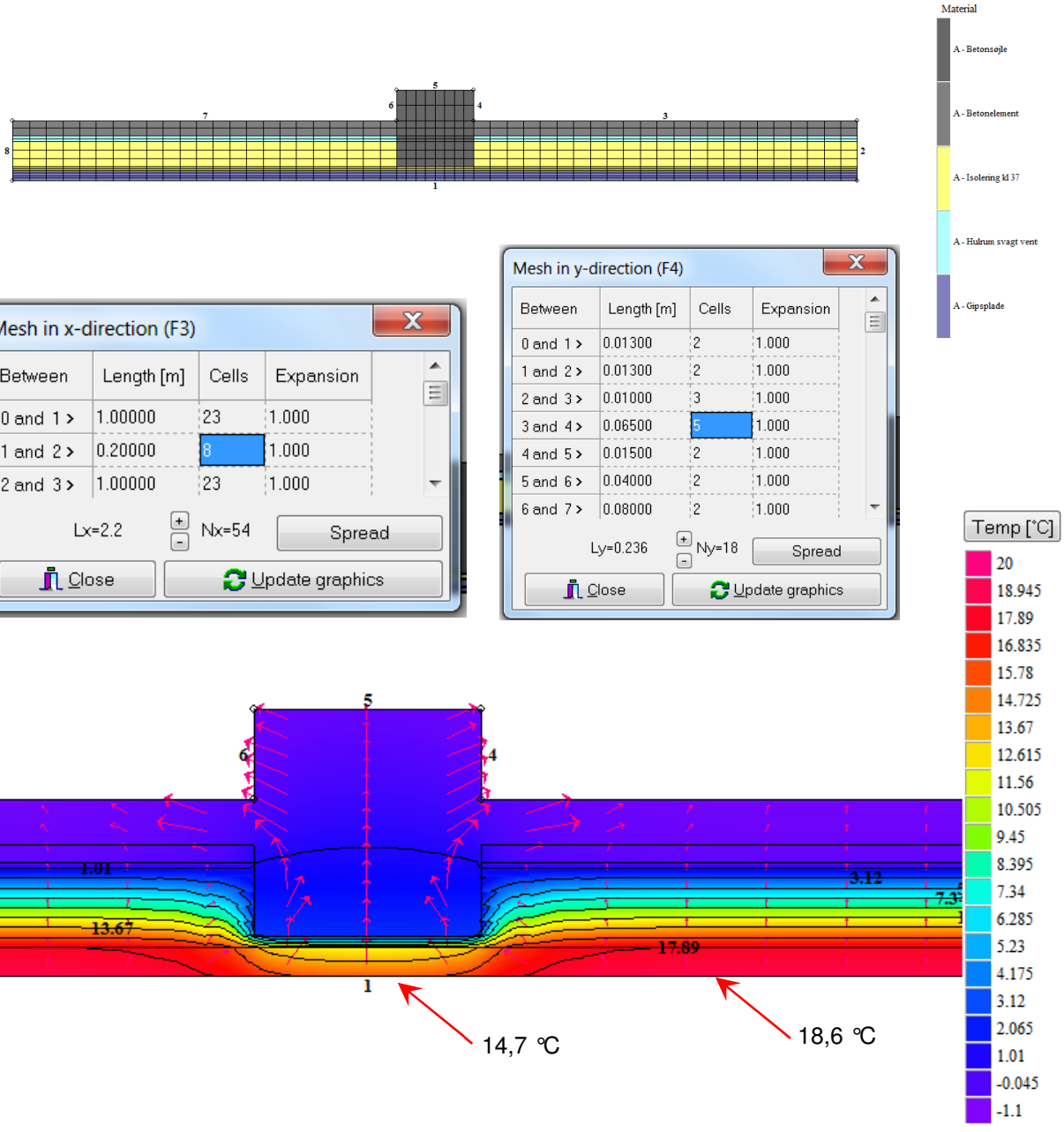




B.7.2.2 Indvendig efterisolering

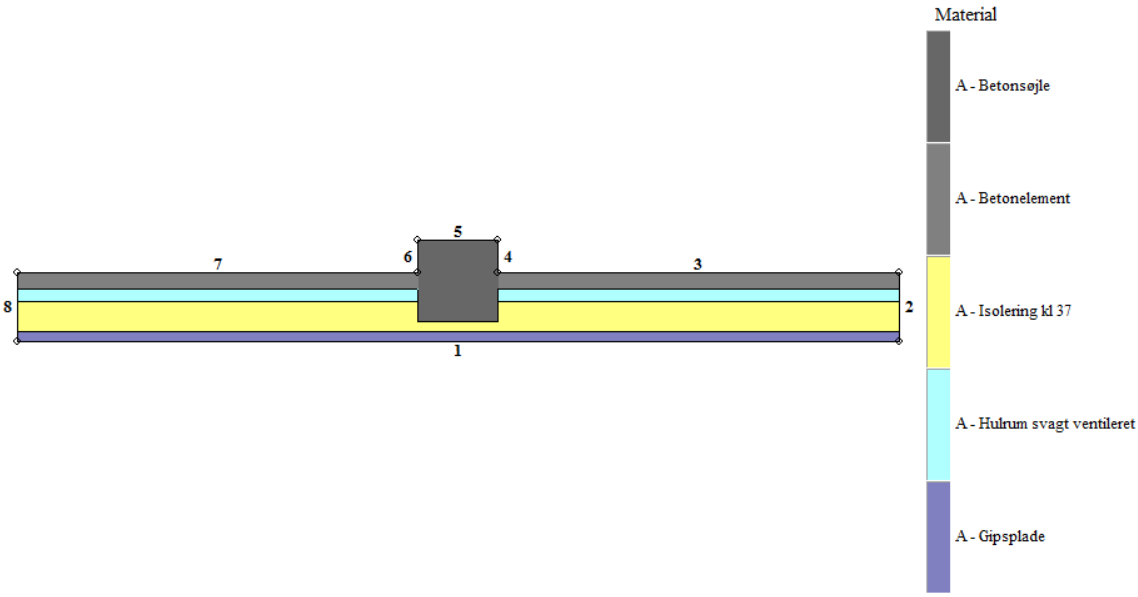
ID 2.1 - Indvendig efterisolering

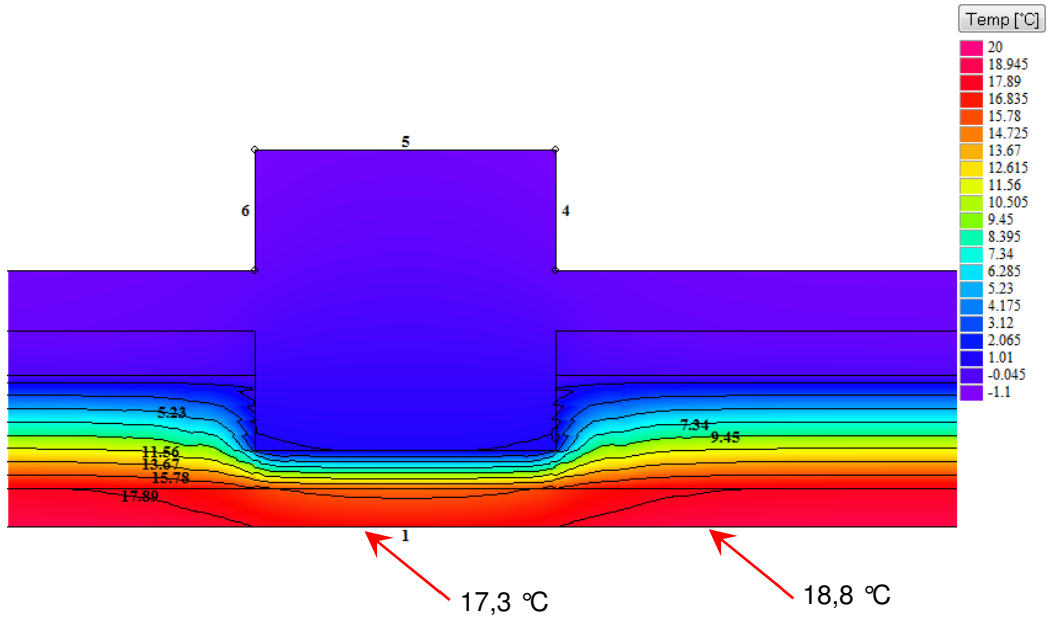
Løsning I: 75/10 mm.

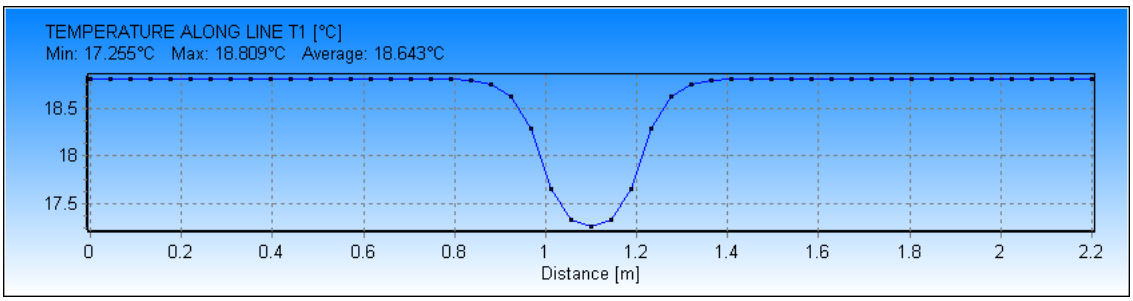


ID 2.2 - Indvendig efterisolering

Løsning II: 75/25 mm.

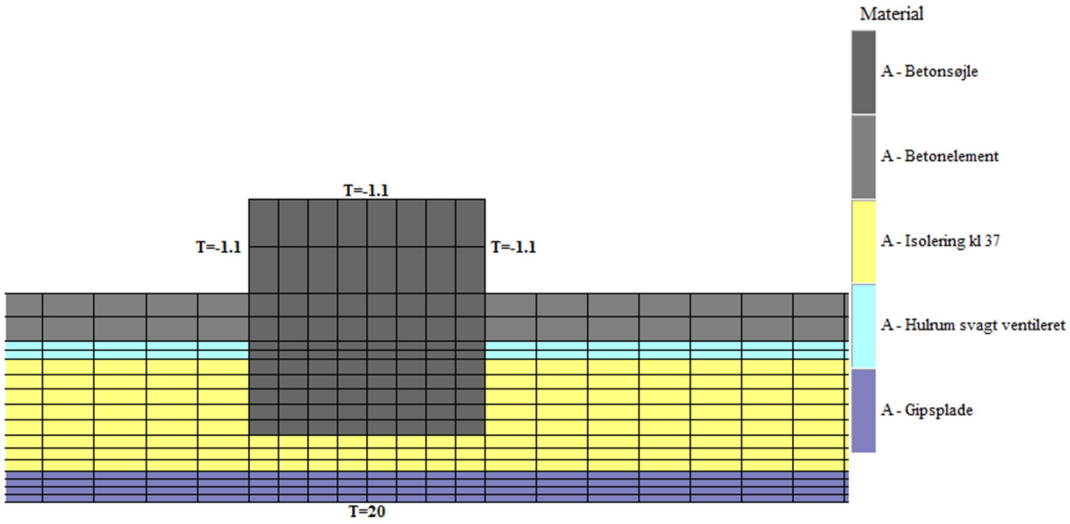


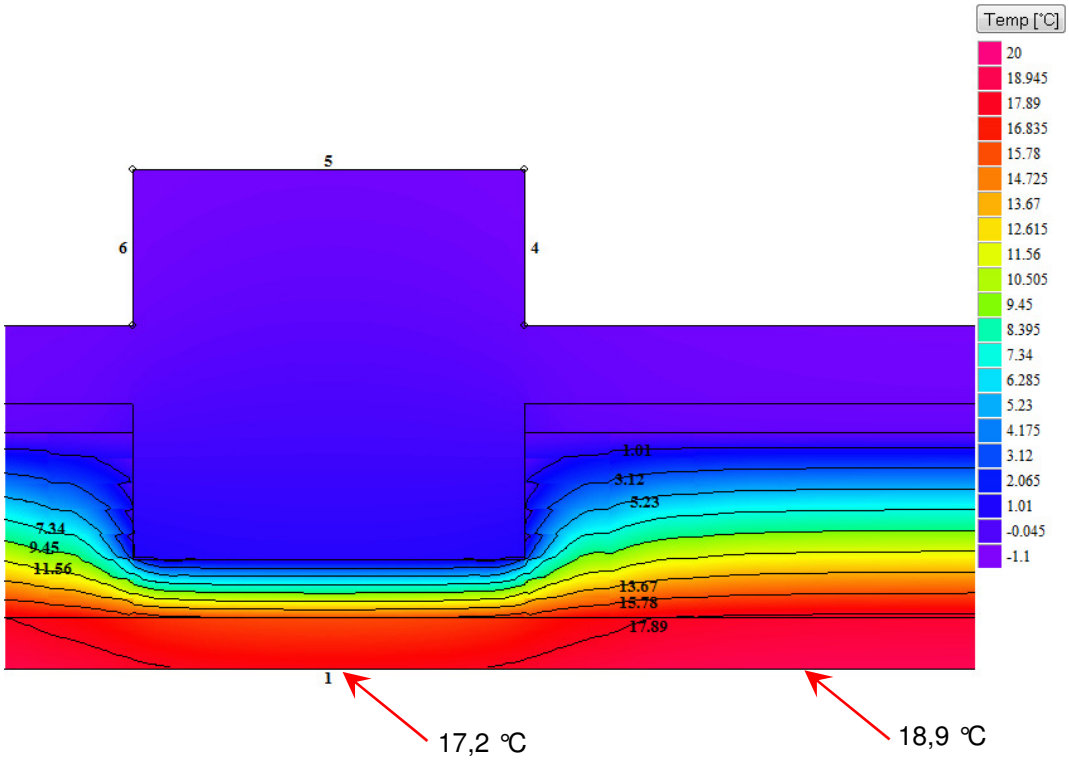


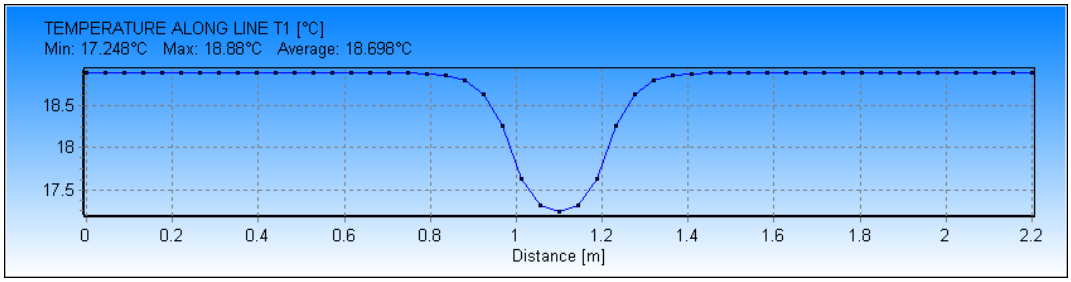


ID 2.3 - Indvendig efterisolering

Løsning III: 95/30 mm.



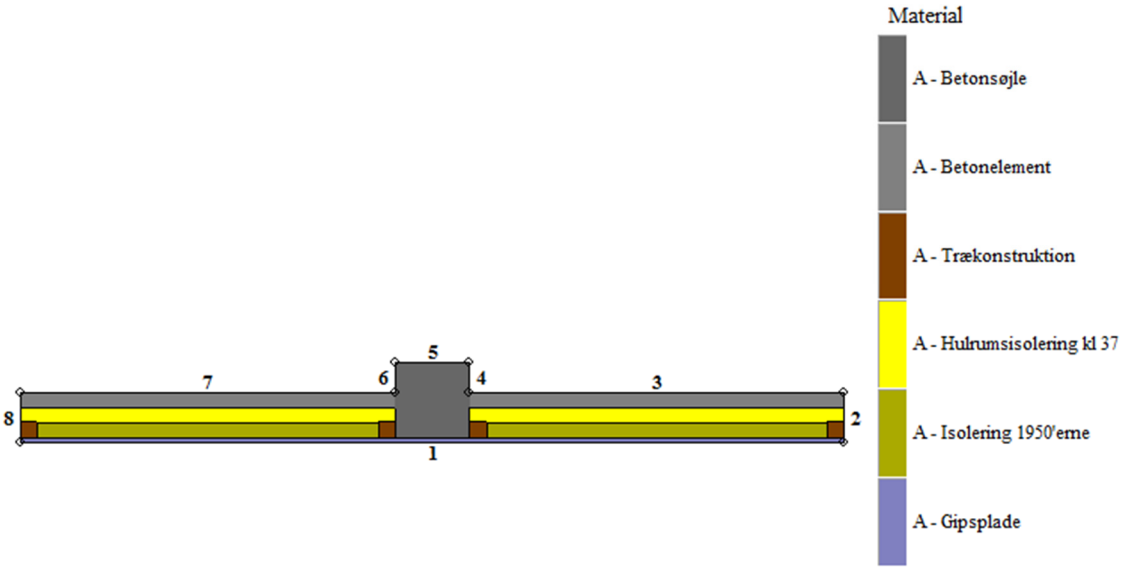


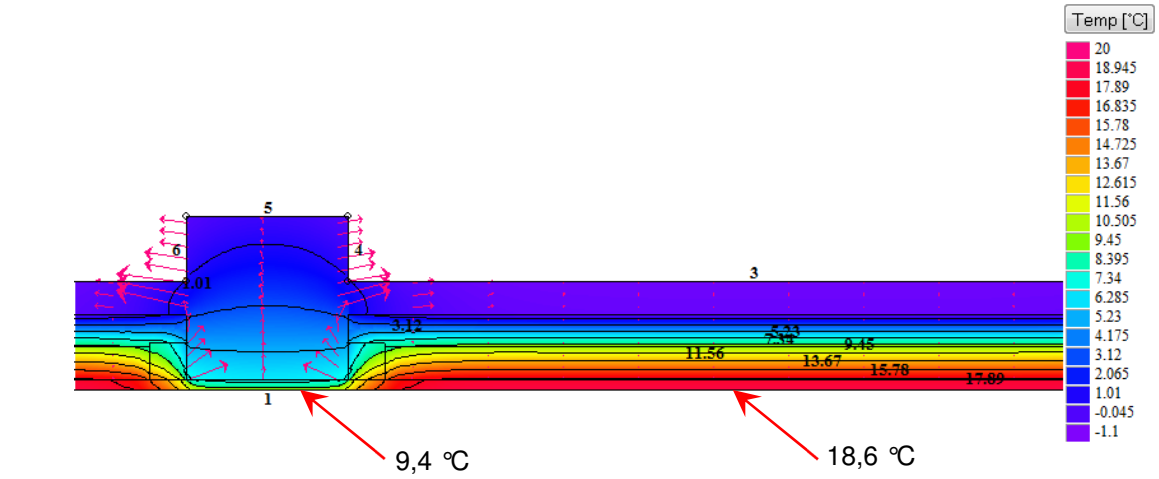


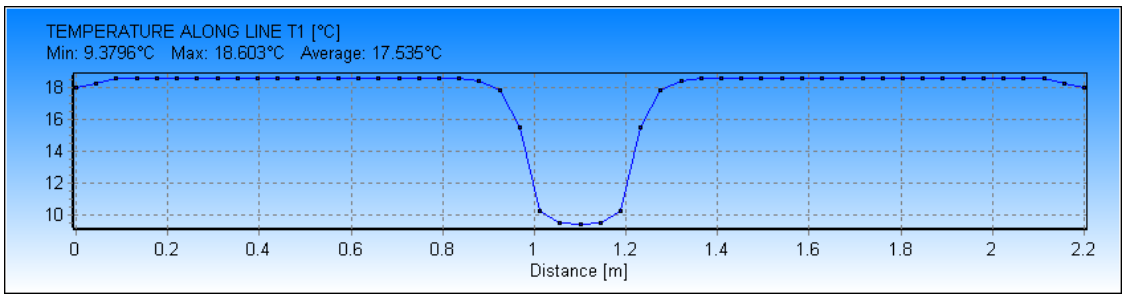
B.7.2.3 Hulrumsisolering

ID 3.1 - Hulrum efterisolering

Løsning: 40/0 mm.







B.8 Grenhusenes varmeforbrug

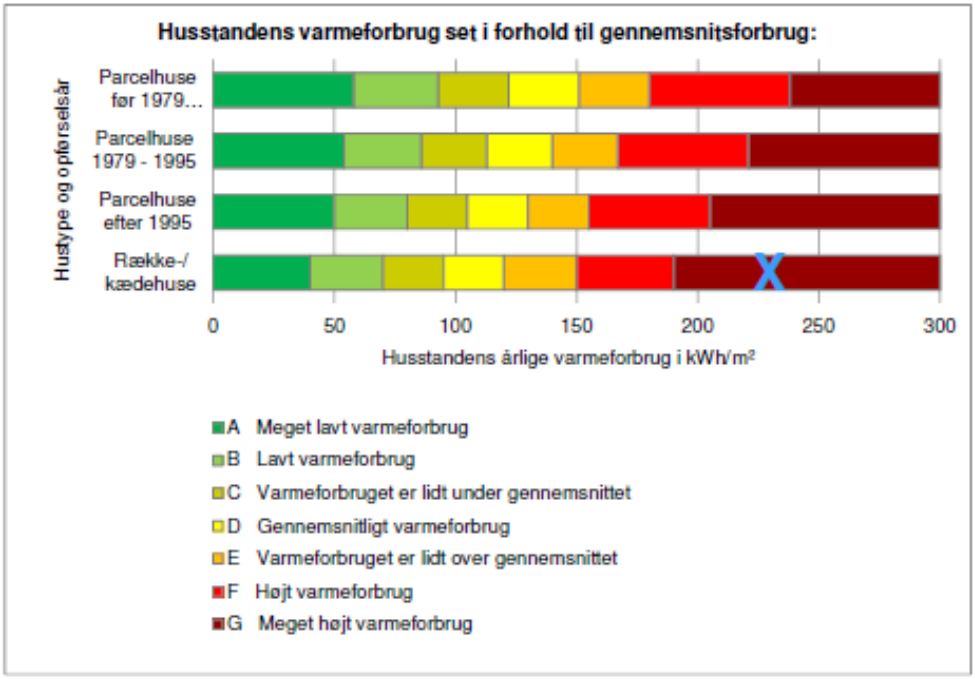
B.8.1 Graddagekorrigeret normalårsforbrug og sammenligning

Boligafdelingens data:			
158 boliger a	85 m²	=	13.430 m²
2 vaskerier a	85 m²	=	170 m²
1 fælleshus a	85 m²	=	85 m²
I alt		=	13.685 m²

Fjernvarmetarif, FDH 2015/2016 (ex. moms):			
Abonnement:	*kr.*	*10.000,00*	*/år**
Fastafgift:	kr.	0,19	/kWh
Variabel afgift:	kr.	0,38	/kWh
Enhedspris:	kr.	0,58	/kWh

**Variabelt abonnement er ikke medregnet i enhedspris*

Oplyst totaltforbrug:	2.711.000	kWh	
Periode:	1/4-2015 til 31/3-2016		
Graddage i periode:	2.702	gd.	
Graddage normalår:	3.112	gd.	
GAF anslås at være 100%, da VVB er på el.			
Graddagekor. forbrug:	3.122.366	kWh	
Gd.kor. forbrug pr. m²:	228,16	kWh/m² år	
Gd.kor. forbrug pr. bolig:	**19.394**	**kWh/år pr. bolig**	Udgift ~ kr. 11.249 /år pr. bolig


Husstandens varmeforbrug set i forhold til gennemsnitsforbrug:
Husstandens årlige varmeforbrug i kWh/m²

B.8.2 Takstblad Fjernvarmeselskabet "FD Hvidovre"

FJERNVARMEDISTRIBUTIONSSELSKABET
HVIDOVRE amba

Takstblad

Priser gældende fra 1. juni 2015
(alle priser opgivet excl. moms.)

Fastafgift pr. GJ/MWh årsforbrug:	kr.	54,06 / kr. 194,62
Beregnet som sidste års normalforbrug med reduktion afhængig af normalforbruget		
0-150 GJ		0-2%
150-750 GJ		2-4%
750-1500 GJ		4-9%
1500-10000 GJ		9-12%
10000-50000 GJ		12-20%
50000- GJ		20-22%

Abonnementsafgift: (pr. år, med baggrund i normalårsforbruget)		
Forbrug 0-150 GJ/år	kr.	600,00
Forbrug 150-1500 GJ/år	kr.	1.500,00
Forbrug 1500-10000 GJ/år	kr.	2.000,00
Forbrug 10000-50000 GJ/år	kr.	5.000,00
Forbrug 50000-100000 GJ/år	kr.	10.000,00
Forbrug 100000- GJ/år	kr.	10.000,00

Variabel afgift (efter måler):		
pr. GJ/MWh	kr.	105,83 / kr. 380,98

Motivationafgift (i den variable afgift):	
Afkoling mellem 25-35°C	ingen gevinst/afgift
Ved afkoling bedre end 35°C (årsgennemsnit)	½% gevinst/°C, dog maks. 10%
Ved afkoling mindre end 25°C (årsgennemsnit)	1% afgift/°C, dog maks. 10%

De nævnte satser beregnes med 2 decimaler, og der kan ikke pålignes/tillægges afgifter ud over de nævnte satser.

Andre afgifter:
I henhold til standardgebyrer godkendt af Energitilsynet den 26/9-2005

Fjernvarmedistributionsselskabet Hvidovre amba – www.hvidovrefjernvarme.dk
v/ EBO Consult A/S, Arn. Nielsens Boulevard 60, 1., 2650 Hvidovre, tlf. 3638 3800
Mail: steen.molander@ebo.dk - www.ebo.dk

B.9 Energibesparelser og rentabilitet

Beregning af energibesparelser samt pris og rentabilitet

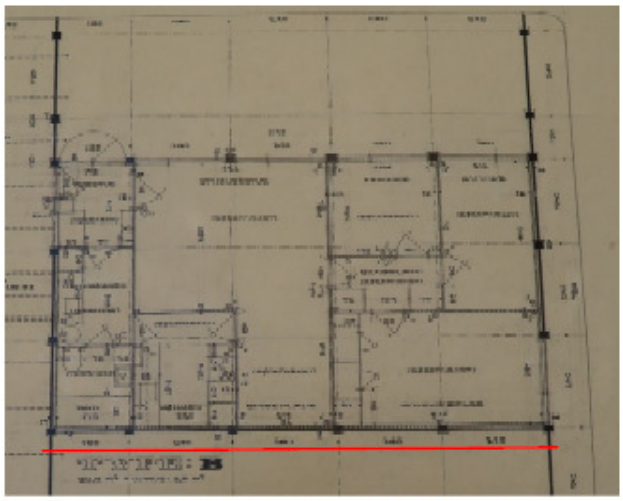
Masterspeciale - Case "Grenhusene" *version 2*

Eksist. ydervægge - ydervæg mod nabohave (eksempel)

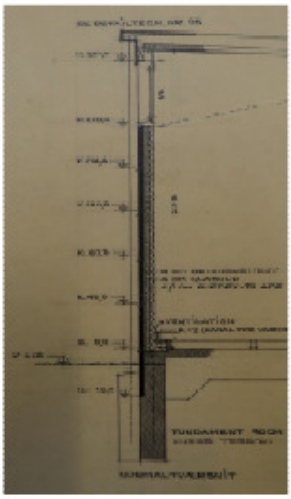
U-værdier for de enkelte konstruktioner (beregnet):

Ydervæg, betonsøjle	3,18	W/m²K
Ydervæg, betonelement	0,89	W/m²K
Ydervæg, træbeklædning	**0,78**	**W/m²K**
Væggens totale bredde:	11,40	m
Heraf betonsøjler (5 stk.):	1,00	m
Betonsøjlerne udgør:	8,77	%
Højde, betonelement-del:	2,18	m
Højde, træbeklædt del:	0,78	m
Total højde:	2,96	m
U-værdi, betonvæg m. søjler =	**1,09**	**W/m²K**

Betonelementvæg:	24,85	m²	73,65 %
Træbeklædt væg:	8,89	m²	26,35 %
Totalt areal af ydervæg:	33,74	m²	100,00 %
U-værdi for samlet ydervæg =	**1,01**	**W/m²K**	



Tegning 1 - Udsnit af plantegning, ydervæg mod nabohave over rød streg.



Tegning 2 - Udsnit af tværsnit, ydervæg mod nabohave.

PJH, 2016

1.1

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				
Side:	1 af 1	Dato:	21.05.2016	Beregnet af:	PJH

Simpel beregning af energibesp. og U-værdier - efterisoleret med: 100/20 mm ude

Facadetyper og mængde:

Facade mod pergolagang:	
Betonelementer	8,7 m²
Betonsøjler	1,9 m²
Træbeklædning	2,7 m²
Facade mod grønt område:	
Betonelementer	11,7 m²
Betonsøjler	1,9 m²
Træbeklædning	3,0 m²
Facade mod nabohave:	
Betonelementer	22,7 m²
Betonsøjler	3,6 m²
Træbeklædning	3,7 m²
Betonelementer i alt pr. hus:	43,1 m²
Betonsøjler i alt pr. hus:	7,4 m²
Træbeklædning i alt pr. hus:	9,4 m²

U-værdier:

Konstruktion:	$U_{Eksist.}$:	U_{Ny}:	
Betonelementer	0,89	0,24	W/m²K
Betonsøjler	3,18	0,85	W/m²K
Træbeklædning	0,78	0,24	W/m²K

U-værdier for ydervægskonstruktion:

	Andel:	Eksist. U-værdi:	Ny U-værdi:
Betonelementer i alt pr. hus:	85,3%	1,23 W/m²K	0,33 W/m²K
Betonsøjler i alt pr. hus:	14,7%		
Træbeklædning i alt pr. hus:	100%	0,78 W/m²K	0,24 W/m²K

Dør + træbeklæd. på facade mod pergolagang er ikke medtaget, da det anses udskiftet som særskilt parti.
Havefacade er ikke medtaget, da denne er efterisoleret tidligere.

Beregning:

Beregningsforudsætninger: Efter DS418, $\varphi_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_e)$
I dette tilfælde er besparelsen = $\Delta U \times A \times$ Graddage normalår $\times$ 24 t.

Konstruktion:	$U_{eksist.}$ W/m²K:	U_{ny} W/m²K:	ΔU W/m²K:	ΣA areal m²:	Graddage normalår:	Besparelse: (Δθ = Gd. × 24 t.)
Betonelementer mod pergolagang	0,89	0,24	0,65	8,7	3.112	422 kWh/år
Betonsøjler mod pergolagang	3,18	0,85	2,33	1,9	3.112	331 kWh/år
Træbeklædning mod pergolagang	0,78	0,24	0,54	2,7	3.112	109 kWh/år
Betonelementer mod grønt område	0,89	0,24	0,65	11,7	3.112	568 kWh/år
Betonsøjler mod grønt område	3,18	0,85	2,33	1,9	3.112	331 kWh/år
Træbeklædning mod grønt område	0,78	0,24	0,54	3,0	3.112	121 kWh/år
Betonelementer mod nabohave	0,89	0,24	0,65	22,7	3.112	1.102 kWh/år
Betonsøjler mod nabohave	3,18	0,85	2,33	3,6	3.112	626 kWh/år
Træbeklædning mod nabohave	0,78	0,24	0,54	3,7	3.112	149 kWh/år
Samlet energibesparelse pr. hus					=	3.759 kWh/år

Værdi af energibesparelse pr. hus: *FD Hvidovre fjv.:* *0,58 kr/kWh* + moms = 2.180 kr/år

(C)PJH 2016

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				Løsning 1.1
Side:	1 af 1	Dato:	21.05.2016	Beregnet af:	PJH

Prisbog: V&S Bygningsrenovering - Husbygning, Brutto - 2016 Prisindeksering: -
Priserne er pr. 1. januar 2016, ekskl. Moms, for geografisk område Sjælland ej hovedstadsomr.

Økonomi og rentabilitet for efterisolering af ydervæg: 100/20 mm ude

Pris ID:	Beskrivelse:	Enhed/antal:		Enhedspris:		Estimeret pris:
Nedrivning*:						
(41)35.02,01	Træbekl. (brædder) ydervæ. at aftage	m²	10	kr. 84,90	kr.	849,00
Ny konstruktion:						
(41)35.05,02	Afstandslist. til udv. vægbekl., 95 mm	m²	60	kr. 44,58	kr.	2.674,80
(21)36.90,03	Mineraluldsisol., lev./mont., 95 mm	m²	60	kr. 89,84	kr.	5.390,40
(41)35.10,04	Træbekl. (klink), lev./mont. ru bræd.	m²	60	kr. 553,00	kr.	33.180,00
(41)37.66,13	Træbeskyttelse, heldæk. (pr. gang)	m²	60	kr. 39,84	kr.	2.390,40
Samlet pris	**beregnet pr. hus**				**kr.**	**44.484,60**
Tillæg:						
Geografisk tillæg for hovedstadsområdet:		1,05			kr.	46.708,83
Arbejdspladsindretning og -drift:		12%			kr.	5.605,06
Sum total	**pr. hus**				**kr.**	**52.313,89**

Rentabilitet:

Beregnet årlig energibesparelse: kr. 2.180,00

Rentabelt hvis: $\frac{\text{årlig besparelse} \times \text{levetid af tiltag}}{\text{investering}} > 1{,}33$

=> $\frac{\text{kr. } 2.180{,}00 \times 40 \text{ år}}{\text{kr } 52.313{,}89} = 1{,}67$

Konklusion: Tiltaget er **RENTABELT**

**Det forudsættes at de nedrevne bygningsdele ikke indeholder miljøkritiske stoffer såsom PCB.*

(C)PJH, 2016

1.2

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				
Side:	1 af 1	Dato:	21.05.2016	Beregnet af:	PJH

Simpel beregning af energibesp. og U-værdier - efterisoleret med: 150/70 mm ude

Facadetyper og mængde:

Facade mod pergolagang:		
Betonelementer	8,7	m²
Betonsøjler	1,9	m²
Træbeklædning	2,7	m²
Facade mod grønt område:		
Betonelementer	11,7	m²
Betonsøjler	1,9	m²
Træbeklædning	3,0	m²
Facade mod nabohave:		
Betonelementer	22,7	m²
Betonsøjler	3,6	m²
Træbeklædning	3,7	m²
Betonelementer i alt pr. hus:	43,1	m²
Betonsøjler i alt pr. hus:	7,4	m²
Træbeklædning i alt pr. hus:	9,4	m²

U-værdier:

Konstruktion:	$U_{Eksist.}$:	U_{Ny}:	
Betonelementer	0,89	0,18	W/m²K
Betonsøjler	3,18	0,40	W/m²K
Træbeklædning	0,78	0,18	W/m²K

U-værdier for ydervægskonstruktion:

Andel:	Eksist. U-værdi:	Ny U-værdi:
85,3%	1,23 W/m²K	0,21 W/m²K
14,7%		
100%	0,78 W/m²K	0,18 W/m²K

Dør + træbeklæd. på facade mod pergolagang er ikke medtaget, da det anses udskiftet som særskilt parti.
Havefacade er ikke medtaget, da denne er efterisoleret tidligere.

Beregning:

Beregningsforudsætninger: Efter DS418, $\varphi_l = U \times A \times (\theta_i - \theta_e)$
I dette tilfælde er besparelsen = $\Delta U \times A \times$ Graddage normalår $\times$ 24 t.

Konstruktion:	$U_{oksist.}$ W/m²K:	U_{ny} W/m²K:	ΔU W/m²K:	ΣA areal m²:	Graddage normalår:	Besparelse: (Δθ = Gd. × 24 t.)
Betonelementer mod pergolagang	0,89	0,18	0,71	8,7	3.112	461 kWh/år
Betonsøjler mod pergolagang	3,18	0,40	2,78	1,9	3.112	395 kWh/år
Træbeklædning mod pergolagang	0,78	0,18	0,60	2,7	3.112	121 kWh/år
Betonelementer mod grønt område	0,89	0,18	0,71	11,7	3.112	620 kWh/år
Betonsøjler mod grønt område	3,18	0,40	2,78	1,9	3.112	395 kWh/år
Træbeklædning mod grønt område	0,78	0,18	0,60	3,0	3.112	134 kWh/år
Betonelementer mod nabohave	0,89	0,18	0,71	22,7	3.112	1.204 kWh/år
Betonsøjler mod nabohave	3,18	0,40	2,78	3,6	3.112	747 kWh/år
Træbeklædning mod nabohave	0,78	0,18	0,60	3,7	3.112	166 kWh/år
Samlet energibesparelse pr. hus					=	4.243 kWh/år

Værdi af energibesparelse pr. hus: *FD Hvidovre fjv.:* *0,58 kr/kWh* + moms = 2.461 kr/år

(C)PJH 2016

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				Løsning 1.2
Side:	1 af 1	Dato:	21.05.2016	Beregnet af:	PJH

Prisbog: V&S Bygningsrenovering - Husbygning, Brutto - 2016 Prisindeksering: -

Priserne er pr. 1. januar 2016, ekskl. Moms, for geografisk område Sjælland ej hovedstadsomr.

Økonomi og rentabilitet for efterisolering af ydervæg: 150/70 mm ude

Pris ID:	Beskrivelse:	Enhed/antal:		Enhedspris:		Estimeret pris:
Nedrivning*:						
(41)35.02,01	Træbekl. (brædder) yderv. at aftage	m²	10	kr. 84,90	kr.	849,00
Ny konstruktion:						
(41)35.05,02	Afstandslist. til udv. vægbekl., 95 mm	m²	60	kr. 44,58	kr.	2.674,80
(41)35.05,01	Afstandslist. til udv. vægbekl., 50 mm	m²	60	kr. 29,78	kr.	1.786,80
(21)36.90,05	Mineraluldsisol., lev./mont., 145 mm	m²	60	kr. 136,60	kr.	8.196,00
(41)35.10,04	Træbekl. (klink), lev./mont. ru bræd.	m²	60	kr. 553,00	kr.	33.180,00
(41)37.66,13	Træbeskyttelse, heldæk. (pr. gang)	m²	60	kr. 39,84	kr.	2.390,40
Samlet pris	**beregnet pr. hus**				**kr.**	**49.077,00**
Tillæg:						
Geografisk tillæg for hovedstadsområdet:		1,05			kr.	51.530,85
Arbejdspladsindretning og -drift:		12%			kr.	6.183,70
Sum total	**pr. hus**				**kr.**	**57.714,55**
Rentabilitet:						
Beregnet årlig energibesparelse:					kr.	2.461,00

Rentabelt hvis: $\frac{\text{årlig besparelse}}{\text{investering}} \times \text{levetid af tiltag} > 1{,}33$

=> $\frac{\text{kr. } 2.461{,}00}{\text{kr } 57.714{,}55} \times 40 \text{ år} = 1{,}71$

Konklusion: Tiltaget er **RENTABELT**

**Det forudsættes at de nedrevne bygningsdele ikke indeholder miljøkritiske stoffer såsom PCB.*

(C)PJH, 2016

1.3

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				
Side:	1 af 1	Dato:	21.05.2016	Beregnet af:	PJH

Simpel beregning af energibesp. og U-værdier - efterisoleret med: 200/120 mm ude

Facadetyper og mængde:

Facade mod pergolagang:		
Betonelementer	8,7	m²
Betonsøjler	1,9	m²
Træbeklædning	2,7	m²
Facade mod grønt område:		
Betonelementer	11,7	m²
Betonsøjler	1,9	m²
Træbeklædning	3,0	m²
Facade mod nabohave:		
Betonelementer	22,7	m²
Betonsøjler	3,6	m²
Træbeklædning	3,7	m²
Betonelementer i alt pr. hus:	43,1	m²
Betonsøjler i alt pr. hus:	7,4	m²
Træbeklædning i alt pr. hus:	9,4	m²

U-værdier:

Konstruktion:	$U_{Eksist.}$:	U_{Ny}:	
Betonelementer	0,89	0,15	W/m²K
Betonsøjler	3,18	0,26	W/m²K
Træbeklædning	0,78	0,15	W/m²K

U-værdier for ydervægskonstruktion:

Andel:	Eksist. U-værdi:	Ny U-værdi:
85,3%	1,23 W/m²K	0,17 W/m²K
14,7%		
100%	0,78 W/m²K	0,15 W/m²K

Dør + træbeklæd. på facade mod pergolagang er ikke medtaget, da det anses udskiftet som særskilt parti.
Havefacade er ikke medtaget, da denne er efterisoleret tidligere.

Beregning:

Beregningsforudsætninger: Efter DS418, $\varphi_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_e)$
I dette tilfælde er besparelsen = $\Delta U \times A \times$ Graddage normalår $\times$ 24 t.

Konstruktion:	$U_{oksist.}$ W/m²K:	U_{ny} W/m²K:	ΔU W/m²K:	ΣA areal m²:	Graddage normalår:	Besparelse: (Δθ = Gd. × 24 t.)
Betonelementer mod pergolagang	0,89	0,15	0,74	8,7	3.112	481 kWh/år
Betonsøjler mod pergolagang	3,18	0,26	2,92	1,9	3.112	414 kWh/år
Træbeklædning mod pergolagang	0,78	0,15	0,63	2,7	3.112	127 kWh/år
Betonelementer mod grønt område	0,89	0,15	0,74	11,7	3.112	647 kWh/år
Betonsøjler mod grønt område	3,18	0,26	2,92	1,9	3.112	414 kWh/år
Træbeklædning mod grønt område	0,78	0,15	0,63	3,0	3.112	141 kWh/år
Betonelementer mod nabohave	0,89	0,15	0,74	22,7	3.112	1.255 kWh/år
Betonsøjler mod nabohave	3,18	0,26	2,92	3,6	3.112	785 kWh/år
Træbeklædning mod nabohave	0,78	0,15	0,63	3,7	3.112	174 kWh/år
Samlet energibesparelse pr. hus					=	4.438 kWh/år

Værdi af energibesparelse pr. hus: *FD Hvidovre fjv.:* *0,58 kr/kWh* + moms = 2.574 kr/år

(C)PJH 2016

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				Løsning 1.3
Side:	1 af 1	Dato:	21.05.2016	Beregnet af:	PJH

Prisbog: V&S Bygningsrenovering - Husbygning, Brutto - 2016 Prisindeksering: -
Priserne er pr. 1. januar 2016, ekskl. Moms, for geografisk område Sjælland ej hovedstadsomr.

Økonomi og rentabilitet for efterisolering af ydervæg: 200/120 mm ude

Pris ID:	Beskrivelse:	Enhed/antal:		Enhedspris:		Estimeret pris:
Nedrivning*:						
(41)35.02,01	Træbekl. (brædder) yderv. at aftage	m²	10	kr. 84,90	kr.	849,00
Ny konstruktion:						
(41)35.05,02	Afstandslist. til udv. vægbekl., 95 mm	m²	60	kr. 44,58	kr.	2.674,80
(41)35.05,02	Afstandslist. til udv. vægbekl., 95 mm	m²	60	kr. 44,58	kr.	2.674,80
(21)36.90,07	Mineraluldsisol., lev./mont., 195 mm	m²	60	kr. 181,20	kr.	10.872,00
(41)35.10,04	Træbekl. (klink), lev./mont. ru bræd.	m²	60	kr. 553,00	kr.	33.180,00
(41)37.66,13	Træbeskyttelse, heldæk. (pr. gang)	m²	60	kr. 39,84	kr.	2.390,40
Samlet pris	**beregnet pr. hus**				**kr.**	**52.641,00**
Tillæg:						
Geografisk tillæg for hovedstadsområdet:		1,05			kr.	55.273,05
Arbejdspladsindretning og -drift:		12%			kr.	6.632,77
Sum total	**pr. hus**				**kr.**	**61.905,82**

Rentabilitet:

Beregnet årlig energibesparelse: kr. 2.574,00

Rentabelt hvis: $\frac{\text{årlig besparelse} \times \text{levetid af tiltag}}{\text{investering}} > 1{,}33$

=> $\frac{\text{kr. } 2.574{,}00 \times 40 \text{ år}}{\text{kr } 61.905{,}82} = 1{,}66$

Konklusion: Tiltaget er **RENTABELT** **

**Det forudsættes at de nedrevne bygningsdele ikke indeholder miljøkritiske stoffer såsom PCB.*
***Beregningen er ekskl. pris for udvidelse af tagudhæng, der er en forudsætning for tiltaget.*

(C)PJH, 2016

1.4

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				
Side:	1 af 1	Dato:	21.05.2016	Beregnet af:	PJH

Simpel beregning af energibesp. og U-værdier - efterisoleret med: 160/80 mm (pudset) ude

Facadetyper og mængde:

Facade mod pergolagang:		
Betonelementer	8,7	m²
Betonsøjler	1,9	m²
Træbeklædning	2,7	m²
Facade mod grønt område:		
Betonelementer	11,7	m²
Betonsøjler	1,9	m²
Træbeklædning	3,0	m²
Facade mod nabohave:		
Betonelementer	22,7	m²
Betonsøjler	3,6	m²
Træbeklædning	3,7	m²
Betonelementer i alt pr. hus:	43,1	m²
Betonsøjler i alt pr. hus:	7,4	m²
Træbeklædning i alt pr. hus:	9,4	m²

U-værdier:

Konstruktion:	$U_{Eksist.}$:	U_{Ny}:	
Betonelementer	0,89	0,19	W/m²K
Betonsøjler	3,18	0,40	W/m²K
Træbeklædning	0,78	0,18	W/m²K

U-værdier for ydervægskonstruktion:

Andel:	Eksist. U-værdi:	Ny U-værdi:
85,3%	1,23 W/m²K	0,22 W/m²K
14,7%		
100%	0,78 W/m²K	0,18 W/m²K

Dør + træbeklæd. på facade mod pergolagang er ikke medtaget, da det anses udskiftet som særskilt parti.
Havefacade er ikke medtaget, da denne er efterisoleret tidligere.

Beregning:

Beregningsforudsætninger: Efter DS418, $\varphi_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_a)$
I dette tilfælde er besparelsen = $\Delta U \times A \times$ Graddage normalår $\times$ 24 t.

Konstruktion:	$U_{eksist.}$ W/m²K:	U_{ny} W/m²K:	ΔU W/m²K:	ΣA areal m²:	Graddage normalår:	Besparelse: ($\Delta\theta$ = Gd. × 24 t.)
Betonelementer mod pergolagang	0,89	0,19	0,70	8,7	3.112	455 kWh/år
Betonsøjler mod pergolagang	3,18	0,40	2,78	1,9	3.112	395 kWh/år
Træbeklædning mod pergolagang	0,78	0,18	0,60	2,7	3.112	121 kWh/år
Betonelementer mod grønt område	0,89	0,19	0,70	11,7	3.112	612 kWh/år
Betonsøjler mod grønt område	3,18	0,40	2,78	1,9	3.112	395 kWh/år
Træbeklædning mod grønt område	0,78	0,18	0,60	3,0	3.112	134 kWh/år
Betonelementer mod nabohave	0,89	0,19	0,70	22,7	3.112	1.187 kWh/år
Betonsøjler mod nabohave	3,18	0,40	2,78	3,6	3.112	747 kWh/år
Træbeklædning mod nabohave	0,78	0,18	0,60	3,7	3.112	166 kWh/år
Samlet energibesparelse pr. hus					=	4.211 kWh/år

Værdi af energibesparelse pr. hus: *FD Hvidovre fjv.: 0,58 kr/kWh* + moms = 2.442 kr/år

(C)PJH 2016

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				Løsning 1.4
Side:	1 af 1	Dato:	21.05.2016	Beregnet af:	PJH

Prisbog: V&S Bygningsrenovering - Husbygning, Brutto - 2016 Prisindeksering: -
Priserne er pr. 1. januar 2016, ekskl. Moms, for geografisk område Sjælland ej hovedstadsomr.

Økonomi og rentabilitet for efterisolering af ydervæg: 160/80 mm ude

Pris ID:	Beskrivelse:	Enhed/antal:		Enhedspris:		Estimeret pris:
Nedrivning*:						
(41)35.02,01	Træbekl. (brædder) yderv. at aftage	m²	10	kr. 84,90	kr.	849,00
Ny konstruktion:						
(21)36.70,02	Facadesystem, isol. og puds, 150 mm	m²	60	kr. 1.715,33	kr.	102.919,80

Samlet pris	**beregnet pr. hus**	**kr.**	**103.768,80**
Tillæg:			
Geografisk tillæg for hovedstadsområdet:	1,05	kr.	108.957,24
Arbejdspladsindretning og -drift:	12%	kr.	13.074,87
Sum total	**pr. hus**	**kr.**	**122.032,11**

Rentabilitet:

Beregnet årlig energibesparelse:					kr.	2.442,00
Rentabelt hvis:	årlig besparelse	×	levetid af tiltag		>	1,33
	investering					
=>	kr. 2.442,00	×	40 år		=	0,8
	kr		122.032,11			

Konklusion: Tiltaget er **IKKE rentabelt**

'Det forudsættes at de nedrevne bygningsdele ikke indeholder miljøkritiske stoffer såsom PCB.

(C)PJH, 2016

2.2

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				
Side:	1 af 1	Dato:	14.05.2016	Beregnet af:	PJH

Simpel beregning af energibesp. og U-værdier - efterisoleret med: 75/25 mm inde

Facadetyper og mængde:

Facade mod pergolagang:	
Betonelementer	8,7 m²
Betonsøjler	1,9 m²
Træbeklædning	2,7 m²
Facade mod grønt område:	
Betonelementer	11,7 m²
Betonsøjler	1,9 m²
Træbeklædning	3,0 m²
Facade mod nabohave:	
Betonelementer	22,7 m²
Betonsøjler	3,6 m²
Træbeklædning	3,7 m²
Betonelementer i alt pr. hus:	43,1 m²
Betonsøjler i alt pr. hus:	7,4 m²
Træbeklædning i alt pr. hus:	9,4 m²

U-værdier:

Konstruktion:	$U_{Eksist.}$:	U_{Ny}:	
Betonelementer	0,89	0,41	W/m²K
Betonsøjler	3,18	0,93	W/m²K
Træbeklædning	0,78	0,39	W/m²K

U-værdier for ydervægskonstruktion:

	Andel:	Eksist. U-værdi:	Ny U-værdi:
Betonelementer i alt pr. hus:	85,3%	1,23 W/m²K	0,49 W/m²K
Betonsøjler i alt pr. hus:	14,7%		
Træbeklædning i alt pr. hus:	100%	0,78 W/m²K	0,39 W/m²K

Dør + træbeklæd. på facade mod pergolagang er ikke medtaget, da det anses udskiftet som særskilt parti.
Havefacade er ikke medtaget, da denne er efterisoleret tidligere.

Beregning:

Beregningsforudsætninger: Efter DS418, $\varphi_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_e)$
I dette tilfælde er besparelsen = $\Delta U \times A \times$ Graddage normalår $\times$ 24 t.

Konstruktion:	$U_{eksist.}$ W/m²K:	U_{ny} W/m²K:	ΔU W/m²K:	ΣA areal m²:	Graddage normalår:	Besparelse: ($\Delta\theta$ = Gd. × 24 t.)
Betonelementer mod pergolagang	0,89	0,41	0,48	8,7	3.112	312 kWh/år
Betonsøjler mod pergolagang	3,18	0,93	2,25	1,9	3.112	319 kWh/år
Træbeklædning mod pergolagang	0,78	0,39	0,39	2,7	3.112	79 kWh/år
Betonelementer mod grønt område	0,89	0,41	0,48	11,7	3.112	419 kWh/år
Betonsøjler mod grønt område	3,18	0,93	2,25	1,9	3.112	319 kWh/år
Træbeklædning mod grønt område	0,78	0,39	0,39	3,0	3.112	87 kWh/år
Betonelementer mod nabohave	0,89	0,41	0,48	22,7	3.112	814 kWh/år
Betonsøjler mod nabohave	3,18	0,93	2,25	3,6	3.112	605 kWh/år
Træbeklædning mod nabohave	0,78	0,39	0,39	3,7	3.112	108 kWh/år
Samlet energibesparelse pr. hus					=	3.063 kWh/år

Værdi af energibesparelse pr. hus: *FD Hvidovre fjv.:* *0,58 kr/kWh* + moms = 1.776 kr/år

(C)PJH 2016

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				Løsning 2.2
Side:	1 af 1	Dato:	18.05.2016	Beregnet af:	PJH

Prisbog: V&S Bygningsrenovering - Husbygning, Brutto - 2016 Prisindeksering: -
Priserne er pr. 1. januar 2016, ekskl. Moms, for geografisk område Sjælland ej hovedstadsomr.

Økonomi og rentabilitet for efterisolering af ydervæg: 75/25 mm inde

Pris ID:	Beskrivelse:	Enhed/antal:	Enhedspris:	Estimeret pris:
Nedrivning*:				
(22)20.45, 01	Indervægge af træ + plade at nedrive	m² 52	kr. 145,00	kr. 7.540,00
(22)20.80,01	Isolering (50 mm) at udtage	m² 52	kr. 83,40	kr. 4.336,80
Ny konstruktion:				
(21)35.05,01	Træskelet 50x100 mm lev. og opsæt.	lb.m 23	kr. 144,18	kr. 3.316,14
(21)36.90,02	Isolering af træskeletkonstr., 70 mm	m² 60	kr. 81,02	kr. 4.861,20
(21)36.11,03	PE-folie 0,2 mm at opsætte på trækon.	m² 60	kr. 31,65	kr. 1.899,00
(42)15.25,06	Gipsplade 12,5 mm, dækket lag, opsat	m² 60	kr. 96,68	kr. 5.800,80
(42)15.25,04	Gipsplade 12,5 mm, synligt lag, opsat	m² 60	kr. 140,20	kr. 8.412,00
Samlet pris	**beregnet pr. hus**			**kr. 36.165,94**
Tillæg:				
Geografisk tillæg for hovedstadsområdet:		1,05		kr. 37.974,24
Arbejdspladsindretning og -drift:		12%		kr. 4.556,91
Flytning af radiator og ændring af rør**:		5 stk.	a kr. 2.500,00	kr. 12.500,00
Sum total	**pr. hus**			**kr. 55.031,15**

Rentabilitet:

Beregnet årlig energibesparelse: kr. 1.776,00

Rentabelt hvis: $\frac{\text{årlig besparelse} \times \text{levetid af tiltag}}{\text{investering}} > 1{,}33$

=> $\frac{\text{kr. } 1.776{,}00 \times 40 \text{ år}}{\text{kr } 55.031{,}15} = 1{,}29$

Konklusion: Tiltaget er **IKKE rentabelt**

**Det forudsættes at de nedrevne bygningsdele ikke indeholder miljøkritiske stoffer såsom PCB.*
*** Pris på flyt af radiator er overslag fra VVS-firma. Prisen pr. radiator forudsætter, at en "gren" af huse udføres samtidig.*

(C)PJH, 2016

2.3

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				
Side:	1 af 1	Dato:	14.05.2016	Beregnet af:	PJH

Simpel beregning af energibesp. og U-værdier - efterisoleret med: 95/30 mm inde

Facadetyper og mængde:

Facade mod pergolagang:	
Betonelementer	8,7 m²
Betonsøjler	1,9 m²
Træbeklædning	2,7 m²
Facade mod grønt område:	
Betonelementer	11,7 m²
Betonsøjler	1,9 m²
Træbeklædning	3,0 m²
Facade mod nabohave:	
Betonelementer	22,7 m²
Betonsøjler	3,6 m²
Træbeklædning	3,7 m²
Betonelementer i alt pr. hus:	43,1 m²
Betonsøjler i alt pr. hus:	7,4 m²
Træbeklædning i alt pr. hus:	9,4 m²

U-værdier:

Konstruktion:	$U_{Eksist.}$:	U_{Ny}:	
Betonelementer	0,89	0,34	W/m²K
Betonsøjler	3,18	0,83	W/m²K
Træbeklædning	0,78	0,32	W/m²K

U-værdier for ydervægskonstruktion:

Andel:	Eksist. U-værdi:	Ny U-værdi:
85,3% + 14,7%	1,23 W/m²K	0,41 W/m²K
100%	0,78 W/m²K	0,32 W/m²K

Dør + træbeklæd. på facade mod pergolagang er ikke medtaget, da det anses udskiftet som særskilt parti.
Havefacade er ikke medtaget, da denne er efterisoleret tidligere.

Beregning:

Beregningsforudsætninger: Efter DS418, $\varphi_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_e)$
I dette tilfælde er besparelsen = $\Delta U \times A \times$ Graddage normalår × 24 t.

Konstruktion:	$U_{eksist.}$ W/m²K:	U_{ny} W/m²K:	ΔU W/m²K:	ΣA areal m²:	Graddage normalår:	Besparelse: (Δθ = Gd. × 24 t.)
Betonelementer mod pergolagang	0,89	0,34	0,55	8,7	3.112	357 kWh/år
Betonsøjler mod pergolagang	3,18	0,83	2,35	1,9	3.112	333 kWh/år
Træbeklædning mod pergolagang	0,78	0,32	0,46	2,7	3.112	93 kWh/år
Betonelementer mod grønt område	0,89	0,34	0,55	11,7	3.112	481 kWh/år
Betonsøjler mod grønt område	3,18	0,83	2,35	1,9	3.112	333 kWh/år
Træbeklædning mod grønt område	0,78	0,32	0,46	3,0	3.112	103 kWh/år
Betonelementer mod nabohave	0,89	0,34	0,55	22,7	3.112	932 kWh/år
Betonsøjler mod nabohave	3,18	0,83	2,35	3,6	3.112	632 kWh/år
Træbeklædning mod nabohave	0,78	0,32	0,46	3,7	3.112	127 kWh/år
Samlet energibesparelse pr. hus					=	3.392 kWh/år

Værdi af energibesparelse pr. hus: *FD Hvidovre fjv.:* *0,58 kr/kWh* + moms = 1.968 kr/år

(C)PJH 2016

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge			Løsning 2.3
Side:	1 af 1	Dato:	18.05.2016	Beregnet af: PJH

Prisbog: V&S Bygningsrenovering - Husbygning, Brutto - 2016 Prisindeksering: -
Priserne er pr. 1. januar 2016, ekskl. Moms, for geografisk område Sjælland ej hovedstadsomr.

Økonomi og rentabilitet for efterisolering af ydervæg: 95/30 mm inde

Pris ID:	Beskrivelse:	Enhed/antal:	Enhedspris:	Estimeret pris:
Nedrivning*:				
(22)20.45, 01	Indervægge af træ + plade at nedrive	m² 52	kr. 145,00	kr. 7.540,00
(22)20.80,01	Isolering (50 mm) at udtage	m² 52	kr. 83,40	kr. 4.336,80
Ny konstruktion:				
(21)35.05,01	Træskelet 50x100 mm lev. og opsæt.	lb.m 23	kr. 144,18	kr. 3.316,14
(21)36.90,03	Isolering af træskeletkonstr., 95 mm	m² 60	kr. 89,84	kr. 5.390,40
(21)36.11,03	PE-folie 0,2 mm at opsætte på trækon.	m² 60	kr. 31,65	kr. 1.899,00
(42)15.25,06	Gipsplade 12,5 mm, dækket lag, opsat	m² 60	kr. 96,68	kr. 5.800,80
(42)15.25,04	Gipsplade 12,5 mm, synligt lag, opsat	m² 60	kr. 140,20	kr. 8.412,00
Samlet pris	**beregnet pr. hus**			**kr. 36.695,14**
Tillæg:				
Geografisk tillæg for hovedstadsområdet:		1,05		kr. 38.529,90
Arbejdspladsindretning og -drift:		12%		kr. 4.623,59
Flytning af radiator og ændring af rør**:		5 stk.	a kr. 2.500,00	kr. 12.500,00
Sum total	**pr. hus**			**kr. 55.653,48**
Rentabilitet:				
Beregnet årlig energibesparelse:				kr. 1.968,00

Rentabelt hvis: $\frac{\text{årlig besparelse} \times \text{levetid af tiltag}}{\text{investering}} > 1{,}33$

=> $\frac{\text{kr. } 1.968{,}00 \times 40 \text{ år}}{\text{kr } 55.653{,}48} = 1{,}41$

Konklusion: Tiltaget er **RENTABELT**

**Det forudsættes at de nedrevne bygningsdele ikke indeholder miljøkritiske stoffer såsom PCB.*
*** Pris på flyt af radiator er overslag fra VVS-firma. Prisen pr. radiator forudsætter, at en "gren" af huse udføres samtidig.*

(C)PJH, 2016

2.4

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				
Side:	1 af 1	**Dato:**	14.05.2016	**Beregnet af:**	PJH

Simpel beregning af energibesp. og U-værdier - efterisoleret med: 195/145 mm inde

Facadetyper og mængde:

Facade mod pergolagang:	
Betonelementer	8,7 m²
Betonsøjler	1,9 m²
Træbeklædning	2,7 m²
Facade mod grønt område:	
Betonelementer	11,7 m²
Betonsøjler	1,9 m²
Træbeklædning	3,0 m²
Facade mod nabohave:	
Betonelementer	22,7 m²
Betonsøjler	3,6 m²
Træbeklædning	3,7 m²

U-værdier:

Konstruktion:	$U_{Eksist.}$:	U_{Ny}:	
Betonelementer	0,89	0,18	W/m²K
Betonsøjler	3,18	0,23	W/m²K
Træbeklædning	0,78	0,17	W/m²K

U-værdier for ydervægskonstruktion:

		Andel:	Eksist. U-værdi:	Ny U-værdi:
Betonelementer i alt pr. hus:	43,1 m²	85,3%	1,23 W/m²K	0,19 W/m²K
Betonsøjler i alt pr. hus:	7,4 m²	14,7%		
Træbeklædning i alt pr. hus:	9,4 m²	100%	0,78 W/m²K	0,17 W/m²K

Dør + træbeklæd. på facade mod pergolagang er ikke medtaget, da det anses udskiftet som særskilt parti.
Havefacade er ikke medtaget, da denne er efterisoleret tidligere.

Beregning:

Beregningsforudsætninger: Efter DS418, $\varphi_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_e)$
I dette tilfælde er besparelsen = $\Delta U \times A \times$ Graddage normalår $\times$ 24 t.

Konstruktion:	$U_{eksist.}$ W/m²K:	U_{ny} W/m²K:	ΔU W/m²K:	ΣA areal m²:	Graddage normalår:	Besparelse: ($\Delta\theta$ = Gd. × 24 t.)
Betonelementer mod pergolagang	0,89	0,18	0,71	8,7	3.112	461 kWh/år
Betonsøjler mod pergolagang	3,18	0,23	2,95	1,9	3.112	419 kWh/år
Træbeklædning mod pergolagang	0,78	0,17	0,61	2,7	3.112	123 kWh/år
Betonelementer mod grønt område	0,89	0,18	0,71	11,7	3.112	620 kWh/år
Betonsøjler mod grønt område	3,18	0,23	2,95	1,9	3.112	419 kWh/år
Træbeklædning mod grønt område	0,78	0,17	0,61	3,0	3.112	137 kWh/år
Betonelementer mod nabohave	0,89	0,18	0,71	22,7	3.112	1.204 kWh/år
Betonsøjler mod nabohave	3,18	0,23	2,95	3,6	3.112	793 kWh/år
Træbeklædning mod nabohave	0,78	0,17	0,61	3,7	3.112	169 kWh/år
Samlet energibesparelse pr. hus					=	4.344 kWh/år

Værdi af energibesparelse pr. hus: *FD Hvidovre fjv.:* *0,58 kr/kWh* + moms = 2.520 kr/år

(C)PJH 2016

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge			**Løsning 2.4**	
Side:	1 af 1	**Dato:**	18.05.2016	**Beregnet af:**	PJH

Prisbog: V&S Bygningsrenovering - Husbygning, Brutto - 2016 Prisindeksering: -
Priserne er pr. 1. januar 2016, ekskl. Moms, for geografisk område Sjælland ej hovedstadsomr.

Økonomi og rentabilitet for efterisolering af ydervæg: 195/145 mm inde

Pris ID:	Beskrivelse:	Enhed/antal:	Enhedspris:	Estimeret pris:
Nedrivning*:				
(22)20.45, 01	Indervægge af træ + plade at nedrive	m² 52	kr. 145,00	kr. 7.540,00
(22)20.80,01	Isolering (50 mm) at udtage	m² 52	kr. 83,40	kr. 4.336,80
Ny konstruktion:				
(21)35.05,08	Træskelet 100x200 mm lev. og opsæt.	lb.m 23	kr. 283,98	kr. 6.531,54
(21)36.90,07	Isolering af træskeletkonstr., 195 mm	m² 60	kr. 181,20	kr. 10.872,00
(21)36.11,03	PE-folie 0,2 mm at opsætte på trækon.	m² 60	kr. 31,65	kr. 1.899,00
(42)15.25,06	Gipsplade 12,5 mm, dækket lag, opsat	m² 60	kr. 96,68	kr. 5.800,80
(42)15.25,04	Gipsplade 12,5 mm, synligt lag, opsat	m² 60	kr. 140,20	kr. 8.412,00
Samlet pris	**beregnet pr. hus**			**kr. 45.392,14**
Tillæg:				
Geografisk tillæg for hovedstadsområdet:		1,05		kr. 47.661,75
Arbejdspladsindretning og -drift:		12%		kr. 5.719,41
Flytning af radiator og ændring af rør**:		5 stk.	a kr. 2.500,00	kr. 12.500,00
Sum total	**pr. hus**			**kr. 65.881,16**

Rentabilitet:

Beregnet årlig energibesparelse: kr. 2.520,00

Rentabelt hvis: $\frac{\text{årlig besparelse} \times \text{levetid af tiltag}}{\text{investering}} > 1{,}33$

=> $\frac{\text{kr. } 2.520{,}00 \times 40 \text{ år}}{\text{kr } 65.881{,}16} = 1{,}53$

Konklusion: Tiltaget er **RENTABELT**

**Det forudsættes at de nedrevne bygningsdele ikke indeholder miljøkritiske stoffer såsom PCB.*
*** Pris på flyt af radiator er overslag fra VVS-firma. Prisen pr. radiator forudsætter, at en "gren" af huse udføres samtidig.*

(C)PJH, 2016

2.5

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				
Side:	1 af 1	Dato:	14.05.2016	Beregnet af:	PJH

Simpel beregning af energibesp. og U-værdier - efterisoleret med: 195/145 mm, λ34 inde

Facadetyper og mængde:

Facade mod pergolagang:		
Betonelementer	8,7	m²
Betonsøjler	1,9	m²
Træbeklædning	2,7	m²
Facade mod grønt område:		
Betonelementer	11,7	m²
Betonsøjler	1,9	m²
Træbeklædning	3,0	m²
Facade mod nabohave:		
Betonelementer	22,7	m²
Betonsøjler	3,6	m²
Træbeklædning	3,7	m²
Betonelementer i alt pr. hus:	43,1	m²
Betonsøjler i alt pr. hus:	7,4	m²
Træbeklædning i alt pr. hus:	9,4	m²

U-værdier:

Konstruktion:	$U_{Eksist.}$:	U_{Ny}:	
Betonelementer	0,89	0,16	W/m²K
Betonsøjler	3,18	0,21	W/m²K
Træbeklædning	0,78	0,16	W/m²K

U-værdier for ydervægskonstruktion:

Andel:	Eksist. U-værdi:	Ny U-værdi:
85,3%	1,23 W/m²K	0,17 W/m²K
14,7%		
100%	0,78 W/m²K	0,16 W/m²K

Dør + træbeklæd. på facade mod pergolagang er ikke medtaget, da det anses udskiftet som særskilt parti.
Havefacade er ikke medtaget, da denne er efterisoleret tidligere.

Beregning:

Beregningsforudsætninger: Efter DS418, $\varphi_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_e)$
I dette tilfælde er besparelsen = $\Delta U \times A \times$ Graddage normalår $\times$ 24 t.

Konstruktion:	$U_{eksist.}$ W/m²K:	U_{ny} W/m²K:	ΔU W/m²K:	ΣA areal m²:	Graddage normalår:	Besparelse: (Δθ = Gd. × 24 t.)
Betonelementer mod pergolagang	0,89	0,16	0,73	8,7	3.112	474 kWh/år
Betonsøjler mod pergolagang	3,18	0,21	2,97	1,9	3.112	421 kWh/år
Træbeklædning mod pergolagang	0,78	0,16	0,62	2,7	3.112	125 kWh/år
Betonelementer mod grønt område	0,89	0,16	0,73	11,7	3.112	638 kWh/år
Betonsøjler mod grønt område	3,18	0,21	2,97	1,9	3.112	421 kWh/år
Træbeklædning mod grønt område	0,78	0,16	0,62	3,0	3.112	139 kWh/år
Betonelementer mod nabohave	0,89	0,16	0,73	22,7	3.112	1.238 kWh/år
Betonsøjler mod nabohave	3,18	0,21	2,97	3,6	3.112	799 kWh/år
Træbeklædning mod nabohave	0,78	0,16	0,62	3,7	3.112	171 kWh/år
Samlet energibesparelse pr. hus					=	4.427 kWh/år

Værdi af energibesparelse pr. hus: *FD Hvidovre fjv.:* *0,58 kr/kWh* + moms = 2.567 kr/år

(C)PJH 2016

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				Løsning 2.5
Side:	1 af 1	Dato:	18.05.2016	Beregnet af:	PJH

Prisbog: V&S Bygningsrenovering - Husbygning, Brutto - 2016 Prisindeksering: -
Priserne er pr. 1. januar 2016, ekskl. Moms, for geografisk område Sjælland ej hovedstadsomr.

Økonomi og rentabilitet for efterisolering af ydervæg: 195/145 mm inde, λ-kl. 34

Pris ID:	Beskrivelse:	Enhed/antal:		Enhedspris:		Estimeret pris:
Nedrivning*:						
(22)20.45, 01	Indervægge af træ + plade at nedrive	m²	52	kr. 145,00	kr.	7.540,00
(22)20.80,01	Isolering (50 mm) at udtage	m²	52	kr. 83,40	kr.	4.336,80
Ny konstruktion:						
(21)35.05,08	Træskelet 100x200 mm lev. og opsæt.	lb.m	23	kr. 283,98	kr.	6.531,54
(21)36.90,15	Isolering af træ.konstr., 195 mm, λ34	m²	60	kr. 218,80	kr.	13.128,00
(21)36.11,03	PE-folie 0,2 mm at opsætte på trækon.	m²	60	kr. 31,65	kr.	1.899,00
(42)15.25,06	Gipsplade 12,5 mm, dækket lag, opsat	m²	60	kr. 96,68	kr.	5.800,80
(42)15.25,04	Gipsplade 12,5 mm, synligt lag, opsat	m²	60	kr. 140,20	kr.	8.412,00
Samlet pris	**beregnet pr. hus**				**kr.**	**47.648,14**
Tillæg:						
Geografisk tillæg for hovedstadsområdet:		1,05			kr.	50.030,55
Arbejdspladsindretning og -drift:		12%			kr.	6.003,67
Flytning af radiator og ændring af rør**:		5 stk.	a	kr. 2.500,00	kr.	12.500,00
Sum total	**pr. hus**				**kr.**	**68.534,21**

Rentabilitet:

Beregnet årlig energibesparelse:					kr.	2.567,00
Rentabelt hvis:	årlig besparelse	×	levetid af tiltag		>	1,33
	investering					
=>	kr. 2.567,00	×	40 år		=	1,5
	kr 68.534,21					

Konklusion: Tiltaget er **RENTABELT**

**Det forudsættes at de nedrevne bygningsdele ikke indeholder miljøkritiske stoffer såsom PCB.*
*** Pris på flyt af radiator er overslag fra VVS-firma. Prisen pr. radiator forudsætter, at en "gren" af huse udføres samtidig.*

(C)PJH, 2016

3.1

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				
Side:	1 af 1	**Dato:**	14.05.2016	**Beregnet af:**	PJH

Simpel beregning af energibesp. og U-værdier - efterisoleret med: 40 mm hulrum

Facadetyper og mængde:

Facade mod pergolagang:	
Betonelementer	8,7 m²
Betonsøjler	1,9 m²
Facade mod grønt område:	
Betonelementer	11,7 m²
Betonsøjler	1,9 m²
Facade mod nabohave:	
Betonelementer	22,7 m²
Betonsøjler	3,6 m²
Betonelementer i alt pr. hus:	43,1 m²
Betonsøjler i alt pr. hus:	7,4 m²

U-værdier:

Konstruktion:	$U_{Eksist.}$:	U_{Ny}:	
Betonelementer	0,89	0,47	W/m²K
Betonsøjler	3,18	3,18	W/m²K

U-værdier for ydervægskonstruktion:

Andel:	Eksist. U-værdi:	Ny U-værdi:
85,3%	1,23 W/m²K	0,87 W/m²K
14,7%		

Dør + træbeklæd. på facade mod pergolagang er ikke medtaget, da det anses udskiftet som særskilt parti.
Havefacade er ikke medtaget, da denne er efterisoleret tidligere.

Beregning:

Beregningsforudsætninger: Efter DS418, $\varphi_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_e)$

I dette tilfælde er besparelsen $= \Delta U \times A \times$ *Graddage normalår* $\times$ *24 t.*

Konstruktion:	$U_{eksist.}$ W/m²K:	U_{ny} W/m²K:	ΔU W/m²K:	ΣA areal m²:	Graddage normalår:	Besparelse: (Δθ = Gd. × 24 t.)
Betonelementer mod pergolagang	0,89	0,47	0,42	8,7	3.112	273 kWh/år
Betonsøjler mod pergolagang	3,18	3,18	0,00	1,9	3.112	0 kWh/år
Betonelementer mod grønt område	0,89	0,47	0,42	11,7	3.112	367 kWh/år
Betonsøjler mod grønt område	3,18	3,18	0,00	1,9	3.112	0 kWh/år
Betonelementer mod nabohave	0,89	0,47	0,42	22,7	3.112	712 kWh/år
Betonsøjler mod nabohave	3,18	3,18	0,00	3,6	3.112	0 kWh/år
Samlet energibesparelse pr. hus					=	1.352 kWh/år

Værdi af energibesparelse pr. hus: *FD Hvidovre fjv.:* *0,58 kr/kWh* + moms = 784 kr/år

(C)PJH 2016

Projekt:	Masterspeciale 2016 - Efterisolering af ydervægge				**Løsning 3.1**
Side:	1 af 1	**Dato:**	18.05.2016	**Beregnet af:**	PJH

Prisbog: V&S Bygningsrenovering - Husbygning, Brutto - 2016 Prisindeksering: -

Priserne er pr. 1. januar 2016, ekskl. Moms, for geografisk område Sjælland ej hovedstadsomr.

Økonomi og rentabilitet for efterisolering af ydervæg: 40 mm hulrum

Pris ID:	Beskrivelse:	Enhed/antal:		Enhedspris:		Estimeret pris:
Nedrivning*:						
Ny konstruktion:						
(21)36.64,01	Hulmursisolering, kl. 38 lev./udføre	m²	43	kr. 76,90	kr.	3.306,70

Samlet pris	**beregnet pr. hus**	**kr.**	**3.306,70**
Tillæg:			
Geografisk tillæg for hovedstadsområdet:	1,05	kr.	3.472,04
Arbejdspladsindretning og -drift:	12%	kr.	416,64
Sum total	**pr. hus**	**kr.**	**3.888,68**

Rentabilitet:

Beregnet årlig energibesparelse: kr. 784,00

Rentabelt hvis: $\frac{\text{årlig besparelse} \times \text{levetid af tiltag}}{\text{investering}} > 1{,}33$

=> $\frac{\text{kr. } 784{,}00 \times 40 \text{ år}}{\text{kr } 3.888{,}68} = 8{,}06$

Konklusion: Tiltaget er **RENTABELT**

**Det forudsættes at de nedrevne bygningsdele ikke indeholder miljøkritiske stoffer såsom PCB.*

(C)PJH, 2016

B.10 Energibesparelse ift. isoleringstykkelser

Varmetabsberegning:
Efterisolering af uisoleret ydervæg af 4 cm betonelementer
Beregningsforudsætninger: Efter DS418, $\varphi_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_e)$

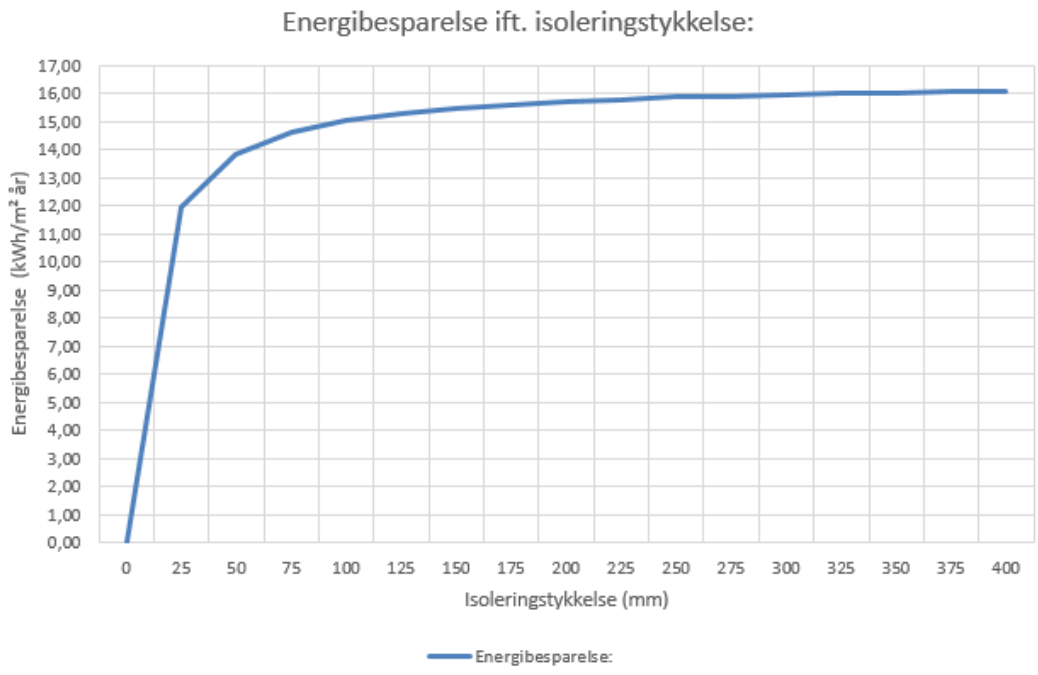
Varmepris: kr. 0,58 /kWh (ex. moms)
Levetid: 40 år

U-værdi: 5,29 W/m²K

Priser på Rockwool Flexibatts (Knud Larsen, 11/5-2016)			
Tykkelse:	Pakkepris:	m² /pk.:	Pris /m²:
45 mm	kr. 79,98	6,56	kr. 12,19 ex. moms
70 mm	kr. 79,94	4,378	kr. 18,26 ex. moms
95 mm	kr. 79,97	3,352	kr. 23,86 ex. moms
120 mm	kr. 79,95	2,234	kr. 35,79 ex. moms
145 mm	kr. 79,95	2,234	kr. 35,79 ex. moms
195 mm	kr. 79,95	1,676	kr. 47,70 ex. moms

Beregning:

Isoleringstykkelse, ubrudt (mm)	$U_{eksist.}$ W/m²K:	U_{ny} W/m²K:	ΔU W/m²K:	Graddage norm.år:	Energibesparelse:	Værdi af besparelse:	Stigning:	Isolerings-pris:	Merpris:	Simpel ROI:
0	5,29	5,29	0,00	3112	0,00 kWh/m² år	kr. - /m² år	kr. -			
25	5,29	1,45	3,84	3112	11,95 kWh/m² år	kr. 6,93 /m² år	kr. 6,93	kr. 6,10	kr. 6,10	0,9 år
50	5,29	0,84	4,45	3112	13,85 kWh/m² år	kr. 8,03 /m² år	kr. 1,10	kr. 12,19	kr. 6,10	1,5 år
75	5,29	0,59	4,70	3112	14,63 kWh/m² år	kr. 8,48 /m² år	kr. 0,45	kr. 18,26	kr. 6,07	2,2 år
100	5,29	0,46	4,83	3112	15,03 kWh/m² år	kr. 8,72 /m² år	kr. 0,23	kr. 23,86	kr. 5,60	2,7 år
125	5,29	0,37	4,92	3112	15,31 kWh/m² år	kr. 8,88 /m² år	kr. 0,16	kr. 35,79	kr. 11,93	4,0 år
150	5,29	0,31	4,98	3112	15,50 kWh/m² år	kr. 8,99 /m² år	kr. 0,11	kr. 35,79	kr. -	4,0 år
175	5,29	0,27	5,02	3112	15,62 kWh/m² år	kr. 9,06 /m² år	kr. 0,07	kr. 42,12	kr. 6,33	4,6 år
200	5,29	0,24	5,05	3112	15,72 kWh/m² år	kr. 9,12 /m² år	kr. 0,05	kr. 47,70	kr. 5,59	5,2 år
225	5,29	0,21	5,08	3112	15,81 kWh/m² år	kr. 9,17 /m² år	kr. 0,05	kr. 54,05	kr. 6,35	5,9 år
250	5,29	0,19	5,10	3112	15,87 kWh/m² år	kr. 9,21 /m² år	kr. 0,04	kr. 59,90	kr. 5,85	6,5 år
275	5,29	0,18	5,11	3112	15,90 kWh/m² år	kr. 9,22 /m² år	kr. 0,02	kr. 65,96	kr. 6,07	7,2 år
300	5,29	0,16	5,13	3112	15,96 kWh/m² år	kr. 9,26 /m² år	kr. 0,04	kr. 71,56	kr. 5,60	7,7 år
325	5,29	0,15	5,14	3112	16,00 kWh/m² år	kr. 9,28 /m² år	kr. 0,02	kr. 83,49	kr. 11,93	9,0 år
350	5,29	0,14	5,15	3112	16,03 kWh/m² år	kr. 9,30 /m² år	kr. 0,02	kr. 83,49	kr. -	9,0 år
375	5,29	0,13	5,16	3112	16,06 kWh/m² år	kr. 9,31 /m² år	kr. 0,02	kr. 89,82	kr. 6,33	9,6 år
400	5,29	0,12	5,17	3112	16,09 kWh/m² år	kr. 9,33 /m² år	kr. 0,02	kr. 95,41	kr. 5,59	10,2 år



B.11 Udvalgte datablade

B.11.1 Isoleringsmaterialer

B.13.1.1 Rockwool Flexibatts (uddrag af produktblad)

ROCKWOOL®
BRANDSIKKER ISOLERING

CREATE AND PROTECT®
Printed 05-05 2016 13:56

FLEXIBATTS

TEKNISKE EGENSKABER

Område	Beskrivelse	Standard
Varmeledningsevne	λ_D = 37 mW/mK	EN 13162
Varmemodstandsevne	mm: 45, 70, 95, 120, 145, 170, 195, 220, 245 m^2K/W: 1,22, 1,89, 2,57, 3,24, 3,92, 4,59, 5,27, 5,95, 6,62	EN 12667
Brandklasse	Euroklasse A1	EN 13501-1
Fugt	Diffusionstal = MU1 (Samme diffusionsmodstand som luft)	EN 12086
	Kapillarsugning = 0 m	
Vandabsorption	Kort tid, WS ≤ 1 kg/m²	EN 1609
Produktcertifikat	Certifikat	

B.11.1.2 Rockwool

SUPER VENTI-BATTS

SUPER VENTI-BATTS

PRODUKT

ROCKWOOL SUPER VENTI-BATTS er en isoleringsplade, der er specielt udviklet til isolering bag ventilerede pladebeklædninger. ROCKWOOL SUPER VENTI-BATTS er sammensat, så toplaget på isoleringen udgør en vindspærre. ROCKWOOL SUPER VENTI-BATTS er en stiv og hård isoleringsplade, der er fremstillet af fugt- og vandafvisende ROCKWOOL stenuld. Kan leveres med hvid og sort glasvlies.

TEKNISKE EGENSKABER

Område	Beskrivelse	Standard
Varmeledningsevne	λ_D = 34 mW/mK	EN 13162
Varmemodstandsevne	mm: 75, 100, 125, 150, 200 m^2K/W: 2,21, 2,94, 3,68, 4,41, 5,88	EN 12667
Brandklasse	Euroklasse A1	EN 13501-1
Fugt	Diffusionstal = MU1 (Samme diffusionsmodstand som luft)	EN 12086
	Kapillarsugning = 0 m	
Vandabsorption	Kort tid, WS ≤ 1 kg/m²	EN 1609
	Lang tid, WL(P) ≤ 3 kg/m²	EN 12087
Produktcertifikat	Certifikat	

B.11.1.3 Weber/Isover Facadekoncept Plade (uddrag af produktblad)

weber
SAINT-GOBAIN

ISOVER Facadekoncept Plade

DB-nr. 1424999-5005

Hårde isoleringsplader, der er specialfremstillet til ISOVER Facadekoncept. Anvendes hvor mekanisk fastholdelse er påkrævet.

PRODUKTBESKRIVELSE

ISOVER Facadekoncept Plade er en hård stiv glasuldplade, fremstillet af imprægneret glasuld.

ISOVER Facadekoncept Plade er produceret med en deklareret lambdaværdi på 37 mW/m•K for tykkelser ≤ 100 mm og med en lambdaværdi på 38 mW/m•K for tykkelser > 100 mm.

TEKNISKE DATA

Deklarerede værdier iht. EN 13162

	Enhed	Værdi		Bemærkning
Lambda	W/m•K	≤ 100 37	≥ 105 38	
Brand		A2-s1, d0		Ubrændbar
Tykkelsestolerancer		T5		- 1% el. 1 mm/+ 3 mm For nedre grænse vælges største tolerance. For øvre grænse vælges mindste tolerance.
Fugt	kg/m²	< 1		Korttidsvandoptage... WS iht. EN 1609
Densitet	kg/m³	Ca. 76		
Anvendelsestempe...	°C	Maks. 250		
Format	mm	600 x 900		

PRODUKTSPECIFIKATION

Tykkelse/mm	Lambda D/ W/m•K	m²/enhed	Varenr.	DB-nr.
50	0,037	4,32	29004050	1424999
80	0,037	2,70	29004080	1425000
100	0,037	2,16	29004100	1425001
120	0,038	1,62	29004120	1425002
150	0,038	1,08	29004150	1425003
160	0,038	1,08	29004160	
180	0,038	1,08	29004180	1425004
200	0,038	1,08	29004200	1425005