



AALBORG UNIVERSITET
KØBENHAVN

Studenterrapport

Uddannelse:

Master i Bygningsfysik

Semester:

4. semester

Titel på masterprojekt:

Energirenovering af parcelhuse fra 1960'erne og -70'erne

Projektperiode:

1. februar – 1. juni 2018

Vejleder:

Seniorforsker, Ernst Jan de Place Hansen

Bivejleder:

Seniorforsker, Jørgen Rose

Studerende:

Tetyana Larina

Antal normalsider: 53

Vedlagt kvittering fra Digital Eksamen

Afleveringsdato:

1. juni 2018

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

Resume:

38% af alle enfamiliehuse i Danmark er opført i årene fra 1960 til 1979, svarende til 17 % af alle boliger. De fleste af disse er opført af store typehusfirmaer eller af mindre håndværksevirkksomheder ud fra arkitekttegnede standardprojekter. Husene står foran en snarlig større renovering fordi konstruktionernes levetid er ved at være opbrugt og energiforbruget i eksisterende bygninger skal reduceres aht. Danmarks klima- og energipolitik om uafhængighed af fossile brændsler i 2050. Kan det anbefales at erstatte husene med nybyggede eller er der potentiale i og mulighed for at opdatere konstruktioner, installationer og varmekilde svarende til renoveringsklasse 1 og 2, jf. BR 2018?

I projektet beskrives typiske konstruktioner i parcelhuse fra 1960 – 1979 og de mest energibesparende og lettilgængelige renoveringsforslag undersøges. Kan et fornuftigt indeklima sikres eller vil større lufttæthed og lavere energiforbrug fx. give højere fugtighed indendørs eller mindre varmetilskud til uopvarmede områder? Hvornår er det økonomisk mest rentabelt at bygge nyt eller renovere? I Be15 bestemmes det samlede energibehov før og efter efterisolering af et typisk parcelhus, mens fugtforholdene efter efterisolering undersøges i WUFI. Resultaterne sammenholdes med forholdene i et nybygget parcelhus. Det overvejes at analysere indeklimaet med BSIm samt at sammenholde bæredygtigheden af at renovere eller nedrive/genbruge.



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Energirenovering af parcelhuse fra 1960'erne og -70'erne



Masterprojekt

Master i bygningsfysik

Udarbejdet af: Tetyana Larina

Afleveret d.1. juni 2018

Indholdsfortegnelse

1. Resumé.....	4
2. English summary.....	5
3. Indledning.....	6
4. Afgrænsning	7
5. Baggrund, teori og lovgivning	8
5.1. Historisk baggrund.....	8
5.2. Lovgivning fra 60'erne til i dag	10
5.3. Varmetransport, U-værdi og linjetab	13
5.4. Efterisolering – tre typer	15
5.5. Kuldebroer	17
6. Metoder og materialer	19
6.1. Fugtberegninger i WUFI.....	19
6.2. Beregninger i Be18	21
7. Beskrivelse og beregninger for et gennemsnitligt hus inden renovering	22
7.1. Den generiske model – konstruktioner inden renoveringen.....	22
7.2. Ydervæg.....	24
7.3. Terrændæk	26
7.4. Loft og tag.....	28
7.5. Vinduer	29
7.6. Linjetab	30
7.7. Ventilation	31
7.8. Opvarmning og varmt brugsvand	32
8. Beskrivelse og beregning af konstruktioner efter renovering.....	33
8.1. Vinduer	33
8.2. Loft og tag.....	34
8.3. Ydervæg.....	40
8.4. Terrændæk	56
8.5. Linjetab	58
8.6. Ventilation	59
8.7. Opvarmning og varmt brugsvand	60
8.8. Solceller og vedvarende energi	60
8.9. Resultater	61
9. Diskussion.....	64
9.1. Sammenligning af energibehovet i det generiske hus efter renoveringen med et nyt hus	64
9.2. Indeklima	66
9.3. Bæredygtighed	67
9.4. Økonomi	69
9.5. Politisk indflydelse	71
10. Konklusion.....	72
11. Bibliografi	74
12. Bilag.....	76

1. Resumé

38% af alle enfamiliehuse i Danmark er opført i årene fra 1960 til 1979. Husene står foran en snarlig større renovering fordi konstruktionernes levetid er ved at være opbrugt og energiforbruget i eksisterende bygninger skal reduceres, som følge af regeringens klima- og energipolitik. Regeringen har et langsigtet mål om at gøre landet uafhængig af fossile brændsler i 2050. Hvis regeringens mål skal nås, kan dette kun lykkedes hvis der sker en forbedring og optimering af den eksisterende boligmasse i hele landet, som enfamiliehuse opført i 1960'erne-1970'erne udgør 17 % af.

I rapporten, som tager udgangspunkt i parcelhuse opført i perioden fra 1960 til 1979, er der undersøgt de karakteristiske konstruktioner og de tiltag, som kan gennemføres for at reducere husenes energibehov. Beregninger og simuleringer i rapporten baseres på et generisk hus, som har samme størrelse, konstruktioner og installationer, som et gennemsnitligt hus fra 1960'erne-1970'erne. For at vurdere de forskellige energireducerende tiltag, er der foretaget beregninger af konstruktionernes isoleringsevne og husets varmebehov før og efter optimering. Fugtsikkerhed ved de forskellige løsninger er vurderet ved fugtsimuleringer i beregningsprogrammet WUFI.

I rapporten undersøges de tiltag, som skal gennemføres for at opnå Renoveringsklasse 1 og 2 jf. Bygningsreglement 2018, samt de tiltag, som yderligere kan reducere husets energibehov til et niveau, svarende til et nyt parcelhus. Disse beregninger er udført ved brug af beregningsprogrammet Be18.

Samlet energibehov for det generiske hus er beregnet til 149,1 kWh/m² pr. år. Ved at gennemføre de anbefalede i rapporten tiltag, kan dette reduceres til under 37,0 kWh/m² pr. år, som er den beregnede grænseværdi for energiramme i BR 2018.

Beregningerne viser, at det er relativt nemt at reducere energibehovet i parcelhuse fra 1960'erne-1970'erne, som skyldes, at husene generelt har en simpel geometri, ventileret uudnyttelig tagetage og murede facader uden nogen form for udsmykning. F.eks. udskiftning af vinduer til vinduer med 3-lags glas og gasfyldning kan reducere husets varmebehov med 24%, og udvendig efterisolering med 12 %.

Renoveringsklasse 2 kan opnås ved udskiftning af gamle vinduer til nye vinduer med 3-lags glas og gasfyldning, eller ved udskiftning til vinduer med 2-lags glas og efterisolering af loft med 100 mm mineraluld. For at reducere energibehovet til det der svarer til Renoveringsklasse 1, skal der gennemføres flere tiltag, som f.eks. nye vinduer med 3-lags glas og gasfyldning, udvendig efterisolering af ydervæg og sokkel, efterisolering af loft og udskiftning af isolering i terrændækket og installation af et ventilationsanlæg med varmegenvinding. For at reducere varmebehovet yderligere og komme ned på niveauet med et nyt hus, kan der installeres solceller, eller en anden form for "gratis" energi.

Det er billigere og mere bæredygtigt at efterisolere et parcelhus fra 1960'erne-1970'erne end at rive det ned og bygge et nyt i stedet for. Til gengæld skal det nøje overvejes, når der skal vælges mellem at købe et hus, som skal energirenoveres, eller at bygge et nyt hus på en parcelhusgrund. Det ser nemlig ud til at omkostninger forbundet med de to løsninger ligger på samme niveau, hvis der regnes med et gennemsnitligt hus og parcelhusgrund i Region Sjælland.

2. English summary

38% of all single-family houses in Denmark are built in the years from 1960 to 1979. These houses are soon going to be renovated, because the constructions' life is almost expired, and the energy consumption of existing buildings must be reduced due to the government's climate and energy policy. The governments long-term goal to make the country independent of fossil fuels by 2050. Government's goal cannot be archived without the improvement and optimization of the existing housing stock throughout the country, where 17% represents by single-family houses from the 1960s-1970s.

In this report, based on single-family houses built in the period from 1960 to 1979, the characteristic constructions and actions for reduction of the energy needs of the houses has been investigated. Calculations and simulations in this report are based on a generic house, that has the same size, designs and installations, as an average house from the 1960s to 1970s. Calculations of the insulation capacity of the constructions and the heating requirements of the house have been calculated before and after optimization. Moisture safety is assessed in moisture simulation program called "WUFI".

This report studies the actions needed to reach Renovation Classes 1 and 2, according to Building Regulations 2018, and also the necessary actions to reduce the house's energy consumption to a level equal to a new single-family house. These calculations have been done by using the calculation program Be18.

The total energy needs for the generic house has been calculated as 149.1 kWh/ m² per year. By making the recommended actions, it can be reduced by under 37.0 kWh / m² per. year, which is a requirement for the energy framework in Building Regulations 2018.

The calculations show that it is relatively easy to reduce the energy demand in single-family houses from the 1960s to 1970s, due to the fact that the houses generally have a simple geometry, ventilated unusable roofs and walled facades without any decoration. New windows with 3-layer glass and the gas filling may reduce heating requirement in the house with 24%, and exterior insulation will reduce the heating requirement with 12%.

Renovation class 2 can be achieved by replacing old windows with new with 3-lays glass and gas filling, or by replacing windows with 2-lays glass windows and ceiling insulation with 100 mm mineral wool. To reduce energy requirement to Renovation Class 1, more actions must be taken, such as new windows with 3-lays glass and gas filling, external insulation of outer wall and shelf, after-insulation of ceiling and replacement of insulation in the terrain deck and installation of a ventilation plant with heat recovery. Solar cells or others forms for "free" energy can be installed, to reduce further the heat requirements and reach the level of a new house.

It is cheaper and more sustainable to make an energy optimization of a single-family house from 1960s-1970s than to demolish it and build a new one instead. On the other hand, you have to calculate carefully when you choose between buying a house, which need to be renovated or building a new type house on detached house's ground. It seems that the costs of these two solutions are at the same, if consider an average house and detached house ground in Region Zealand.

3. Indledning

Denne rapport er udarbejdet som et afgangsprøve i forbindelse med min uddannelse til Master i Bygningsfysik ved Aalborg Universitet i København i perioden fra efterår 2016 til forår 2018.

Projektet omhandler parcelhuse opført i perioden fra 1960 til 1979. Perioden er blandt andet kendt for byggebom i Danmark og ikke mindre end en tredjedel af alle danske enfamiliehuse er opført i disse år. Parcelhuskvartererne skød op overalt i landet. I Københavnsområdet har de nye boligkvarterer typisk været opført rundt om de tidligere opførte villakvarterer. I 1947 blev der udarbejdet en plan for Københavns udvikling – Fingerplanen, som beskriver byens udvikling i form af ”fingre”, som følger S-banen og med grønne områder mellem fingrene. Derfor følger mange parcelhuskvarter, som opført i 1960'erne-1970'eren, planen og ligger langs S-banens linjer. (Wikipedia, u.d.)

De fleste parcelhuse fra den tid er opført af typehusfirmaer, som typehuse med nogenlunde samme konstruktionsløsninger og materialer, eller af mindre håndværkssvirksomheder ud fra arkitekttegnede projekter. På nuværende tidspunkt står disse huse foran en større renovering, dels fordi konstruktionernes levetid er ved at være nået, og dels fordi energiforbruget skal reduceres. Energiforbruget har en direkte forbindelse til Danmarks klima- og energipolitik, som indeholder en målsætning om, at landet skal være uafhængigt af fossile brændsler i 2050.

Formålet med rapporten er at undersøge parcelhuse fra den valgte periode og finde typiske konstruktioner, undersøge og vurdere mulighederne for energirenovering, finde efterisoleringsløsninger, som både er fordelagtig i forhold til varmetabsreduktion, fugtforholdene inde i konstruktionerne og økonomien. Der undersøges hvilke tiltag der skal gennemføres for, at bygningen kan opnå de frivillige Renoveringsklasse 1 og 2, som fremgår af Bygningsreglement 2018.

Større energirenoveringer er ofte forbundet med høje omkostninger, derfor vælge nogen at rive deres gamle hus ned og opføre et nyt og energivenligt i stedet for. Omkostninger til renoveringen sammenlignes med økonomien til nedrivning af et typisk parcelhus fra 1960'erne-1970'erne og opførelse af et nyt.

Opgaveløsningen starter med et undersøgelsesarbejde, som har til formål at fastsætte de typiske konstruktioner, som findes i husene fra 1960'erne-1970'erne og beskriver et gennemsnitligt hus, herunder størrelse, konstruktioner, opvarmningsform og ventilation. Disse grunddata anvendes til at opbygge en BE18 referencemodel. Derefter fastlægges energirenoveringsløsninger, som kan reducere varmetab gennem konstruktioner uden at går på kompromis med fugtsikkerhed. Til sidst diskuteres de opnåede resultater i forholdt til indeklimaet efter renoveringen, økonomien i renoveringen contra at bygge et nyt hus og bæredygtighed af renovering contra nedrivning.

Rapporten kan opdeles i tre dele. Den første del er den teoretiske del og omhandler lovgivning fra 1960'erne til i dag, beskrivelse af de begreber og beregninger, som anvendes i rapporten og fortælling om de konstruktioner, som mødes i parcelhusene. Den anden del indeholder beregninger af de eksisterende konstruktioner og beregninger og simuleringer af de mulige efterisoleringsløsninger. I den tredje del af rapporten diskuteres de undersøgte efterisoleringsmuligheder i forhold til indeklima, bæredygtighed og økonomi.

Rapportens målgruppe er boligejere, rådgiver og øvrige parter, som arbejder eller søger mere viden om energirenovering af parcelhuse fra 1960-1979.

4. Afgrænsning

Selv om emnet er begrænset til enfamiliehuse fra de valgte årgange, så er der stadigvæk mange faktorer som kan spille ind og være afgørende i forhold til de endelige løsninger, der bliver valgt. Der er derfor valgt at se bort fra mulig forekomst af forurenede byggematerialer i de eksisterende huse og håndtering af disse forureninger.

I denne rapport vil der fokuseres på udvendig og indvendig efterisolering, idet der forventes at hulmursisolering er allerede udført.

Rapporten tager udgangspunkt i en generisk model af et parcelhus fra 1960'erne-1970'erne. Det regnes med at huset har været løbende vedligeholdt. De eventuelle revner i murværket og terrændækket, utætheder i tagdækning, opstigende grundfugt og andre skader skal være udbedret inden eller i forbindelse med efterisoleringsarbejde og behandles ikke i denne rapport.

De energirenoveringsforslag, som behandles i rapporten, tager udgangspunkt i de moderne byggeløsninger og nutidens byggematerialer, med det formål at vise energirenoveringsforslag, som er realistiske til at udfører i de fleste parcelhuse fra den udvalgte tidsperiode.

Det var ikke muligt at finde præcise oplysninger om fjernvarmeinstallationer i parcelhusene fra 1960'erne-1970'erne. Der er derfor valgt at gennemføre beregninger, som tager udgangspunkt i tekniske installationer med gennemsnitlige værdier. Værdierne for installationerne er slået op i Håndbog for energikonsulenter. (Håndbog for energikonsulenter, 2014)

5. Baggrund, teori og lovgivning

Dette afsnit indeholder de teoretiske oplysninger, som er nødvendige for bedre forståelse af rapporten, herunder historisk baggrund og lovgivning fra 1960'erne til i dag, forklaring af bygningsfysiske begreber og beregninger som anvendes til at vurdere effektivitet og fugtrobusthed af de udvalgte efterisoleringsløsninger.

5.1. Historisk baggrund

Besættelsestiden i Danmark karakteriseres med en lav byggeaktivitet. Og i 1940'erne og 1950'erne levede de fleste danskere i meget små boliger. De moderne boliger, som blev bygget for at løse problemerne, havde form af almenboligbyggeri. Men for mange familier var de alt for dyre. (Danmarks historien , 2018)

Omkring 1958 nåede den vestlige højkonjunktur Danmark. Arbejdsløsheden og økonomiske vanskeligheder, som var gældende i 1950'erne, blev erstattet af en kraftig økonomisk fremgang i 1960'erne. (Danmarks historien , 2018) Mange familier fik nu råd til at købe et hus, dette havde skabt en stor efterspørgsel på boligmarkedet. For at imødekomme det stigende behov, skulle der tænkes og bygges mere struktureret og industrialiseret end før. Denne udvikling resulterede i, at der skete en meget hurtig omstilling af dansk byggeri fra en meget traditionel håndværksmæssig proces til en byggemåde, som minder meget om industriel produktion. (www.denstoredanske.dk, 2018) Denne proces resulterede i en eksplosiv opførelse af typehuse i store parceller rundt om de store byer. Et typehus fra 1960'erne-1970'erne kendetegnes ved anvendelse af præfabrikerede og fabriksfremstillede elementer, f.eks. mursten, letbeton, isoleringsmaterialer, træspærre og bjælker, som gjorde at et råhus kunne rejses på få dage.



Figur 1 Billede af et typehus fra 1960'erne-1970'erne. Kilde: Bolius.

”Typehuset fra 1960'erne og 1970'erne er det mest almindelige enfamiliehus i Danmark. Det er som regel opført i gule mursten, har store termovinduer mod haven og sort eternittag med lav hældning”, med de sætninger starter artikel om typehuse fra 1960 til 1980 på www.bolius.dk, som beskriver meget præcis husenes generelle træk. Husenes arkitekturer har ofte været prioriteret en del lavere end funktionalitet. De fleste huse er opførte som længde- eller vinkelhuse. Husenes gennemsnitlige størrelse ligger på omkring 130-150 m² og indeholder en stor opholdsstue med glaspartier mod have, køkkenet mod forhaven eller vejen,

et større soveværelse og to mindre børneværelser, et badeværelse, bryggers og et gæstetoilet. (www.bolius.dk, 2018). Kvaliteten af husets indretning svinger meget fra meget vellykkede løsninger med minimal spildeplads og rummelige lyse værelser til mindre gode – med en lang mørk gang og små rum.

Typehuse fra 1960'erne-1970'erne er meget populære i dag. Dette skyldes af deres beliggenhed i godt etablerede børnevenlige kvarterer, kort afstand til offentlig transport og relativ lav kvadratmeterpris i forhold til huse, som har været opført tidligere eller senere.

5.2. Lovgivning fra 60'erne til i dag

I årene fra 1960 til 1979 har der eksisteret fire bygningsreglementer, som er kommet i henholdsvis 1961, 1966, 1972 og 1977. Det første landsdækkende bygningsreglement kom i 1961 og hermed var der fastsat de første krav til isoleringsstandard i bygningsdele. Alle bygningsdele skulle overholde de fastsatte maksimale værdier for transmissionstallet k , som måles i enheden $W/m^2 \cdot ^\circ C$. Transmissionstallet k , benævnes i dag som U-værdi.

I forbindelse med bygningsreglementet 1977 blev varmeisoleringskravet skærpet væsentligt, dog trådte kravene først i kraft 1. februar 1979 og forventes derfor ikke at have haft indflydelse på konstruktioner i parcelhusene fra 1960 til 1979. Tabel 1 viser udviklingen i krav til U-værdier fra Bygningsreglementet 1961 til 1982, samt krav til nybyggeri og ombygning i det gældende Bygningsreglement. Som det fremgår af tabellen, så kravene til varmetab gennem bygningsdele er blevet skærpet væsentligt fra 1961 til i dag.

U-værdi, $W/m^2 K$	BR 61/72	BR 77/82	BR18	BR18, ombygning
Ydervæg, tung	1,0	0,4/0,35	0,3	0,18
Ydervæg, let	0,6	0,3	0,3	0,18
Terrændæk	0,45	0,3	0,2	0,10
Loft/tag	0,45	0,2	0,2	0,12
Flade tage / skrå- vægge mod tag	-	-	0,2	0,12
Etageadskillelse mod uopvarmet rum	0,6	0,4	0,4	0,4
Vinduer	2,9	2,9	$E_{ref} = -17 kWh/m^2$	$E_{ref} = -17 kWh/m^2$

Tabel 1 Oversigt over krav til u-værdier i bygningsreglementerne 1961/72, 1977/82 og nutidens krav til nybyggeri og ombygning if. BR 18.

Det gældende bygningsreglement indeholder krav til mindste varmeisolering ikke kun for nybyggeri, men også for ombygning. U-værdier for nybyggeri er generelt højere, end de værdier som gælder ved renovering. Til gengæld i forbindelse med nybyggeri stilles der yderligere et energirammekrav. Herved gives der mulighed for en større frihed til at designe bygningens konstruktioner, så længe bygningen samlet set overholder kravet til det samlede energibehov. Høje krav til konstruktionernes U-værdier ved ombygning og renovering sikrer at de nye konstruktioner er godt isoleret, selv om der ikke stilles krav til bygningernes samlet energibehov.

I BR18 i forbindelse med nybyggeri, stilles der krav til mindste varmeisolering, det maksimale linjetab, det dimensionerede transmissionstab pr. m^2 klimaskærm eksklusive vinduer og døre, og krav til det samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand pr. m^2 . Linjetab beskriver det varmetab, som opstår som følge af kuldebroer, som for eksempel samlinger mellem konstruktionsdele i klimaskærmen. Tabel 2 indeholder kravet til linjetab if. BR 18 (Bygningsreglement 2018, 2018)

Linjetab Ψ , W/mK	BR 18	BR 18, ombygning
Fundamenter	0,4	0,12
Samlinger mellem ydervæg, vinduer eller yderdøre, porte og lemme	0,06	0,03
Samling mellem tagkonstruktion og ovenlysvinduer eller ovenlyskupler	0,2	0,1

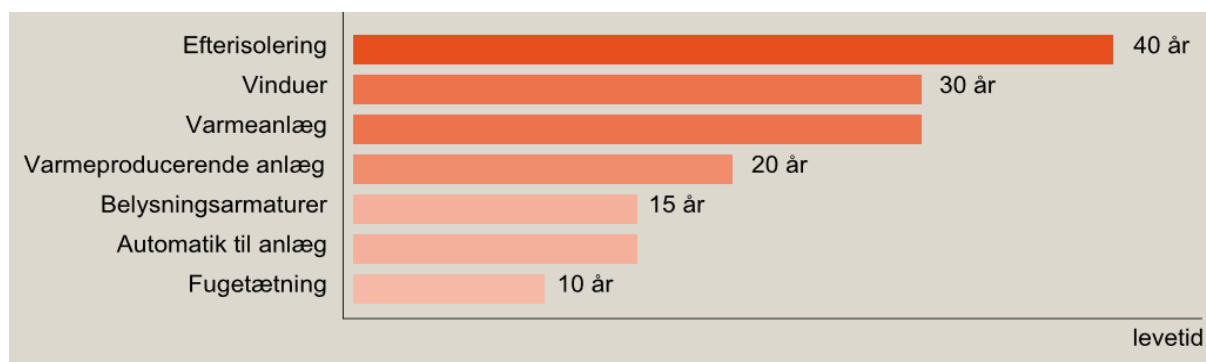
Tabel 2 Krav til linjetab if. Bygningsreglement 2018.

Når der er tale om renoveringer, så siger §274 i BR18, at der skal gennemføres energibesparelser i det omfang, de er rentable og ikke medfører risiko for fugtskader.

Rentabiliteten ved energirenovering beregnes ud fra følgende formel:

$$\frac{\text{Levetiden} * \text{besparelsen}}{\text{invistering}} \geq 1,33$$

Bygningsdelens forventet levetid kan normalt fastlægges ud fra Bygningsreglementets vejledning om energiforbrug.



Figur 2 Levetider, som kan anvendes ved beregning af rentabilitet. Kilde: Bygningsreglementets vejledning om energiforbrug, kap. 4.0.

Når resultatet af rentabilitetsberegningen er større end 1,33, anses tiltaget for rentabelt. Dette svarer til, at foranstaltningen skal være tilbagebetalt indenfor 75% af levetid og skal gennemføres. Hvis ombygningen ikke er rentabel, skal der undersøges om en mindre ombygning kan være rentabelt. (Bygningsreglement 2018, 2018).

Renoveringsklasse 1 og 2

Energikravene kan enten overholdes ved at efterkomme kravene til U-værdier og linjetab til de enkelte konstruktioner eller ved at følge de frivillige renoveringsklasser for eksisterende bygninger.

Der findes to renoveringsklasser 1 og 2. For anvendelse af renoveringsklasser for eksisterende bygninger, skal følgende grundlæggende krav være overholdt:

- Energibehovet skal mindst reduceres med 30 kWh/m² pr. år.
- Eftervisning skal ske iht. SBI-anvisning 213 Bygningers energibehov
- Der skal være en andel af vedvarende energi i den samlede energiforsyning til bygninger.

Renoveringsklasse 1 anvendes som en betegnelse for en omfattende renovering, som kraftig reducerer energibehovet og sørger for et godt indeklima i bygningen. For at opnår renoveringsklasse 1 skal bygningens energibehov efter renoveringen være mindre end energiramme kWh/m² pr. år:

- for boliger, kollegier mv. 52,5 + 1650/areal,
- for kontorer, skoler mv. 71,3 + 1650/areal,

som svarer til energimærke A2010.

For at opnår renoveringsklasse 1 skal bygningerne, udover krav til energirammen, overholde krav til indeklimaet i §§382-384, 386, 443-449:

- Der skal gennemføres en funktionsafprøvning af belysningsanlægget før ibrugtagning.

- Der skal sikres tilfredsstillende termisk indeklime i opholds-zoner.
- Enfamilieshuse kan ventileres ved naturlig eller en kombination af naturlig- og mekanisk ventilation med en udeluftstilførsel på mindst 0,3 l/s pr. m² opvarmet etageareal.
- Køkkener i boliger skal forsynes med emhætte, med udsugninger som kan forøges til mindst 20 l/s. Udsugninger fra bade- og wc-rum i boliger skal kunne forøges til mindst 15 l/s.
- Der skal kunne udsuges mindst 10 l/s fra kældere i enfamilieshuse og i andre bygninger skal ventilation dimensioneres efter rummets størrelse og anvendelse.
- Andre rum skal ventileres med hensyn til rummets størrelse og anvendelse.

Renoveringsklasse 2 anvendes til at give større frihed til valg af konstruktionsløsninger i forbindelse med energirenovering, i stedet for de specifikke isoleringskrav, som stilles i BR 18 kap. 11 §274-279 til de enkelte bygningsdele. For at en bygning kan opnå renoveringsklasse 2, skal bygningens totale energibehov være mindre end kWh/m² pr. år:

- for boliger, kollegier mv. 110 + 3200/areal,
- for kontorer, skoler mv. 135 + 3200/areal,

som svarer til energimærke C.

Ventilation

De fleste af husene fra den udvalgte tidsperiode har naturlig ventilation gennem aftrækskanaler i køkken, badeværelse, toilet og manuel åbning af vinduer og døre, ud over det sker luftskifte gennem utætheder i klimaskærmet – infiltration. Bygningsreglement 1961 stillede krav til, at i beboelsesrum, køkkener, baderum, wc-rum mv. skulle der fremskaffes mulighed for den nødvendige ventilation. Der skulle sikres den nødvendige frisklufttilførsel i forbindelse med naturligt aftræk eller mekanisk udsugning. Kravet til ventilation i BR61 kunne opfyldes på følgende vis:

- naturlig aftrækskanal på 200 cm² i tværsnit eller mekanisk udsugning med 60 m³/h, som svarer til 16,7 l/s i køkkener
- aftrækskanal på 100 cm² eller mekanisk udsugning på 50 m³/h, som svarer til 13,8 l/s på badeværelser,
- aftrækskanal på 100 cm² eller mekanisk udsugning på 40 m³/h, som svarer til 11,1 l/s i WC-rum.

Det generiske hus indeholder et køkken, et badeværelse og et wc-rum. For at overholde kravet i BR61 skal der minimum fjernes 41,6 l/s luft, som svarer til 0,29 l/s pr. m² i et hus på 143 m².

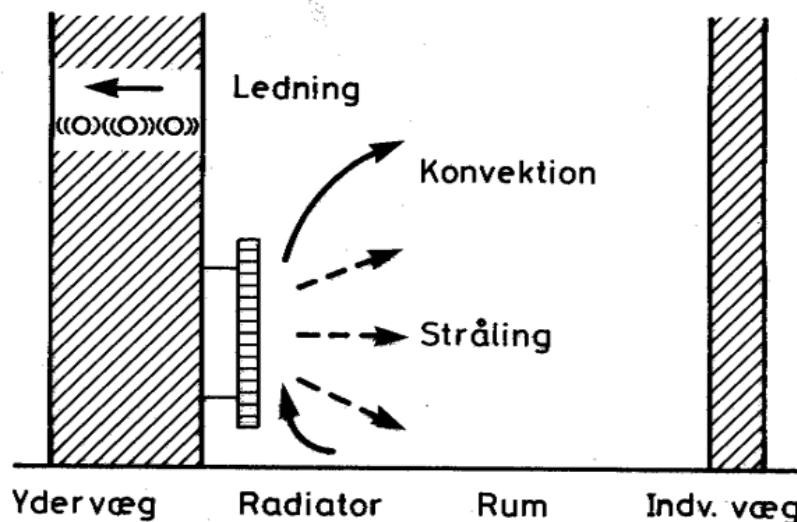
For at overholde krav til indeklime i boliger i BR 18, skal udeluftstilførsel være det der svarer til luftskifte på min. 0,5 gange i timen, eller 0,3 l/s m². Udsugning fra køkkener skal kunne forøges til min 20 l/s, udsugning fra bade- og wc-rum skal kunne forøges til mindst 15 l/s, fra wc-rum og bryggers skal der kunne udsuges mindst 10 l/s.

5.3. Varmetransport, U-værdi og linjetab

Ved varmetransport forstås energiudveksling mellem legemer af forskellige temperatur. To legemer med forskellige temperatur udveksler energi, idet det varme legeme afgiver energi til det kolde legeme ved varmetransport. Varmetransport, som også kaldes varmetransmission kan foregå på tre forskellige måder:

- Ved varmeledning, som er en overførsel af energi ved tilfældige stød mellem atomerne uden at der sker stoftransport.
- Ved konvektion, hvor energien overføres gennem bevægelsen af en fluid mellem et varmt og et koldt legeme.
- Ved varmestråling, hvor energien overføres i form af elektromagnetisk stråling mellem flader. (Pensum)

Figur 3 viser alle transportformer ved hjælp af en radiator i et rum. Der foregår varmeledning mellem radiator og ydervæg, konvektion, når kold luft i bunden bliver opvarmet og stiger op, og stråling fra radiators overflade ud i rummet.



Figur 3 Illustration af varmetransportformerne: ledning, konvektion og stråling. Kilde: Varmetransmission ved ledning, konvektion og stråling Forelæsningsnotat, DTU Byg

U-værdi eller transmissionskoefficient viser hvor stor en varme mængde målt i W der i løbet af en time passerer gennem en kvadratmeter af konstruktion, når temperaturforskellen mellem den indvendige og udvendige overflade er 1 K.

U-værdi bestemmes af formelen:

$$U' = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \sum R_i}$$

hvor U' er den ukorrigerede transmissionskoefficient i W/m^2K

R_{si} er overgangsisolans ved den indvendige overflade i m^2K/W

R_{se} er overgangsisolans ved den udvendige overflade i m^2K/W

$\sum R_i$ er summen af isolanser for de enkelte lag i m^2K/W

Transmissionskoefficienten skal korrigeres for sprækker og spalter i isoleringen, for bindere og ankre, som gennembryder isoleringen, samt for nedbør på omvendt tag.

$$U = U' + \Delta U$$

hvor U er den ukorrigerede transmissionskoefficient i W/m^2K

ΔU er korrektion, der bestemmes i henhold til anneks A i DS418 (Dansk Standard, 2011).

Linjetab er et varmetab gennem en lineær kuldebro og måles i W/mK . Linjetabet for de typiske konstruktioner kan beregnes ud fra tabellerne i DS 418, for anden isoleringstykkelse og varmeledningsevne kan der interpoleres i tabellerne. For andre konstruktionsopbygninger kan linjetabet beregnes ud fra anneks B eller ved anvendelse af beregnings program HEAT2. (Dr. Thomas Blomberg, 2017).

5.4. Efterisolering – tre typer

Der findes tre muligheder at gennemføre en efterisolering af klimaskærmen på:

- Udvendig efterisolering
- Isolering af hulrum
- Indvendig efterisolering

Isolering af hulrum er den nemmeste løsning i forholdt til udvendig og indvendig efterisolering, idet det ikke kræver udvidelse af konstruktionens tykkelse. Dog findes der få konstruktioner, hvor man kan anvende hulrumsisolering, f.eks. en ydervæg med hulmur eller en tagkonstruktion, som indeholder uudnyttet, ventilerer tagrum. (Møller, 2012).

Efterisolering af en ydervæg kan foretages både på inde- og ydersiden af væggen, begge løsninger har sine fordele og ulemper. Udvendig efterisolering beskytter de eksisterende konstruktioner og kan udføres uden at påvirke bygningens beboer, dog er der den ulempe, at den medfører en væsentlig ændring af husets udseende. Indvendig efterisolering vælges ofte i forbindelse med efterisolering af bevaringsværdige facader eller ydervægge med mange udsmykningsdetalje, som for eksempel sandstøbninger, gesimser, rulleskrifter over vinduer og døre, som ønskes bevaret.

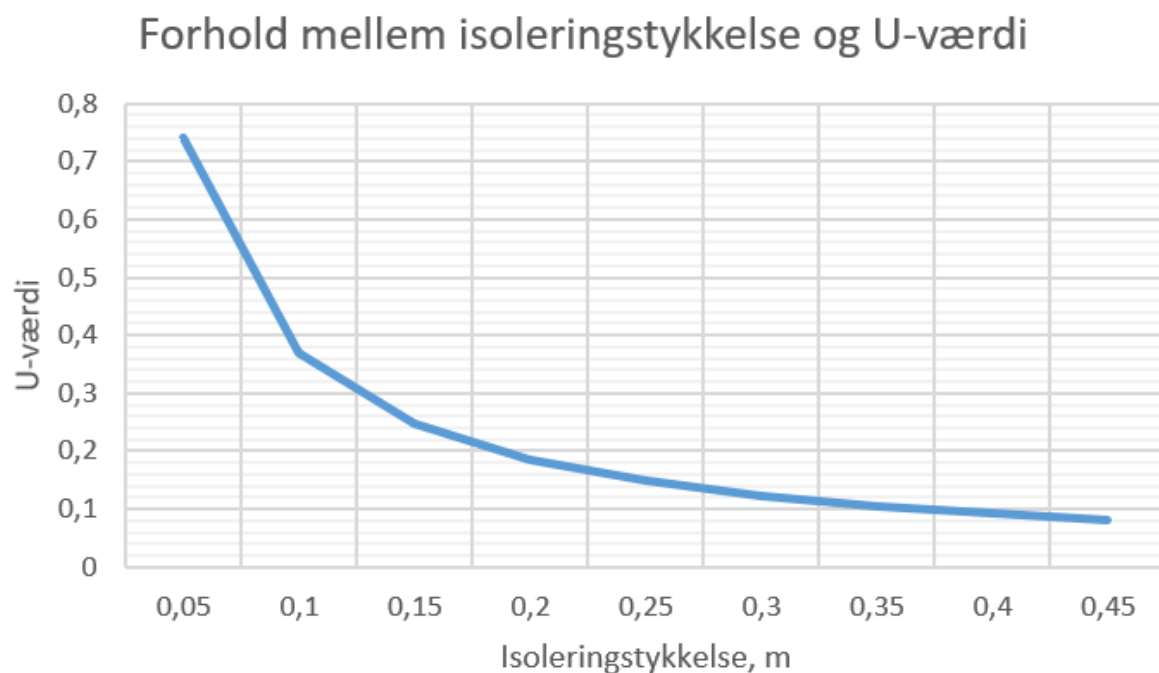
	Indvendig efterisolering	Udvendig efterisolering
Fordele	Ændrer ikke på bygningens udtryk og former. Kan anvendes til efterisolering af bevaringsværdige bygninger.	Efterisolering hele ydervæggens overflade
		Reducerer kuldebroer f.eks. omkring etageadskillelse, skillevægge, fundamenter, se afsnit 5.5
		Beskytter eksisterende ydervægskonstruktion, som resultat af reduktion af væggenes påvirkning af slagregn og frost.
Ulemper	Større risiko for vækst af skimmelsvamp og fugtproblemer.	Medfører en væsentlig ændring af bygningens udseende.
	Skaber risiko for frostsprængning af mursten, som resultat af reduktion af varmetransport gennem den eksisterende konstruktion, som gør at overfladetemperatur bliver lavere.	Udvendige kuldebroer f.eks. altaner bliver større.
	Varmetab gennem kuldebroer, se afsnit 5.5.	
	Indvendig efterisolering reducerer bygningens nettoareal.	

Tabel 3 Sammenligning af fordele og ulemper ved indvendig og udvendig efterisolering, baseret på anvendelsesmuligheder, påvirkning af konstruktioner og bygningens udseende. Kilde: SBI-anvisning 240 (Møller, 2012)

Uanset om efterisolering placeres på indersiden eller ydersiden af konstruktionen, vil det medføre samme reduktion af varmetab gennem konstruktionsflade. Til gengæld placering af efterisoleringen har en afgørende betydning for varme- og fugtforhold i den eksisterende konstruktion. (Møller, 2012)

Når der vælges tykkelse på efterisolering, skal man huske at det er de første centimeter af isoleringen, der tæller mest i forhold til at reducere varmetabet. Selv om der er plads til flere lag isolering i konstruktionen, får man ikke meget ud af at isolere konstruktionerne med

enorme isoleringstykkelser, det illustreres på Figur 4, som viser afhængighed mellem isoleringstykkelse og U-værdi.



Figur 4 Kurven viser afhængighed mellem isoleringstykkelse (kl.37) og U-værdi. De første 15-20 cm isolering i en konstruktion har en rigtig stor effekt på U-værdien, derefter kræves der store isoleringsmængder for at reducere U-værdien yderligere.

5.5. Kuldebroer

En kuldebro defineres som et område i en konstruktion, som har et væsentligt større varmetab end de omgivende konstruktionsdele og som følge af dette, en lavere temperatur lokalt på den indvendige side af konstruktionen. Hvis der er tale om et større varmetab, kan det resultere i kondensdannelse på den indvendige overflade eller inde i konstruktionen og dermed øges risikoen for skimmelsvamp. (Sådan findes kuldebroerne og andre konstruktioner med stort varmetab, 2011). Skimmelsvamp er en fællesbetegnelse for en gruppe svamp, som udsender naturlige giftstoffer til indeluften, hvilket kan have skadelige indflydelse på helbredet af de mennesker, som befinder sig i rummet. Udover det kan kuldebroer lede til et dårligt indeklima, pga. trækgener og medføre tilsmudsning af overflader omkring områder med større varmetab, såkaldt støvkondens.

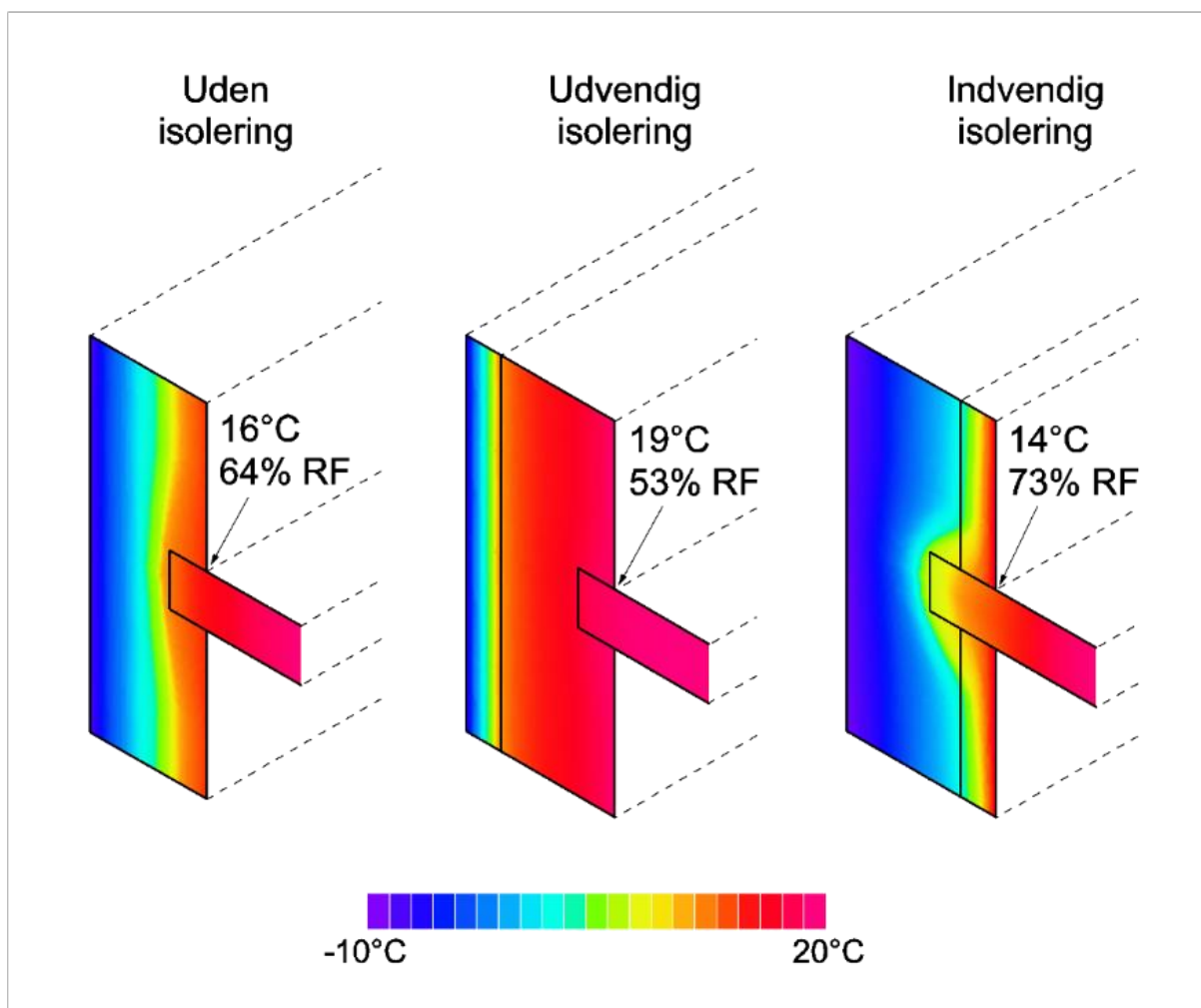
Der kan være mange årsager til en kuldebro opstår, men som hovedregel er der tale om et område, hvor en konstruktion ikke er ensartet på grund af bygningens geometri, konstruktionens opbygning eller sammenkobling mellem forskellige bygningsdele. Der findes fire overordnede typer kuldebroer:

- Geometriske kuldebroer (f.eks. hushjørner)
- Konstruktive kuldebroer (f.eks. samlinger mellem etagedæk og væg, inder- og ydervægge, tag og ydervæg)
- Systematiske kuldebroer (f.eks. murbinder)
- Konvektive kuldebroer (f.eks. luftspalter i isolering).

Kuldebroers betydning stiger i takt med konstruktionens isoleringsniveau: jo mere isolering en konstruktion har, jo større relativ betydning har kuldebroerne.

Beregninger udført af Moe A/S viser, at linjetab og kuldebroer kan forøge en bygnings samlede transmissionstab gennem klimaskærm ekskl. vinduer og døre med op til 40%, afhængig af klimaskærmens isoleringsniveau og omfang af kuldebroer. (Mads H. Wagner, 2018)

Ved efterisolering af ydervægge er det meget vigtigt at undgå kuldebroer, som kan opnås ved at føre isoleringslaget uafbrudt rundt om det opvarmede areal, som dog ikke altid kan lade sig gøre. Figur 5 viser temperaturforløbet i en konstruktion, hvor et betondæk møder en massiv ydervæg i tre tilfælde: uden isolering, med udvendig isolering og med indvendig isolering. Ved anvendelse af udvendig efterisolering stiger temperaturen omkring den eksisterende kuldebro fra 16°C til 19°C. Det stik modsatte gælder for indvendig efterisolering, hvor temperaturen falder til 14°C. Kuldebroens effekt forstærkes, hvis området ved kuldebroen ikke kan efterisoleres, dette skyldes at der kommer mindre varme fra de tilstødende bygningsdele end før. (Møller, 2012) Der findes dog undersøgelser, hvor man har forsøgt at foretage en indvendige efterisolering, hvor isoleringsmaterialet sluttet 200 mm over gulvoverflade med det formål, at bevare den samme varmetransport omkring bjælkeender, som gør at temperaturen i samlingspunktet stiger og den relativ fugtighed holdes under et acceptabelt niveau. Løsningen gør at varmetabet gennem ydervæggen stiger, men fugtsikkerhed skal prioriteres højere end reduktion af varmetabet. (M. Harrestrup, 2015)



Figur 5 Principiel skitse af kuldebro fra SBI-anvisning 240 (Møller, 2012), som viser at overfladetemperaturen ved kuldebroen bliver lavere ved en indvendig efterisolering, i modsætning til udvendig efterisolering, som reducerer kuldebroen. Der er regnet med 20 °C og 50 % RF inde og - 10°C ude. Kilde: SBI-anvisning 240 (Møller, 2012)

Det samme princip gælder ved udvendig isolering f.eks. omkring altaner, hvor kuldebroen bliver forstærket, som følge af at området ikke kan efterisoleres. Det er dog vigtigt at nævne at antallet af kuldebroer, som bliver forstærket i forbindelse med udvendig efterisolering, er lavere, i forhold til antallet af de kuldebroer, som bliver reduceret, herunder samlinger mellem indvendige vægge og ydervægge og sokkel.

6. Metoder og materialer

Undersøgelsen starter med at der bliver foretaget et researcharbejde med det formål at finde de typiske konstruktioner og materialer, som har været anvendte i parcelhusene fra 1960'erne-1970'erne, husenes gennemsnitlige størrelse, varmekilde og evt. andre parametre, som kendetegner huse fra den valgte periode. Ud fra de parametre vil der blive skabt en generisk model af et hus, som vil anvendes til at undersøge, beregne og sammenligne resultaterne af de forskellige energirenoveringsforslag.

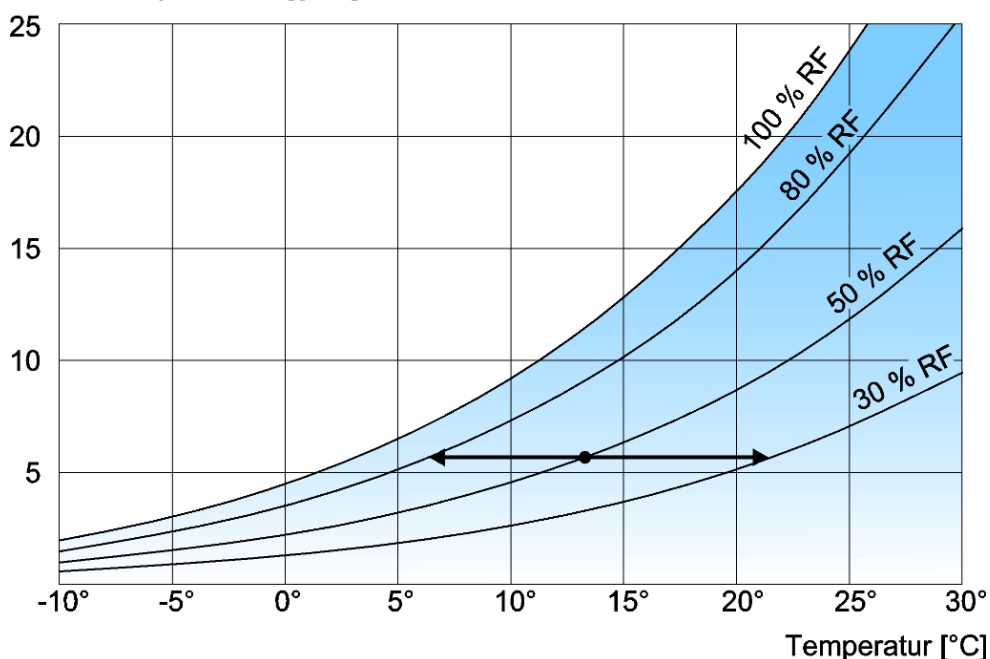
Alle bygningsdele i den generiske model vil blive undersøgt med henblik på at reducere energiforbrug, de energirenoveringsforslag som kan anvendes til efterisolering af parcelhuse fra 1960'erne-1970'erne, bliver beskrevet i rapporten og der bliver regnet på fugtforholdene i konstruktioner efter de foreslående tiltag.

Resultaterne af de udvalgte efterisoleringstiltag og deres kombination kan diskuteres, herunder de tiltag, der skal gennemføres for at opnå Renoveringsklasse 1 og 2, samt reducere husets varmebehov, til det der svarer til energibehov i et nyt hus. Der skal overvejes fordele og ulempe med renoveringen. Udgifter til renovering vil sammenlignes med udgifter til nedrivning af det gamle og opførelse af et nyt hus. Økonomien opgøres ved hjælp af et økonomiberegnings program fra Molio Prisdata (Molio - Byggeriets videnscenter, 2018).

6.1. Fugtberegninger i WUFI

For at undersøge betydning af de forskellige efterisoleringsforslag, vil der blive foretaget simuleringer af fugtforholdene i fugtberegningsprogram WUFI (Fraunhofer IBP). Programmet kan regne med konvektion, kappilarsugning og arbejde med dynamiske randbetingelser. Resultaterne af simuleringer foretaget i WUFI fremstilles i form af kurver, som viser temperaturen, den relativ fugtighed og det absolutte vandindhold i forskellige dybder inde i en konstruktion og over en forudbestemt tidsperiode. Temperatur har en direkte forbindelse med fugtighed, for jo lavere temperaturen jo mindre fugt kan luften indeholde, des højere vil luftfugtigheden være. Dette illustreres ved hjælp af vanddampdiagrammen på Figur 6.

Gram vand pr. m³ luft [g/m³]



Figur 6 Vanddampdiagrammen, hvor pillerne viser hvordan den relative luftfugtighed falder ved opvarmning og stiger ved nedkøling. Kilde: SBI-anvisning 224 (Brandt, 2013)

Programmet anvendes for at undersøge om der sker en fugtophobning i konstruktionen, som bedst kan ses ved at foretage simuleringer over en længere periode f.eks. 3-5 år, så der med sikkerhed kan konkluderes at fugtniveauet i konstruktionen er stabiliseret. Simuleringerne i WUFI giver samtidig et samlet billede af fugttilstanden i konstruktionen.

Det er vigtigt at undersøge fugtforholdene i konstruktioner i forbindelse med både nyopførelse og efterisolering, fordi at et højt fugtindhold kan medføre korrosion af metaller, skader eller dårlig hæftning ved efterfølgende arbejder f.eks. lægning af trægulve eller maling af vægge. Organiske materialer kan angribes af råd og trænedbrydende svampe, og sidst men ikke mindst kan det medføre skimmelvækst.

Skimmelvækst afhænger af kombinationen af følgende faktorer: høj fugtighed, varme og adgang til næringsstoffer. Den bedste måde at undgå skimmelvækst på er at sikre, at relativ fugtighed på materialeoverflade ligger under det kritiske fugtniveau. Der findes flere tabeller, hvor man kan finde det kritiske fugtniveau afhængige af materiale og temperatur. Som hovedregel kan der regnes med, at skimmelvækst kan undgås ved at holde den relative fugtighed på materialets overflade under 75 % RF. (Brandt, 2013)

Beregningsforudsætninger i WUFI:

Orientering: Øst

Hældning: 0°

Bygningshøjde: lav bygning indtil 10 m højde, $R_1=0$, $R_2=0,07$

Udeklima sættes til Lund, Sverige, som er det tætteste på det danske klima.

Indeklima sættes til fugtbelastningsklasse 2, iht. DS/EN 13788, som svarer til fugtbelastning i boliger med normal beboelsestæthed og ventilation jf. (Brandt, 2013).

Simulerings periode starter fra 01.01.2010. til 01.01.2013 og kan blive forlænget i tilfælde af fugtindholdet i konstruktion ikke ser ud til at være stabiliseret.

6.2. Beregninger i Be18

Beregningsprogrammet Be18 (SBI, 2018) anvendes for at bevise, at en bygning overholder bygningsreglementets energibestemmelser og til at udregne energibehov.

Oplysninger om det beskrevet generiske hus indtastes i Be18. Huset er et fritliggende parcelhus med et opvarmet etageareal på 143 m². Husets varmekapacitet betegnes som middel tung og sættes til 120 Wh/K m², idet huset opbygget af flere tunge dele, fx gulv støbt i beton, tegl- og porebetonvægge. Brugstiden er hele døgnet, idet der er tale om en bolig. Husets rotation sættes til 0°. Varmeforsyning sættes til fjernvarme.

Oplysninger om klimaskærmen i form af transmissionsarealer og transmissionskoefficienter indtastes i skema "Ydervægge, tage og gulve". Linjetabslængder og linjetabet indtastes i skema "Fundamenter mv". Oplysninger om vinduer, herunder orientering, arealet, U-værdi, indtastes i skema "Vinduer og yderdøre". Alle indtastede oplysninger fremgår af afsnit 7. Skema "Skygger" udfyldes med oplysninger om vinduets vinkel til horisont, skygger fra vinduets falsene og tagets udhæng.

Temperaturfaktoren $b=1$ viser forholdet mellem inde temperatur på den ene side og udeklima på den anden og gælder for de fleste bygningsdele. Hvis temperaturforskellen afviger fra ude og indeklima anvendes en større eller mindre faktor, f.eks. 0,7 for terrændæk.

Internt varmetilskud i brugstiden er fastsat til 1,5 W/m² fra mennesker og 3,5 W/m² fra apparatur og belysning.

For at beregne husets energibehov, skal der vides arealer af bygningsdele og længder på kuldebroer. Arealerne i Tabel 4 er beregnet efter kap.3.6 og 3.7 i DS 418, som fremgår af bilag 1 og er baseret på husets beskrivelse i afsnit 7.1 Den generiske model.

Loftshøjde i parcelhusene er ikke specielt høje og ligger gennemsnitligt omkring 2,3 m, jf. undersøgt tegningsmateriale på weblager. I forbindelse med beregningerne i BE18 bliver der anvendt en facadehøjde på 2,5 m, som svarer til højde fra overkant gulv til overkant af isolering på loftet. Arealer og længder, som anvendes i Be18 beregninger fremgår af Tabel 4.

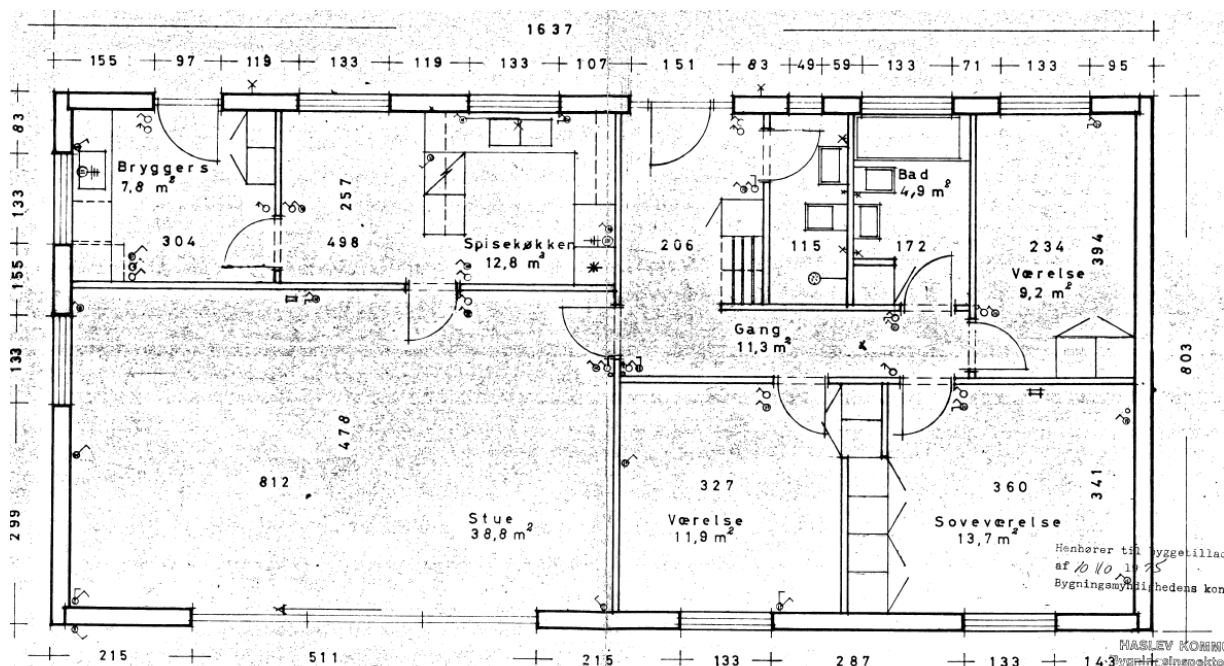
7. Beskrivelse og beregninger for et gennemsnitligt hus inden renovering

I dette afsnit beskrives typiske konstruktioner, som findes i parcelhusene fra 1960'erne-1970'erne, udpeges konstruktioner til opbygning af den generiske model og beregnes transmissionstabet gennem de fastlagte bygningsdele, den generiske model består af.

7.1. Den generiske model – konstruktioner inden renoveringen

For at fastlægge de typiske konstruktioner i husene, har der været anvendt et udtræk fra energimærkningsordnings(EMO) database, se bilag 2. Det er ikke alle enfamiliehuse der er med i EMO's database, hvilket skyldes at registreringer kun bliver foretaget i forbindelse med salg af ejendomme. Databasen indeholder oplysninger om konstruktioner og varmforsyning for alle registrerede enfamiliehuse opført i perioden fra 1961 til 1979, dog er der kun oplysninger om vinduer for husene fra 1966 til 1974, hvilket dog stadigvæk giver et godt indblik i de meste anvendte vinduestyper. Ud over det har der været søgt oplysninger om typiske konstruktioner hos www.huseftersyn.dk, SBI-anvisninger, www.bolius.dk og det digitale byggesagsarkiv – www.weblager.dk.

Ud fra SBI 2014:01 Potentielle varmebesparelser ved løbende bygningsrenovering frem til 2050 kan der aflæses, at parcelhuse fra 1960-72 har en gennemsnitlige størrelse på 150 m², mens den er 159 m² for huse opførte fra år 1973 til 1978.



Figur 7 Stueplan af et typehus fra 1974, som viser meget udbredt indretningsløsning, som kunne opfylde pladsbehov af en kernefamilie fra 70'erne, bestående af mor, far og to børn: soveværelse, to børneværelse, bryggers, køkken, stue, bad og gæstetoilet. Kilde: Weblager, Højgårdsvejen 7, 4690 Haslev.

Typehuset 1960-1979 – katalog over typiske løsninger og principper regner med en gennemsnitlig husstørrelse på 143 m². Forskellen i arealerne kan muligvis forklares med, at areal på 159 m² i SBI's rapport viser husenes areal, som det er i dag inklusiv evt. tilbygninger, og arealet på 143 m² er beregnet ud fra husets oprindelige størrelse. Der kan forventes at de evt. tilbygninger til husene skete på et senere tidspunkt end opførelses år og derfor er bygget efter nyere krav og er bedre varmeisoleret end de gamle konstruktioner.

Bygningsdel	Areal, m ²
Terrændæk:	127,46
heraf med gulvvarme	8,3
uden gulvvarme	119,16
Ydervægge	100,15
Tag	143
Vinduer:	28,17
1,2mx1,2m 8 stk.	11,52
0,4mx1,2m 1 stk.	0,48
0,9mx2,1m 2 stk.	3,78
0,4mx2,1m 2 stk.	1,68
5,1mx2,1m 1 stk.	10,71
Linjetab	Længde, m
Fundamenter	44,1
Fundamenter ved døre/glasparti	7,7
Samlinger mellem ydervæg og vinduer/døre	61

Tabel 4 Beregning af bygningsdelsarealer og kuldebroernes længder.

I forbindelse med dannelse af den generiske model, antages følgende:

- At huset er et længdehus på 143 m², f.eks. 8 m i bredden og 17,9 m i længden
- At husets facadehøjde til beregning af transmissionstab antages til 2,5 m, som svarer til mål fra gulv til overkant af isolering på loftet.
- Ud fra Figur 7, som viser en meget udbredt planløsning for typehuset, regnes der med at huset har 8 store og et lille vindue, en bryggersdør, og en entredør og et stort glasparti mod baghaven. Disse oplysninger anvendes til beregning af husets samlede energibehov.
- At i den generiske model anvendes et hus med et areal på 143 m².
- Tabel 4 viser arealer og længder, som anvendes i Be18 beregning.

7.2. Ydervæg

Ydervægge i parcelhusene fra 1960'erne-1970'erne kan være opbygget på en af følgende måder:

- Fuldmurede ydervægge
- Skalmur med bærende træskelet
- Præfabrikerede vægelementer, hvor formur, bagmur og isolering leveres og monteres som et samlet element.
- Hulmur med en bagmur af præfabrikerede elementer af beton, letbeton, porebeton eller murværk og en formur af murværk. Hvor bagmuren er præfabrikeret, mens isoleringen og formuren bygges på stedet.

De fleste af husene fra 1961 til 1979 er opførte med hulmur, som består af en formur af tegl og en bagmur af tegl, letbeton eller porebeton. 95% af huse har 30 cm tykke ydervægge, som indeholder isoleringsmateriale med en tykkelse på mellem 30 og 75 mm. U-værdi for ydervægge varierer fra 0,31 til 1,51 W/m²K jf. EMO's database, som betyder at nogle af konstruktionerne ikke overholder krav til varmetabet gennem ydervægge i BR 61, som er 1,0 W/m²K. Forklaring til dette kan være, at byggetilladelser til de huse havde været givet inden BR61 trådte i kraft, men bygningerne blev først færdigmelde, fik ibrugtagningstilladelse og er registreret med opførelses år i 1961 eller senere.

Der findes en del typehuse, som indeholder lette ydervægskonstruktioner med let beklædning af træ eller andre pladematerialer opbygget på et træskelet f.eks. gavle eller lette vægge under eller mellem vinduerne.

I den generiske model regnes der med ydervægge, som har en bagmur af letbeton, en formur af tegl og 70 mm hulumisolering. Transmissionskoefficient for en ydervæg beregnes efter beskrivelse i kap.6, DS 418 (Dansk Standard, 2011). I forbindelse med beregningen tages der hensyn til korrektion for luftspalter i isoleringen og murbinder, jf. annek A i DS 418. Resulterende transmissionskoefficient beregnes efter formel:

$$U = U' + \Delta U_g + \Delta U_f,$$

og hvor ΔU_g , er korrektion for luftspalter i isoleringen

ΔU_f , er korrektion for bindere.

Der er ingen korrektion for luftspalter i isoleringen, idet der er tale om blød isolering (mineraluld) i hul væg med murbinder, fastklemmt mod en plan vægflade på den varme side, som svarer til Niveau 0 (iht. A2.3 DS 418).

ΔU_f , korrektion for murbinder slås op i tabel A.2 i DS 418. Det forudsættes, at der er anvendt 8 stk. 4 mm binder i rustfast stål pr. m², som svarer til 0,008 W/m²K.

Tabel 5 viser beregning af U-værdi for ydervæg. Lambda-værdier for materialerne indhentet i DS 418. Lambda-værdi for isolering indhentet i Anneks G, som indeholder designværdier til beregning af eksisterende konstruktioner i forbindelse med ombygning og renovering, DS 418.

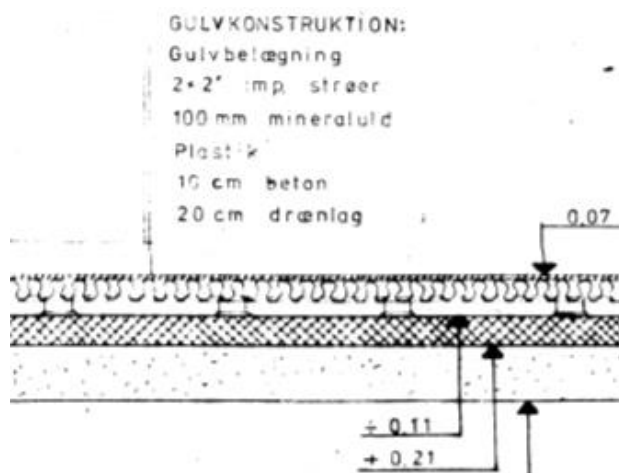
Ydervæg	d [m]	λ W/mK	R m ² K/W	U' W/m ² K
Indvendig overgangsisolans			0,130	
Porebeton, 650 kg/m ³	0,1	0,16	0,625	
Isolering, mineraluld	0,075	0,050	1,500	
Mursten, massiv - 1800kg/m ³	0,108	1,650	0,065	
Udvendig overgangsisolans			0,040	
		ΣR	2,36	
U'				0,424
Korrektion for murbinder				0,008
U				0,432

Tabel 5 U-værdi beregning for ydervæg

7.3. Terrændæk

Parcelhuse fra 1960'erne-1970'erne er typisk opført med terrændæk og med rendefundamenter støbt af beton. Terrændækket består af et drænlag, f.eks. let klinker, groft grus eller slagger, et fugtstandsene lag f.eks. plastfolie og et lag beton, afsluttet med et lag isolering og gulv på strøer. Isoleringstykkelser i gulvet varierer mellem 50 mm i de mindst isolerede huse til 200 mm i de mest isolerede.

Det regnes med at terrændæk i den generiske model er opbygget af 200 mm groft grus, 100 mm beton og 100 mm isolering, dog med undtagelse af badeværelse og toilette, hvor de øverste 50 mm er erstattet af klinkegulv. Figur 8 viser en typisk opbygning af terrændæk i et parcelhus fra 1960'erne-1970'erne.



Figur 8 Der vises en skitse over en typisk terrændæksopbygning i parcelhusene fra 1960'erne -1970'erne. På badeværelser og WC-rum er der dog ofte kun 50 mm isolering og klinkegulv.

Terrændæk	d, m	$\lambda, W/mK$	$R, m^2K/W$	$U, W/m^2K$
Indvendige overgangsisolans			0,17	
Parket	0,014	0,130	0,108	
Mineral uld	0,100	0,055	1,818	
Beton	0,100	2,000	0,050	
Groft grus	0,200	2,000	0,100	
Isolans for jord			1,500	
		ΣR	3,75	
U-værdi				0,27
Terrændæk med gulvvarme	d, m	$\lambda, W/mK$	$R, m^2K/W$	$U, W/m^2K$
Indvendige overgangsisolans			0,17	
Klinker	0,020	1,000	0,020	
Beton over gulvvarme	0,025	2,000	0,192	
Beton	0,025	2,000	0,192	
Mineral uld	0,050	0,055	0,909	
Beton	0,100	2,000	0,050	
Groft grus	0,200	2,000	0,100	
Isolans for jord			1,500	
		ΣR	2,75	
U-værdi				0,39

Tabel 6 U-værdi beregning for terrændæk med og uden gulvvarme

Tabel 6 viser U-værdiberegning for den typiske terrændækskonstruktion med og uden gulvvarme. U-værdi for terrændækket beregnes jf. kap 2.4 i DS 418. For den del af gulvet, som indeholder gulvvarme beregnes isolansen fra varmekildens plan, dvs. at de isolanser, der ligger over gulvvarmens plan tæller ikke med i beregningen.

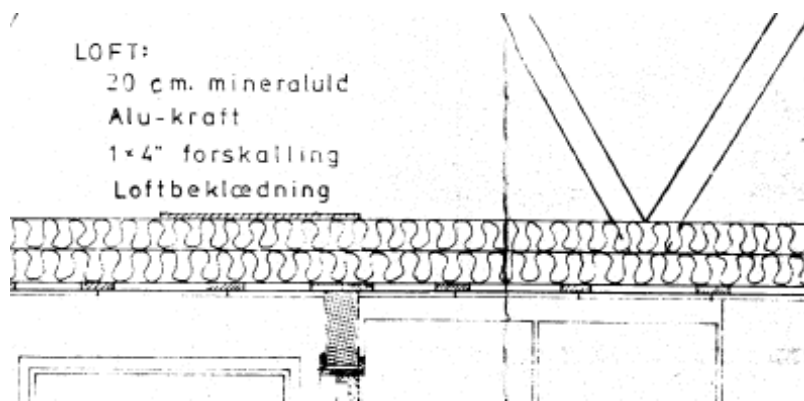
Der foretages ingen korrektion for luftspalter selv om isoleringen er udlagt i et lag, idet det forventes at de evt. luftspalter har bredde under 5 mm, jf. A.2.3 DS 418.

7.4. Loft og tag

De fleste af husene fra 1960'erne-1970'erne har en rektangulært eller vinkelformet grundform og opførte som etplanshuse. Tagkonstruktion er ofte opbygget med gitterspær og med en relativ lav taghældning mellem 15° og 30°. Tagets udhæng varierer i størrelsen. Omkring 3% af husene er opført med fladt tag. (TYPEHUSET 1960-79- katalog over typiske løsninger og principper).

Alle loftkonstruktioner i EMO's database er isoleret med mellem 100 mm og 200 mm og har en U-værdi på mellem 0,15 og 0,4 W/m²K. De fleste af husene har en uudnyttelig tagetage og 200 mm isolering.

I den generiske model regnes der med en loftkonstruktion, som har 200 mm isolering. Konstruktionen består af loftbeklædning med profilbrædder, spredt forskalling, alu-kraft (som er en alubaseret dampspærre), 100 mm isolering indeholdende spærfod, 100 mm ubrudt isolering over spærfod, ventileret tagrum og eternittag, se Figur 9.



Figur 9 Opbygning af en loftkonstruktion i et parcelhus fra 1960'erne-70'erne, som typisk består af profilbrædder loft, forskalling, en alu-kraft dampspærre og 200 mm isolering.

Lambda-værdi for mineraluld indhentet i DS418, Annex G *Designværdier til beregning af eksisterende konstruktioner i forbindelse med ombygning og renovering*. For at kunne beregne U-værdien skal middelvarmeledningsevne for det inhomogene lag, bestående af isolering og træ, bestemmes ud fra formelen:

$$\lambda' = \frac{Aa\lambda_a + Ab\lambda_b + \dots}{Aa + Ab + \dots}$$

Hvor λ' er vejet middelværdi af inhomogent lags varmeledningsevne i W/mK

Aa, Ab er arealer af inhomogent lags partier i m²

λ_a, λ_b er tilsvarende varmeledningsevner i W/mK

$$\lambda = \frac{0,14 \text{ W/mK} \cdot 0,045 \text{ m} + 0,05 \text{ W/mK} \cdot 0,955 \text{ m}}{1 \text{ m}} = 0,054 \text{ W/mK}$$

Loft og tag	d [m]	λ W/mK	R m ² K/W	U' W/m ² K
Indvendig overgangsisolans			0,140	
Profilbrædder	0,012	0,16	0,075	
Spredt forskalling	0,025	-	0,160	
Spær/mineraluld	0,100	0,054	1,852	
Mineraluld	0,100	0,050	2,000	
Tagrum og tag			0,2	
		ΣR	4,43	
U				0,23

Tabel 7 Beregning af U-værdi for loft.

R-værdi for spredt forskalling indhentet i DS418, afsnit 6.6.

Korrektion for luftspalter ved to lag isolering er $\Delta U'' = 0$, jf. A.2, DS 418.

7.5. Vinduer

Enfamiliehuse fra 1960'erne-1970'erne er født med to-lags termoruder, som for de flestes vedkommende har været udskiftet en gang i 90'erne. Udtrækket fra EMO's database viser af 85% af huse har vinduer med termoruder og en U-værdi på 2,8 W/m²K. Denne gennemsnitlige U-værdi bruges i den generiske model.

Husene fra 1960'erne-1970'erne har som regel trævinduer med termoruder, som har en U-værdi på omkring 2,8 W/m²K. Solenergitransmittans, g-værdi, viser den andel af solens varme, som trænger igennem ruden og er slået op til 0,78 for termoruder. (Glasfakta 2015). De gamle termoruder består af 2 lags-glas med luftfyldning. Termoruderne i de fleste af husene har været udskiftet i løbet 90'erne, dog har det ikke haft den store indflydelse på vinduets U-værdi. På hjemmesiden www.levetider.dk kan der beregnes levetid for vinduer i fyrretræ, som afhængige af vinduets placering i facaden, placering i forhold til verdenshjørner og om der er yderligere fugtbelastninger, f.eks. vådrum. I det generiske hus skønnes vinduets levetid til 30-40 år. Derfor forventes det, at vinduer er ved opnå den alder, hvor både karm og ruden trænger til at blive skiftet ud.

7.6. Linjetab

Linjetab ved fundamenter

Linjetab ved fundamenter findes ved anvendelse af tab. 6.13.2a i DS418. Fundamenter i de fleste huse fra den undersøgte periode er opført i beton eller fundablokke uden isolering. Linjetabet findes i tabellen ved at kombinere fundaments type med U-værdien for terrændækket, se Tabel 8. U-værdi for terrændækket er 0,27 W/m²K og der findes mere end 75 mm isolering over betonpladen, som giver et linjetab på 0,3 W/mK.

Tabel 6.13.2a – Linjetabet Ψ_f i W/mK for ydervæg med bagmur i letbeton⁴⁾
(se figur 6.13.1 og 6.13.2 nedenfor)

Fundament	Isolering over betonplade:	Ingen			75 mm ^{G)}	
	U-værdi for terrændæk:	0,30	0,20	0,10	0,20	0,10
Beton ¹⁾ Ingen isolering 15 mm kuldebroafbrydelse ^{R)}		0,77	0,73	0,71	0,30	0,33
		0,57	0,51	0,45	0,28	0,27
Letklinkerbeton ²⁾ øverste 40 cm ^{R)}		0,30	0,23	0,18	0,16	0,14
Letklinkerbeton ³⁾ øverste 40 cm, midterisoleret ^{M1)}		0,24	0,17	0,13	0,13	0,10
Letklinkerbeton ³⁾ øverste 60 cm, 40 cm midterisoleret ^{M1)}		0,21	0,15	0,11	0,12	0,09
Letklinkerbeton ⁶⁾ øverste 40 cm, midterisoleret ^{M2)}		0,22	0,15	0,12	0,13	0,09
Letklinkerbeton ⁷⁾ øverste 40 cm, midterisoleret ^{M3)}		0,19	0,13	0,10	0,11	0,08

Tabel 8 Beregning af linjetabet for ydervæg med bagmur i letbeton. Linjetabet i det generiske hus inden isolering er markeret med en rød cirkel, og værdien som anvendes efter isolering markeret med en blå cirkel. Kilde: Tabel 6.13.2a DS 418 (Dansk Standard, 2011)

Linjetab ved døre og glaspartier

Linjetab ved fundamenter findes ved anvendelse af tab. 6.13.6a i DS 418, se Tabel 9. Det forventes at døre og glaspartiet i det generiske hus er placeret direkte på beton, uden isolering. Linjetabet beregnes ved interpolering mellem tallene markerede med røde cirkler i Tabel 9, og er beregnet til 0,88 W/mK.

Tabel 6.13.6a – Linjetabet $\Psi_{f,1}$ i W/mK for fundamenter under døre og vinduespartier ved terrændæk (se figur 6.13.7 – se skitse-nr. i tabellen)

Fundament	U-værdi for terrændæk:	0,30	0,20	0,10	Se skitse-nr. på fig. 6.13.7
Beton ¹⁾ Ingen isolering		0,89	0,85	0,82	1
Letklinkerbeton ²⁾ de øverste 40 cm					
Øverste skifte midterisoleret med 40 mm ^{M)}		0,44	0,37	0,34	2
Begge skifter midterisoleret med 40 mm ^{M)}		0,38	0,34	0,31	3
Øverste skifte midterisoleret med 100 mm ^{M)}		0,36	0,29	0,26	4
Begge skifter midterisoleret med 100 mm ^{M)}		0,32	0,25	0,21	5
Øverste skifte midterisoleret med 40 mm ^{M) D)}		-	0,22	0,18	6
Begge skifter midterisoleret med 40 mm ^{M) D)}		-	0,22	0,18	7
Øverste skifte midterisoleret med 100 mm ^{M) D)}		-	0,17	0,13	8
Begge skifter midterisoleret med 100 mm ^{M) D)}		-	0,16	0,12	9

¹⁾ Uarmeret beton med varmeledningsevne på 2,0 W/mK.
²⁾ Letklinkerbeton med varmeledningsevne på 0,25 W/mK og bredde på 35 cm.
^{M)} Isolering med varmeledningsevne på højst 0,04 W/mK.
^{D)} 80 mm isolering mellem betondæk og letklinkerblok i 2. skifte.

Tabel 9 Beregning af linjetabet for fundamenter under døre og vinduespartier ved terrændæk. Linjetabet i det generiske hus før isolering er markeret med røde cirkler, de værdier som anvendes efter isoleringen markeret med blå cirkler. Kilde: Tabel 6.13.6a DS 418

Linjetab omkring vinduer

Linjetab omkring vinduer beregnes ud fra tabel 6.12.1b i DS418, for en konstruktion, som opført med bagmuren af letbeton, formuren af tegl og uden kuldebro afbrydelse. Linjetabet er aflæst til 0,17 W/mK.

Tabel 6.12.1b – Karm placeret forskudt fra kuldebroafbrydelse i væg ud for enten for- eller bagmur (se figur 6.12.1, skitse 2 nedenfor)

Kuldebroafbrydelse	Formur:	Beton ¹⁾	Tegl	Tegl	Tegl	Letbeton ³⁾
	Bagmur:	Beton ¹⁾	Beton ¹⁾	Tegl ²⁾	Letbeton ³⁾	Letbeton ³⁾
Ingen		0,34	0,17	0,17	0,17	0,10
10 mm		0,12	0,11	0,11	0,11	0,08
>10 mm		0,11	0,09	0,09	0,09	0,07

¹⁾ Armeret beton med 2 volumen-% stål.
²⁾ Gælder også for letbeton med varmeledningsevne 0,7 W/mK.
³⁾ Letbeton med varmeledningsevne 0,3 W/mK.

Tabel 10 Beregning af linjetab omkring vinduer. Kilde: DS418, tab.6.12.1b.

7.7. Ventilation

Det har ikke været muligt at finde oplysninger om infiltration i parcelhuse fra 1960'erne-1970'erne. I forbindelse med beregninger anvendes værdier fra SBI-rapport 236 (Bergsøe, 1994), som udkom i 1994 og er udarbejdet på baggrund af målinger i ca. 150 enfamiliehuse og landsdækkende spørgeskemaundersøgelse. I forbindelse med undersøgelsen, hvor ca. 1400 husstande returnerede brugbare besvarelser, har der været målt gennemsnitlig udelufttilførsel til 0,22 l/s pr. m². Værdien er lavere end krav til udelufttilførsel i BR61, som angiver 0,29 l/s pr. m², og krav i BR18, som angiver den nødvendige basisventilation for boliger med normal loftshøjde skal minimum være på 0,3 l/s pr. m².

I Be18 beregningerne regnes der med luftskifte, som består af ventilation og infiltration, på 0,30 l/s pr. m², og som overholder krav til luftskifte i BR18. Naturlig ventilation om sommeren sættes til 0,9 l/s pr. m², da det forventes at vinduer holdes mere åbne. (Søren Aggerholm, 2016)

7.8. Opvarmning og varmt brugsvand

Parcelhuse ligger ofte placeret i større boligkvarter, som forsynes med den samme varmforsyningskilde, som f.eks. fjernvarme eller gas. Varmeinstallationer i husene har været undersøgt på Danmarks statistiks hjemmeside (Danmarks statistik, 2018), som viser at 50% af husene fra 1960'erne-1970'erne ligger i områder med fjernvarme, 28% opvarmes med gas, 12% opvarmes med olie, resterende huse opvarmes med enten elektricitet, varmepumpe eller har centralvarme, som bruger et andet brændsel end olie og naturgas.

Der regnes derfor at den generiske model opvarmes og får varmt brugsvand igennem fjernvarme.

Huset og varmt brugsvand opvarmes igennem indirekte fjernvarme. Fjernvarme er den mest udbredte opvarmningsform, som er både nem, billig og miljøvenlig. Der anvendes forskellige "grønne" brændsler til fjernvarmen, som f.eks. affald, biomasse, men også naturgas, olie, kul og fissionsbaserede atomkraftværker kan anvendes. Mange fjernvarmeværker har været igennem store omstillinger, for at kunne levere mere grøn og miljøvenlig varme til husstande. Konvertering til fjernvarme er oplagt i tilfælde, hvis der anvendes olie, gas eller el som varmforsyning, da det er billigere og mere miljøvenligt.

Det var ikke muligt at finde oplysninger om de oprindelige fjernvarmeinstallationer i parcelhuse fra 1960'erne-1970'erne. For at gennemføre beregninger i dette projekt anvendes der værdier for fjernvarme, som svarer til de moderne fjernvarmeanlæg i enfamiliehuse.

Huset opvarmes med indirekte fjernvarme. Det antages, at varmt brugsvand også opvarmes igennem fjernvarmeveksleren. Oplysninger om fjernvarmeveksler udfyldes i BE18, herunder den nominale effekt, som svarer til bygningens dimensionerende varmebehov, inkl. behov til varmt brugsvand, idet det regnes med at vandet opvarmes i veksleren. Vekslerens temperatur vides ikke, derfor sættes den til 65 C jf. Håndbog for energikonsulenter (Håndbog for energikonsulenter, 2014). Oplysninger om typiske data for varmtvandsbeholder, rørisolering og cirkulationspumper i typehusene haves ikke, men fastsættes til realistiske værdi ved hjælp af Håndbogen for energikonsulenter. I forbindelse med beregninger af energirenoverings forslag, ændres der ikke på de omtalte værdier.

Varmetabet fra en varmtvandsbeholder på 150 l med 30 mm isolering udgør 2,2 W/K.

Der regnes med en tidsstyret cirkulationspumpe til opvarmning, som har en effekt på 25W og kører konstant i opvarmningssæsonen med en reduktionsfaktor på 0,4.

7.8.1. Beregning af det samlede energibehov før renovering

Resultaterne af beregninger i Be18 viser, at det samlede transmissionstab for klimaskærmen eks. vinduer og døre er **10,2 W/m²** og husets samlede energibehov er beregnet til **149,1 kWh/m² år**.

8. Beskrivelse og beregning af konstruktioner efter renovering

I dette afsnit undersøges forskellige tiltag, som kan gennemføres for at reducere varmetabet fra konstruktionerne. Konstruktionerne beskrives og vurderes i den rækkefølge, hvor det er nemmest at komme til at foretage forbedringer, altså vinduer, loft og tag, ydervægge, terrændæk.

8.1. Vinduer

Ved at udskifte de gamle vinduer til moderne træ eller træ/alu vinduer med 2-lags glas og gasfyldning kan U-værdien reduceres til 1,32 W/m²K og ved 3-lags glas og gasfyldning vil U-værdien være 0,79 W/m²K¹. G-værdi for vinduer med 2-lags glas og gasfyldning oplyst til 0,73 og for 3-lags glas med gasfyldning til 0,53. Fordelen ved at anvende træ/alu vinduer er at vinduerne kræver mindre udvendige vedligehold, idet trækarm ligger beskyttet bag ved en vejrbestandig aluminiumprofil.

De to valgte vinduestyper reducerer varmetabet med henholdsvis 27,9 og 35,1 kWh/m² pr. år, det svarer til 24% og 19% reduktion af det samlede energibehov.

¹ Oplysningerne hentet hos Rationel (www.rationel.dk) for produkterne Rationel AURAPLUS Basic og Premium. U-værdier er beregnet ud fra et referencevindue 1230x1480mm.

8.2. Loft og tag

Efterisolering af tag og loft er meget afhængige af tagets opbygning. De fleste huse fra 1960'erne og 1970'erne har et uudnyttet tagrum, som giver gode muligheder for efterisolering, idet konstruktionen kan udvides mod tagrummet uden det påvirker loftshøjde inde i huset, dog skal man være opmærksom på tæthed i konstruktionen.

I husene fra de udvalgte årgange har der ofte været anvendt alukraft. Alukraft er en alubaseret dampspærre, som er bygget i to lag. Det lag, som giver dampmodstandsevne, består af aluminiumsfolie. Folien er typisk limet på et lag papir eller pap. Aluminiumsfolie har en høj dampmodstandsevne, z -værdi, men går let i stykker. (BYG-ERFA, 2015) For byggeri, som er mellem 40 og 60 år gammelt, kan det ikke længere forventes at alukraften udgør et damptæt lag, idet materialets levetid er ved at være opbrugt. Der havde måske været udført byggearbejder, uden der var taget stilling til dampspærres tæthed, f.eks. ved udskiftning af loftlem, eller montage af loftslamper eller spots. Det kan heller ikke vides om dampspærrens samlinger ved ydervægge og mellem banerne er udført tætte fra starten af, det er første i de senere år man blev opmærksom på betydningen af bygningens tæthed.

U-værdien for loft i den generiske model er beregnet til $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ved at efterisolere konstruktionen ud mod tagrummet med 100 mm isolering med en λ -værdi på $0,037 \text{ W/mK}$, vil der opnås U-værdi på $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, og ved at efterisolere med yderligere 100 mm – $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$.

	Oprindelig konstruktion	Efterisolering med 100 mm	Efterisolering med 200 mm
U-værdi, $\text{W/m}^2\text{K}$	0,23	0,14	0,10

Tabel 11 U-værdi for loftkonstruktion før og efter isolering med 100 mm og 200 mm isolering.

Efterisolering mod tagrummet kan ofte udføres uden større problemer, det kræver dog at en eventuel gangbro bliver forhøjet med det, der svarer til isoleringstykkelse.

I forbindelse med efterisolering af loft, findes der flere materialer på markedet, som har en lavere λ -værdi end mineraluld. Det ses dog at være unødvendigt i det undersøgte tilfælde, når der er god plads til isolering, er det nærliggende at vælge en billigere isolering.

Det næste spørgsmål er, hvad der så skal ske ved dampspærren. Kan den gamle dampspærre betragtes som tæt eller skal den udskiftes med en ny. Hvis der var tale om nybyggeri, så skulle der anbringes en dampspærre på den varme side af isoleringen, max $1/3$ del af isoleringstykkelsen. Når der er tale om efterisolering, kan det være en udfordring at etablere en diffusionstæt plan som ved nybyggeri, da det vil kræve at der fjernes 100 mm isolering i konstruktionen, monteres en dampspærre mellem og rundt om spærrefod og efterisoleres igen. Løsningen er gangbar, men kræver at montagen af dampspærre bliver udført meget omhyggeligt, især samlinger rundt om spærrefod skal tapes tæt sammen.

For at undersøge hvilken betydning efterisoleringen har for fugtforholdene i konstruktionen foretages følgende simuleringer i WUFI:

- Oprindelige konstruktion med en tæt dampspærre
- Efterisolering med 100 mm og 200 mm isolering og en utæt dampspærre.
- Efterisolering med 100 mm og 200 mm isolering og en tæt dampspærre placeret under loftsbeklædning.

8.2.1. Fugt beregninger

Der opbygges en WUFI-model for den eksisterende konstruktion, som består af følgende materialer set indefra:

Inde

13 mm luftrum

22 mm forskalling

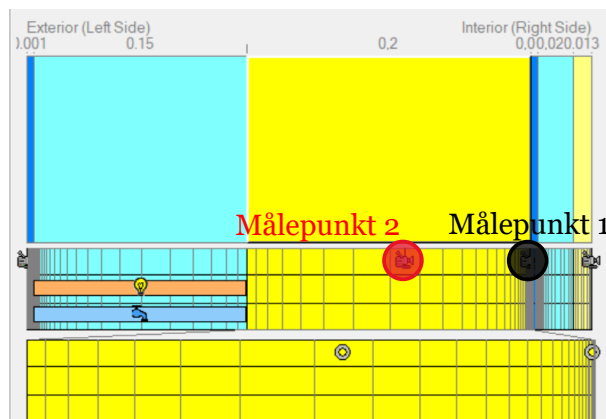
Dampspærre

200 mm isolering

150 mm ventileret luftrum med et
luftskifte på 30 l/h

Tagdækning

Ude



Figur 10 Skitse af den eksisterende loftkonstruktion, som anvendes til simuleringer i WUFI.

Luftskiftet i luftrummet er valgt til 30 l/h, som jf. tidligere skrevet afgangsprøve *Fugtforhold i træunderlag for tagpap i ventilerede tage* (Kolbe, 2017) er den luftskifte, som svarer bedst i sammenligning til de praktisk målte værdier i en ventileret tagkonstruktion.

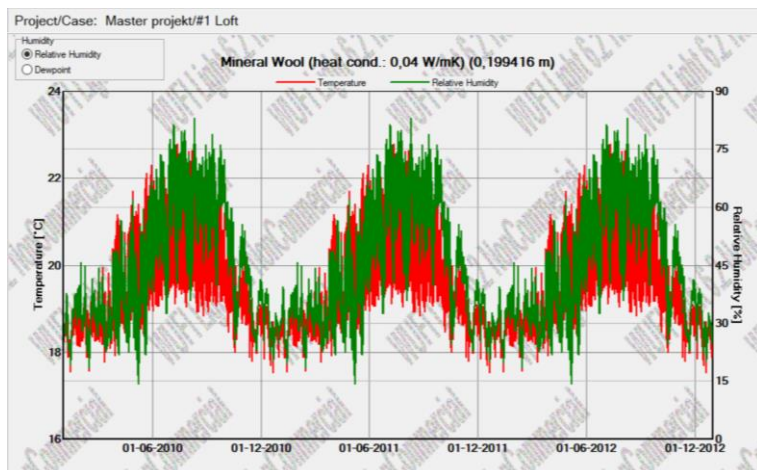
Der oprettes fire kopier af model af den oprindelige konstruktion, hvor der oprettes følgende kombinationer: 100mm og 200 mm efterisolering med mineraluld og med en tæt og utæt dampspærre.

I simuleringer med en tæt dampspærre anvendes en dampspærre med en vanddampdiffusionsmodstand på 100000. Vanddampdiffusionsmodstanden for en utæt dampspærre er svært at vide, derfor vælges det at erstatte dampspærren med et isoleringslag med samme tykkelse, det vil illustrere hvad der foregår de steder, hvor dampspærren er utæt og ikke giver nogen vanddampmodstand.

Målpunkter vælges de steder, hvor der kan forventes at varm og fugtig luft rammer mere afkølede overflader og resulterer i den relativ fugtighed stiger. Nedenunder vises temperatur og fugtigheds kurver for målepunkt 1, som er placeret på ydersiden af dampspærren og er markeret på Figur 10.

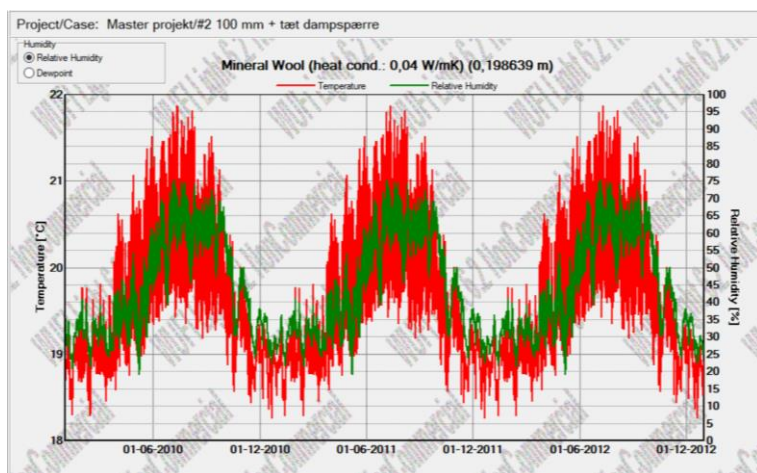
Figur 12 og Figur 14 viser temperatur og den relative fugtighed på ydersiden af dampspærre i konstruktioner med 100mm og 200mm efterisolering og en tæt dampspærre. Der er ikke den store forskel i diagrammerne. Ved anvendelse af 100 mm efterisolering vil den relative fugtighed ligge en anelse højere, end ved efterisolering med 200 mm, dog vil fugtigheden i begge tilfælde ligge lavere end i den eksisterende konstruktion med en tæt dampspærre.

Figur 13 og Figur 15 viser forholdene på ydersiden af en utæt dampspærre ved efterisolering med 100 mm og 200 mm mineraluld. Diagrammerne er meget ens og den relative fugtighed når max. RF 70 %, som vurderes til at være på den sikre side i forhold til risiko for skimmelvækst. Konstruktionen uden dampspærre ser ud til at fungere for den valgte fugtbelastningsklasse. Fugten fra konstruktionen kan ventileres både mod det ventilerede tagrum og ind i boligen, hvor den bliver fjernet med ventilation. Selv om konstruktionen ikke virker til at medføre fare for skimmelvækst, skal man ikke forglemme at dampspærren spiller en vigtig rolle i forhold til lufttæthed i boligen. (Møller, 2012)



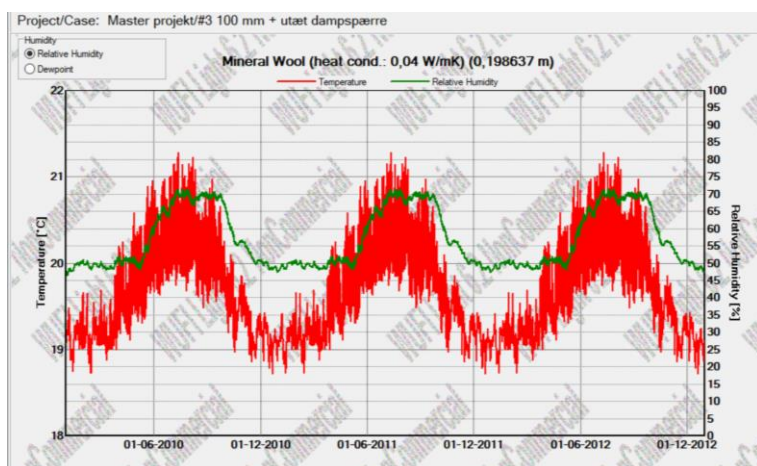
Figur 11 Målepunkt 1 - Temperatur og den relative fugtighed i den eksisterende konstruktion.

Diagrammet, som fremgår af Figur 11 viser, at den relative fugtighed overstiger RF 75% i korte perioder om sommeren, hvor temperaturen ligger på mellem 20 og 23°C. Der kan være fare for skimmelvækst, dog er den ret lille, i det der er tale om korte periode, når betingelserne for væksten er opfyldte.



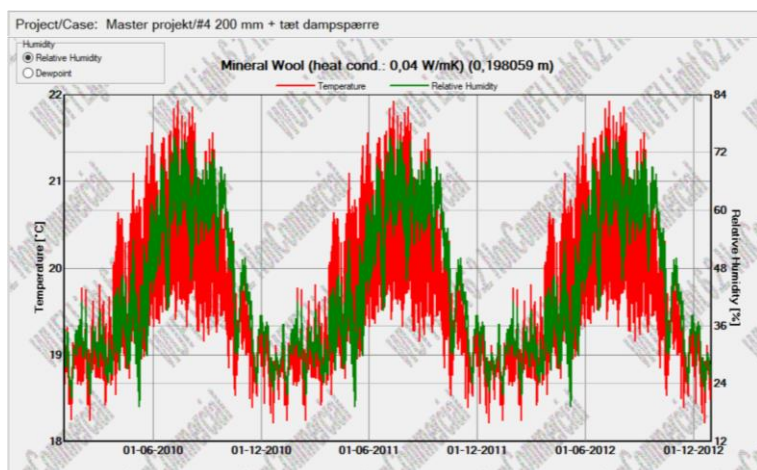
Figur 12 Målepunkt 1 - Temperatur og den relative fugtighed i loftkonstruktion med 100 mm efterisolering og en tæt dampspærre

Figur 12 viser, at den relative luftfugtighed ligger under 75% hele året rundt og der vurderes ikke at være fare for skimmelvækst.



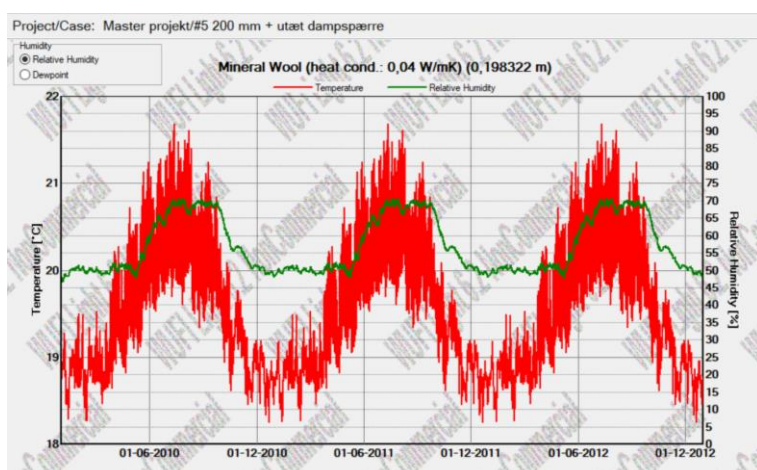
Figur 13 Målepunkt 1 - Temperatur og den relative fugtighed i loftkonstruktion med 100 mm efterisolering og en utæt dampspærre

Diagrammet på Figur 13 viser temperatur og den relative luftfugtighed i konstruktionen med 100 mm efterisolering. RF ligger på max. 70% og derfor vurderes til at være acceptabelt.



Figur 14 Målepunkt 1 - Temperatur og den relative fugtighed i loftkonstruktion med 200 mm efterisolering og en tæt dampspærre

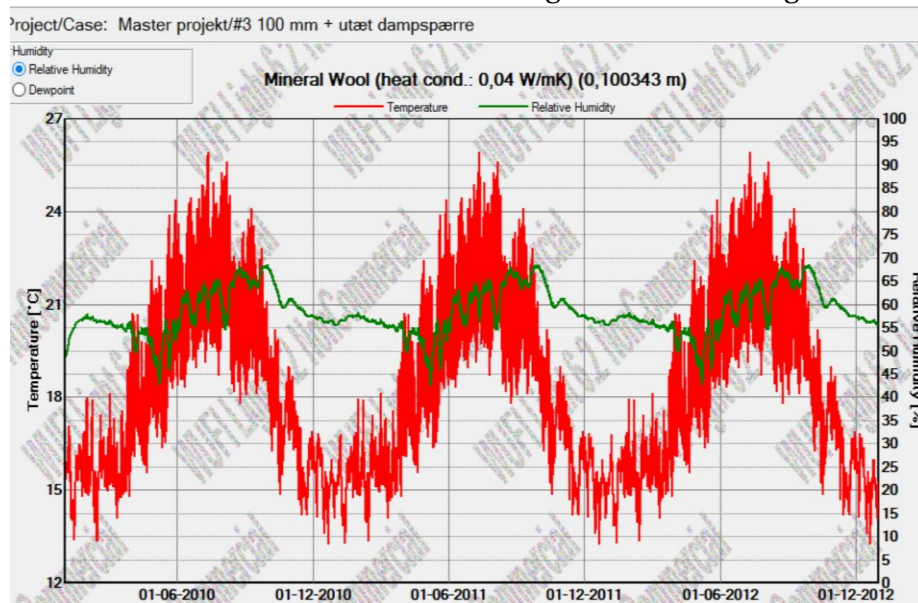
Diagrammet på Figur 14 viser, at den relative luftfugtighed max når RF 75% et par enkelte dage om sommeren. Der vurderes ikke at være en risiko for skimmelsvamp vækst.



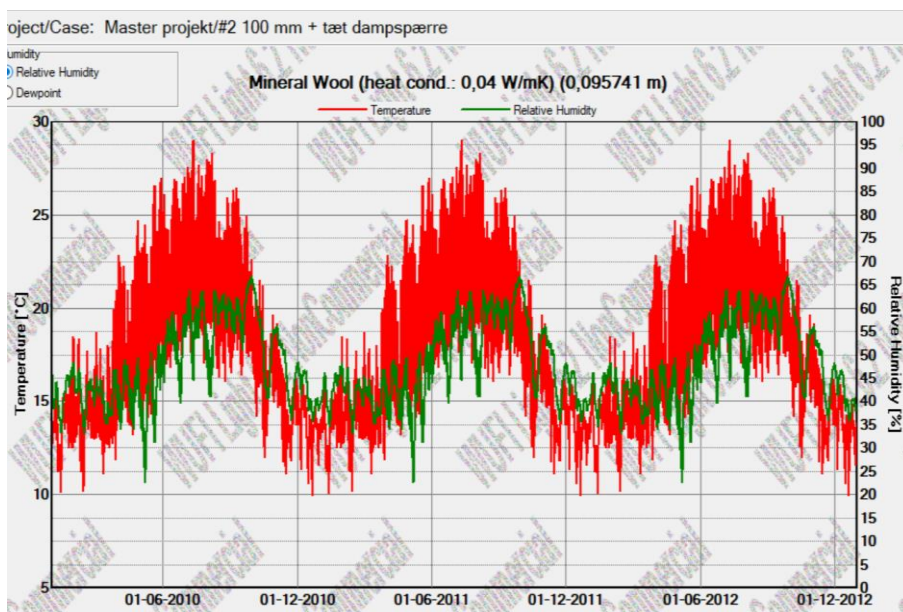
Figur 15 Målepunkt 1 - Temperatur og den relative fugtighed i loftkonstruktion med 200 mm efterisolering og en utæt dampspærre

Figur 15 viser et diagram, hvor trods en utæt dampspærre ligger den relative fugtighed under RF 75%. Fugtigheden ligger lavere end ved en tæt dampspærre, som kan forklares at fugten fra loftkonstruktionen kan diffundere både ud i tagrummet og ind i boligen.

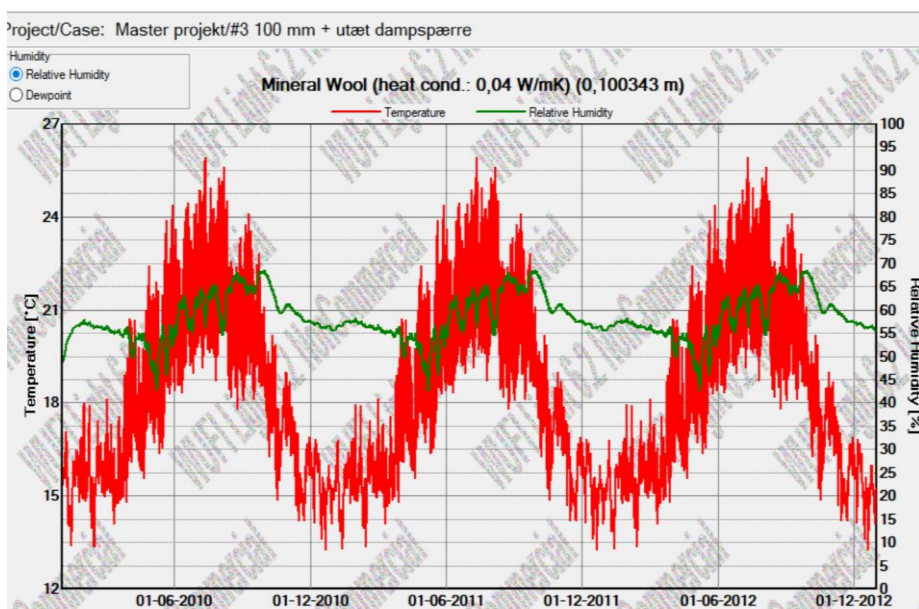
Ved at sammenligne Figur 16 og



Figur 17, som viser samme konstruktion med en tæt og en utæt dampspærre, kan der ses at den relative fugtighed inde i konstruktionen er højere ved en utæt dampspærre om vinteren. Dette skyldes at varm og fugtig luft fra bolig kan trænge ind i konstruktionen, til forskel fra en konstruktion med en tæt dampspærre, som spærrer så luften ikke kan komme ind i konstruktionen. Det kan især ses om vinteren, fordi at varm luft kan indeholde mere fugt, som ved nedkøling gør at luftens fugtighed stiger.



Figur 16 Målepunkt 2 - Temperaturen og den relative fugtighed i konstruktion med en tæt dampspærre og 100 mm isolering



Figur 17 Målepunkt 2 - Temperaturen og den relative fugtighed i konstruktion med en utæt dampspærre og 100 mm isolering

Den sikreste og ofte letteste løsning vil være at etablere en ny dampspærre under det eksisterende loft, som i nogle tilfælde vil kræve udskiftning af den eksisterende loftsbeklædning. Det skal sikres, at der udføres en tæt tilslutning til væggene og omkring lampeudtag og lignende. (Møller, 2012). Konstruktionen kan efterisoleres med 100mm eller 200mm mineraluld, uden at det har den store betydning for fugtforholdene inde i konstruktionen.

8.3. Ydervæg

Efterisolering af ydervægge kan ske både på indersiden og på ydersiden, fordele og ulemper for de to efterisoleringstyper er beskrevet i afsnit 5.4. Parcelhusene fra 1960'erne-1970'erne har ofte en ret lille arkitektonisk værdi og kan derfor efterisoleres udvendig, dette vil dog medføre at huset får et nyt udseende.

Ved udvendig efterisolering kan der anvendes forskellige løsninger f.eks. isolering med facadepuds, isoleret skeletkonstruktion med en let regnskærm eller skalmur med isolering. Der findes også flere løsninger, som kan anvendes som indvendig efterisolering, f.eks. skelet konstruktion af træ eller stålprofiler, eller isolering med kalciumsilikat plader.

I denne rapport vil der undersøges følgende efterisoleringsløsninger og deres indflydelse på fugtforholdene inde i konstruktionen:

- Udvendig efterisolering med 200 mm facadebatts og puds
- Udvendig efterisolering med 200 mm stenuld og let regnskærm
- Udvendig efterisolering med 200 mm grå EPS
- Indvendig efterisolering med stolpekonstruktion og 100 mm stenuld
- Indvendig efterisolering med kalciumsilikatplader.

Beregninger af U-værdier og vurdering af fugtforhold i de nævnte efterisoleringsløsninger fremgår af afsnit 8.3.1 til afsnit 8.3.5.

Tabel 12 viser en oversigt over U-værdier og varmebehovsreduktion for de undersøgte efterisoleringsløsninger. Ud fra de foretagende vurderinger af de fem udvalgte efterisoleringsmuligheder, som fremgår af afsnit 8.3.1 til afsnit 8.3.5 kan der konkluderes, at for at overholde kravet til varmetabet gennem en typisk ydervæg fra 1960'erne-1970'erne kræves der rimelige store isoleringstykkelser. Indvendig efterisolering er generelt behæftet med mange risikofaktorer, som skimmelvækst og frostsprængning af mursten. Anvendelse af indvendig efterisolering kan derfor ikke forsvares, kontra anvendelse af udvendig efterisolering, så længe der ikke er tale om bevaringsværdige facader eller facader med en høj arkitektonisk værdi.

Alle de tre undersøgte udvendige efterisoleringsløsninger overholder krav til varmetabet i det gældende bygningsreglement. Fordelen ved udvendig efterisolering er, at den eksisterende ydervæg bliver godt beskyttet mod vind, vejret og fros bagved den ny isolering. Som resultat af udvendig efterisolering får husets facade et nyt udseende. Efterisolering med grå EPS kan ikke anbefales på grund af den lave brandsikkerheds klassifikation. I fugtmæssig forstand fungerer de undersøgte konstruktioner med udvendig efterisolering af stenuld med puds og let regnskærm lige godt: let facadebeklædning beskytter konstruktionen fra direkte regn påvirkning, hvorimod puds optager en del af fugten, som bliver hurtigt udtørret igen.

	Oprindelig ydervæg	Ydervæg efterisoleret og med let regnskærm	Ydervæg efterisoleret med facadebatts	Ydervæg med indvendig efterisolering af mineraluld	Ydervæg efterisoleret med grå EPS	Ydervæg med indvendig efterisolering af kalciumsilikat-plader
U-værdi W/m ² K	0,43	0,12	0,13	0,21	0,11	0,26
Reduktion af varmebehovet i kWh/m ² pr. år	-	18,6	18,0	13,3	19,2	10,3

Tabel 12 Samlet tabel over U-værdier: før efterisolering og med de foreslåede efterisoleringstyper, samt den årlige reduktion af varmebehovet. Med grønt markeret de U-værdier, som overholder krav til U-værdier ved renovering i BR 18.

8.3.1. Facadebatts og puds

Udvendig efterisolering med facadebatts udføres ved klæbning af stive og hårde isoleringsplader, som består af 15 mm hårdt og trykfordelende top lag, og et lettere, stabiliserende bundlag af vand- og fugtafvisende stenuld.² Efter klæbning behandles pladerne med underpuds, derefter opsættes armeringsvæv og påføres sidste lag af slutpuds. Pladerne har en lambda-værdi på 0,037 W/mK. Udvendig facadeisolering beskytter ydervæggen, som giver længere levetid for de eksisterende konstruktioner. Tabel 13 viser U-værdi beregning for efterisolering med 200 mm facadebatts. Der regnes ikke med korrektion for murbinder, idet den kuldebro de skaber, brydes af den udvendige isolering. U-værdi efter isolering vil være 0,13 W/m²K, som overholder krav til efterisolering af ydervæg i BR 18, som siger at U-værdi skal være under 0,18 W/m²K. Ved at vælge denne efterisoleringsløsning vil det årlige energibehov blive reduceret med 18,0 kWh/m² per år.

Ydervæg med udvendig efterisolering med facadebatts	<i>d</i> [m]	λ W/mK	<i>R</i> m ² K/W	<i>U</i> W/m ² K
Indvendig overgangsisolans			0,130	
Porebeton, 650 kg/m ³	0,1	0,16	0,625	
Isolering, mineraluld	0,075	0,050	1,500	
Mursten, massiv - 1800kg/m ³	0,108	1,650	0,065	
Facadebatts	0,200	0,037	5,405	
Armeret systempuds	0,015	0,500	0,030	
Udvendig overgangsisolans			0,040	
		ΣR	7,80	
U-værdi				0,128

Tabel 13 U-værdi beregning for udvendig efterisolering af ydervæggen med 200 mm facadebatts.

Der opbygges en WUFI model af ydervæggen med udvendig efterisolering af 200 mm facadebatts og puds på ydersiden. Der foretages simuleringer med samme forhold, som tidligere, se afsnit 6.1. Udvendig facadeisolering med facadebatts gør at den eksisterende ydervægskonstruktion bliver beskyttet fra ude påvirkninger. Temperatur af den eksisterende ydervæg svinger mellem 13 og 20 C°. Både puds og facadebatts har en lav diffusionsmodstand, som gør at fugten optages og udtørres naturligt.

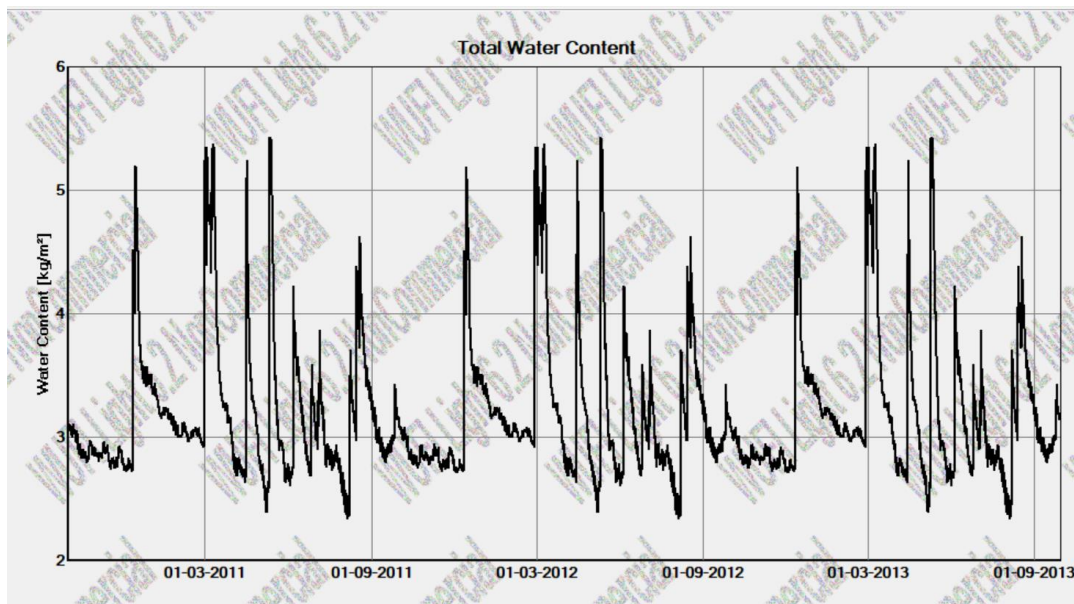
Samlet fugtindhold i konstruktionen over 3 år svinger en del, dette skyldes at pudsen kan optage og afgive store mængder fugt. Jo dybere inde i konstruktionen man ser, jo mere stabilt bliver fugtindholdet.

Fugtforholdene inde i konstruktionen ser meget fornuftige ud. Figur 20 viser den relative fugtighed og temperatur på indvendige side af ydervæggen over en 3-årsperiode. Den relative fugtighed på den indvendige vægoverflade, på ydersiden af porebeton og i hulrummet ligger under RF 75%, der er derfor ikke risiko for skimmelvækst. I resten af konstruktionen dvs. mursten, isoleringsplader og puds, svinger den relative fugtighed fra RF 60% til 100%, dog gør dette ingen skade. Da der er anvendte diffusionsåbne materialer, sker der ikke fugtakkumulering i konstruktionen og fugt kan bevæge sig ind og ud. Ud over det findes der ikke nogen organiske materialer til stede, og hermed ingen grobund for skimmel.

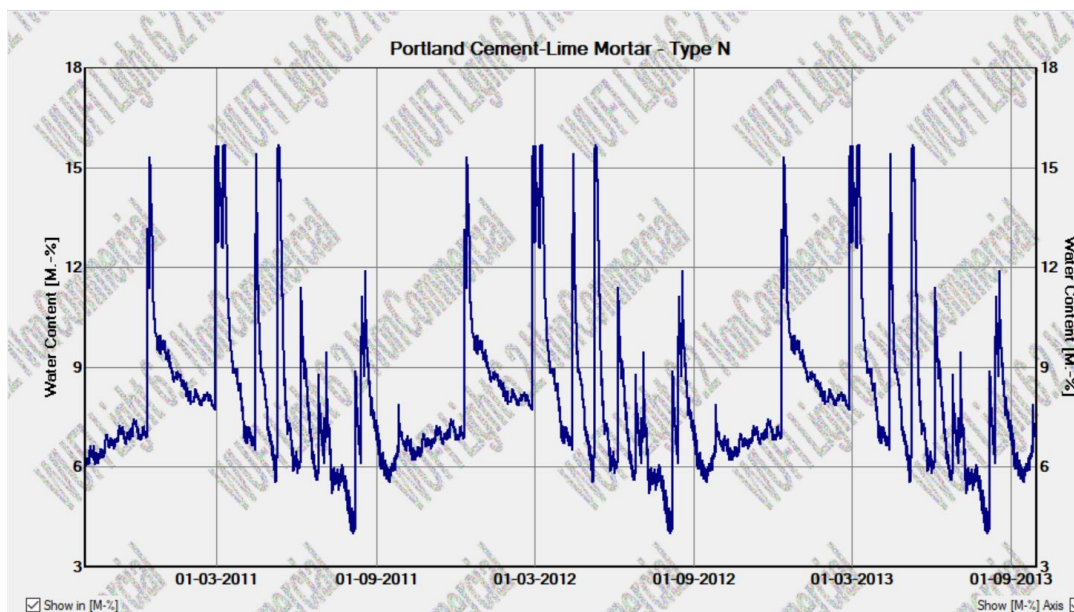
Generelt set er der ingen forhindringer til at anvende den beskrevet løsning, fordi at vægkonstruktion bliver godt isoleret, U-værdien ligger lavere end det mindste krav til

² Oplysninger indhentet hos Rockwool for produktet Rockwool FACADEBATTs.

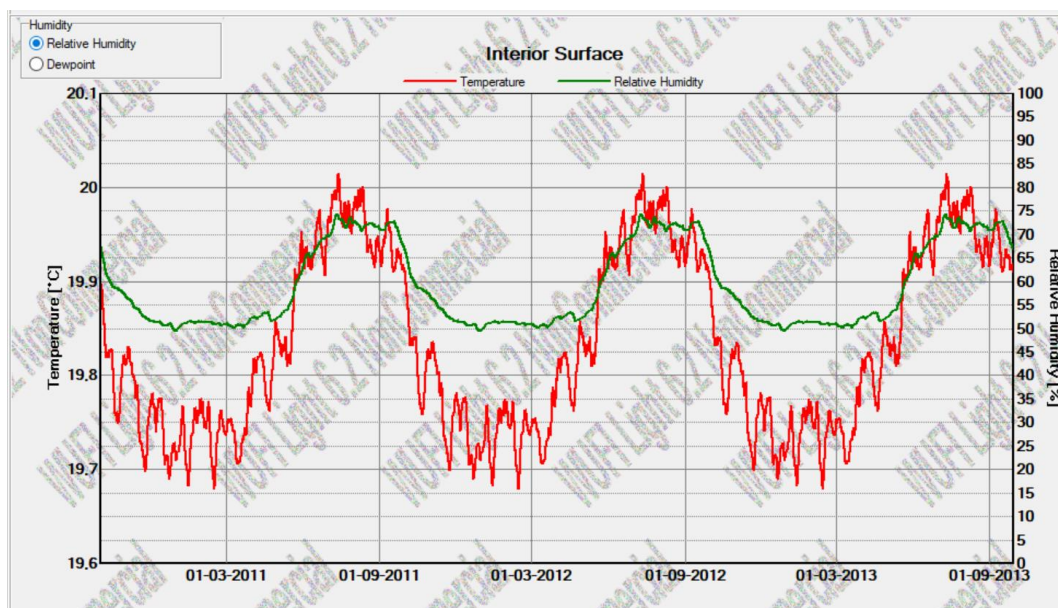
efterisolering af ydervægge, fugtforholdene i konstruktionen er fornuftige. Ved anvendelse af den beskrevet løsning vil huset få et nyt udseende i form af pudsede facader. Som ulempe kan nævnes, at pudsede facader har en kortere levetid end facader i mursten. Ifølge Teknologisk institut er den forventede levetid for pudsede facader omkring 30 år (Berlingske, 2005), hvorimod tegl kan have en levetid på over 150 år.



Figur 18 Samlet fugtindhold i ydervæg efterisoleret med 200 mm facadebatts.



Figur 19 Fugtindhold i pudslaget i ydervæg med 200 mm efterisolering med facadebatts.



Figur 20 Diagrammet viser den relative luftfugtighed og temperatur på den indvendige vægoverflade for en ydervæg, som er efterisoleret med 200mm facadebatts.

8.3.2. Stenuld og let regn skærm

Isoleringsplader er fremstillet af ikke-brændbar stenuld. Stenuld er et uorganisk materiale, som ikke suger fugt og ikke danner grobund for svamp og råd. Materialet er klassificeret som klasse A1- materiale, som er det højeste kravniveau. Efterisolering foregår ved at de hårde plader af stenuld skæres til og skrues sammen ved hjælp af friktionsplader og skruer, som skrues fast på bagvæggen. Derefter monteres planker af træ, som kan bruges til montering af de fleste regnskærm. Tabel 14 viser beregning af U-værdi for efterisolering med 200 mm stenuld under let facadebeklædning.³ Der regnes heller ikke med korrektion for murbinder. Den valgte efterisoleringsløsning reducerer U-værdien til 0,12 W/m²K, som overholder kravet i BR18. Ved at efterisolere med den beskrevet løsning kan der spares 18,6 kWh/m² pr. år.

Ydervæg	d [m]	λ W/mK	R m ² K/W	U` W/m ² K
Indvendig overgangsisolans			0,130	
Porebeton, 650 kg/m ³	0,1	0,16	0,625	
Isolering, mineraluld	0,075	0,050	1,500	
Mursten, massiv - 1800kg/m ³	0,108	1,650	0,065	
Flex Systembatts	0,200	0,033	6,061	
Lægter	0,027	0,859	0,031	
Facadebeklædning	0,006	0,350	0,017	
Udvendig overgangsisolans			0,040	
		ΣR	8,47	
U				0,118

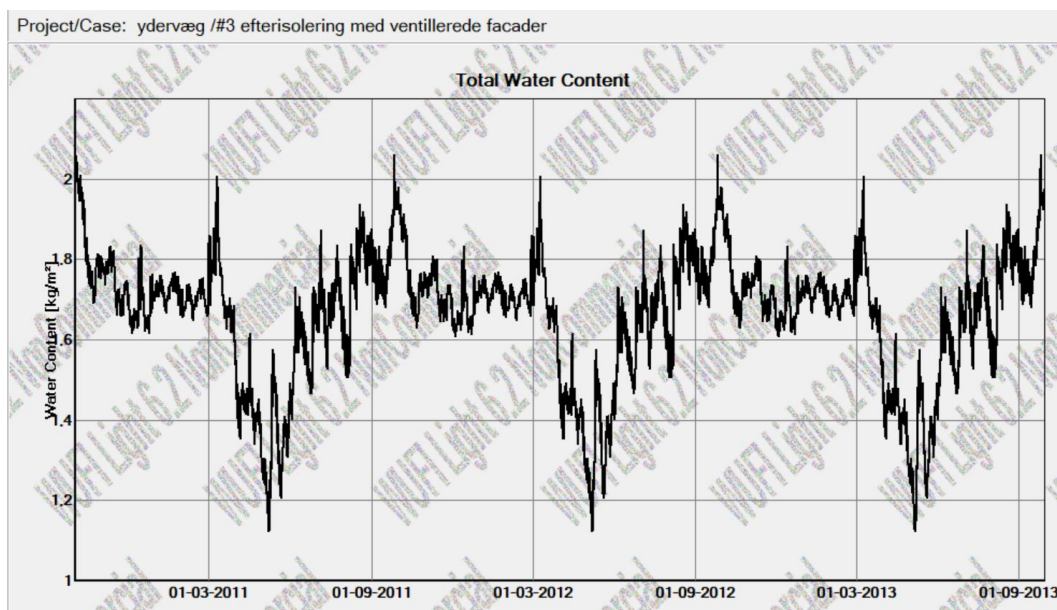
Tabel 14 U-værdi beregning for udvendig efterisolering af ydervæg med 200 mm stenuld og let facadebeklædning.

Efterisolering med stenuld og ventilerede facade ligner meget den tidligere undersøgte løsning med efterisolering med facadebatts og facadepuds. Let facadebeklædning beskytter vægkonstruktionen fra direkte regn påvirkning. Fugtforholdet inde i konstruktionen ser meget fornuftigt ud, den relativ fugtighed ligger under RF 75 % fra indersiden af væggen og indtil indersiden af bagmuren. Samlet fugtindhold i konstruktionen svinger lidt op og ned i løbet af året, dog uden at der opstår fugtakkumulering inde i konstruktionen, se Figur 21. Isoleringsmateriale er meget diffusionsåben, derfor kan fugten transporteres hurtigt både ind og ud. Figur 22 viser den relative fugtighed og temperatur kurve i ydersiden af isoleringslag. Fugtighed falder i takt med temperaturen stiger. Figur 23 viser temperatur og den relative luftfugtighed på indersiden af ydervæggen, som ligger under det kritiske fugtniveau og svarer til almindelige fugt og temperatur forhold i en bolig.

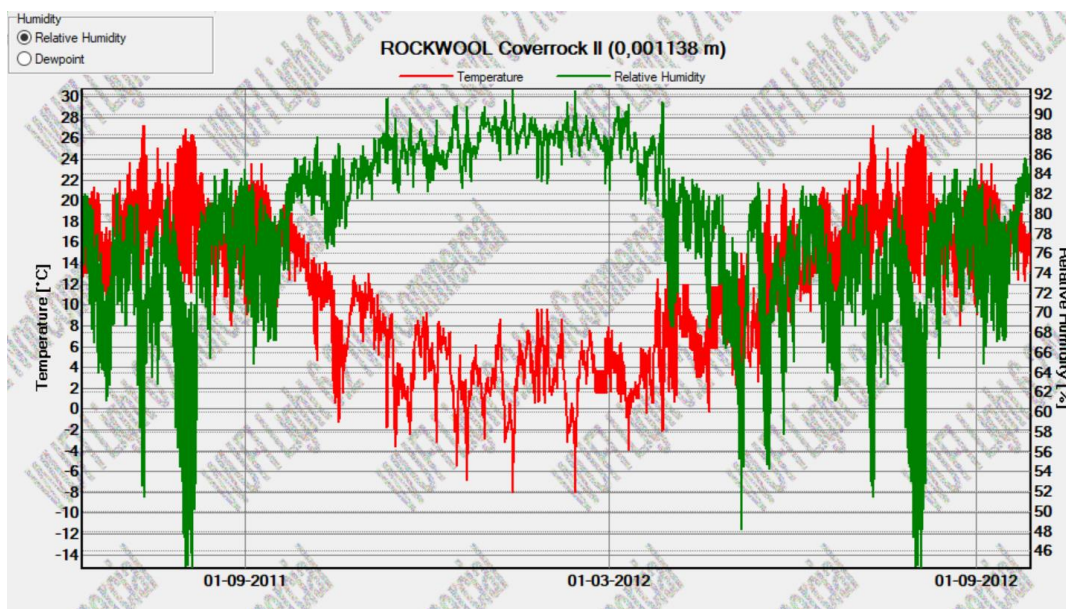
Let facadebeklædning har en levetid, som varierer afhængige af det valgte materiale, f.eks. kan træbeklædning have levetid op til 30 år og kræver løbende vedligehold. Facade beklædning af eternitplade har lige så lang levetid, men kræver ingen vedligehold. Fordelen ved facadebeklædning er, at det er relativt nemt at udskifte et par plader, hvis behovet opstår og at der findes mange forskellige beklædningstyper på markedet.

Generelt ser løsningen ud til at give det ønskede resultat – god isoleringsevne og forsvarlige fugtforhold i konstruktionen.

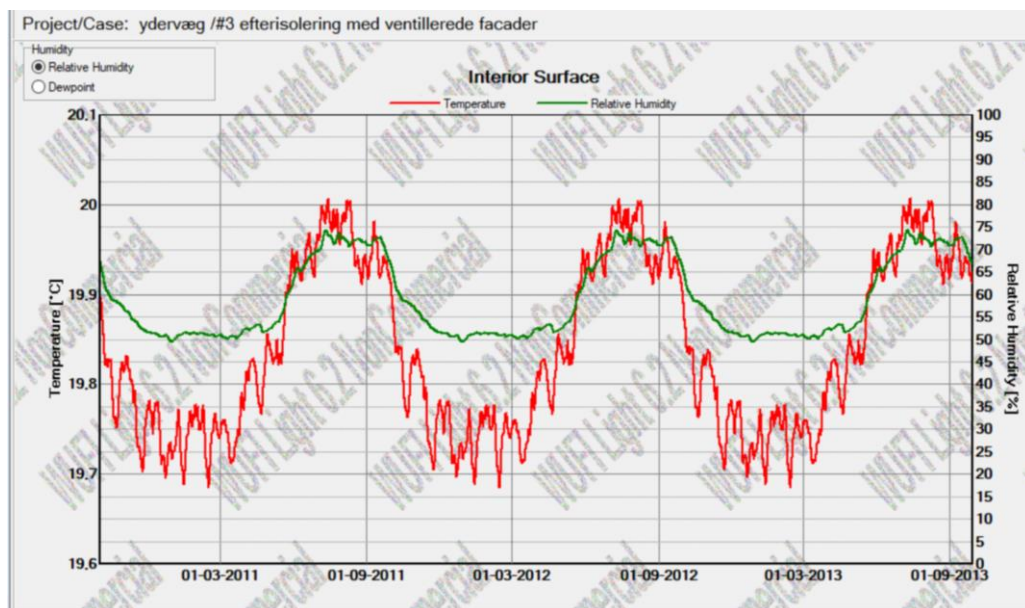
³ Beskrivelse baseres på systemet Rockwool RedAir



Figur 21 Samlet fugtindhold i ydervæg efterisoleret med 200mm stenuld med let facadebeklædning over en 3-årsperiode.



Figur 22 Diagrammet viser den relative fugtighed og temperatur på ydersiden af den udvendige efterisolering i ydervæggen efterisoleret med 200 mm stenuld og let facadebeklædning.



Figur 23 Diagrammet viser den relative fugtighed og temperatur på indvendige side af ydervæggen isoleret med 200 stenuld og let facadebeklædning.

8.3.3. Grå EPS

Grå ekspanderet polystyren (EPS) er et isoleringsmateriale fremstillet af ekspanderet polystyren, hvor der i produktionsfasen er tilsat grafit. Tilsætning af grafit gør materialet bedre til at reflektere og opsuge infrarød stråling, som gør at materialet holder bedre på varmen. Grå EPS har samme egenskaber som almindelig EPS, når det handler om trækstyrke og fugtoptagelse. Lambda-værdi for materialet er 0,031 W/mK. Materialet klassificeres, som brandklasse F-materiale, som betyder at produktets brandegenskaber enten ikke er dokumenteret eller ikke lever op til noget klassifikationskrav. Derfor kan materialet kun anvendes til efterisolering af enfamiliehuse på max. 2 etager og ved anvendelse af et godkendt pudssystem.⁴

Ydervæg	d [m]	λ W/mK	R m ² K/W	U W/m ² K
Indvendig overgangsisolans			0,130	
Porebeton, 650 kg/m ³	0,100	0,160	0,625	
Isolering, mineraluld	0,075	0,050	1,500	
Mursten, massiv - 1800kg/m ³	0,108	1,650	0,065	
Grå EPS	0,200	0,031	6,452	
Puds KC (1000 kg/m ³)	0,010	0,300	0,033	
Udvendig overgangsisolans			0,040	
		ΣR	8,85	
U-værdi				0,113

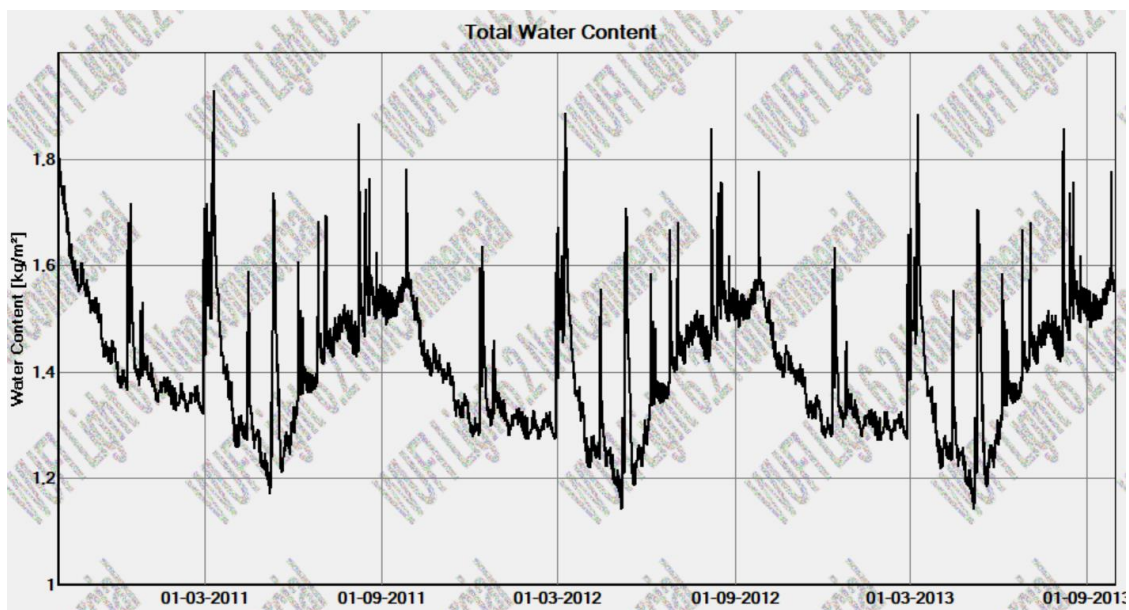
Tabel 15 U-værdi beregning for udvendig efterisolering af ydervæg med 200 mm grå EPS.

Pladerne klæbes på ydersiden af ydervægge med en uorganisk klæber. Overfladen pudses med grov puds, forstærkes med et armeringsnet og finpudses derefter. Facadepuds har en levetid på 30 år. Tabel 15 viser U-værdi beregning for udvendig efterisolering med grå EPS. Ved at efterisolere med 200 mm kan der opnås en U-værdi på 0,11 W/m²K.

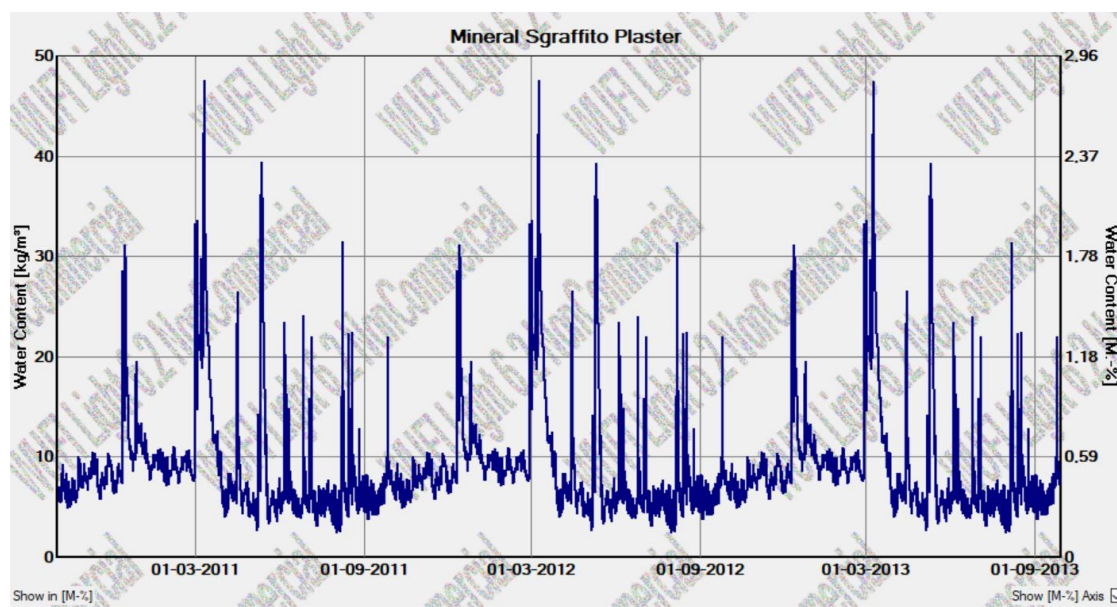
Konstruktionen ser ud til at være robust i fugtmæssig forstand. Figur 24 viser det samlede fugtindhold i konstruktionen over en 3-årsperiode. Pudsen er meget diffusionsåben og kan optage og afgive store mængder fugt, derfor kan der ses de kraftige stigninger og fald i det samlede fugtindhold i konstruktionen, og især i pudslaget, se Figur 25. Den eksisterende ydervægskonstruktion ligger godt beskyttet af udvendige efterisolering, det gør at fugtindholdet i mursten ligger på det samme niveau hele året rundt og fugtigheden i porebeton og isoleringslaget følger fugtigheden inde i boligen. Den relative fugtighed på indvendige vægoverflade ligger under RF 75% og der hermed ikke er fare for skimmelvækst.

Samlet set fungerer konstruktionen efter hensigten, der er ikke risiko for kondens eller skimmelvækst, konstruktionen akkumulerer ikke fugten i sig og ydervæggen overholder kravet til U-værdi ved efterisolering. Som ulemper ved denne løsning kan der nævnes de lave brandmodstandsegenskaber. Ved gennemførelse af udvendig efterisolering med grå EPS kan der opnås en reduktion af varmebehovet med 19,2 kWh/m² pr. år.

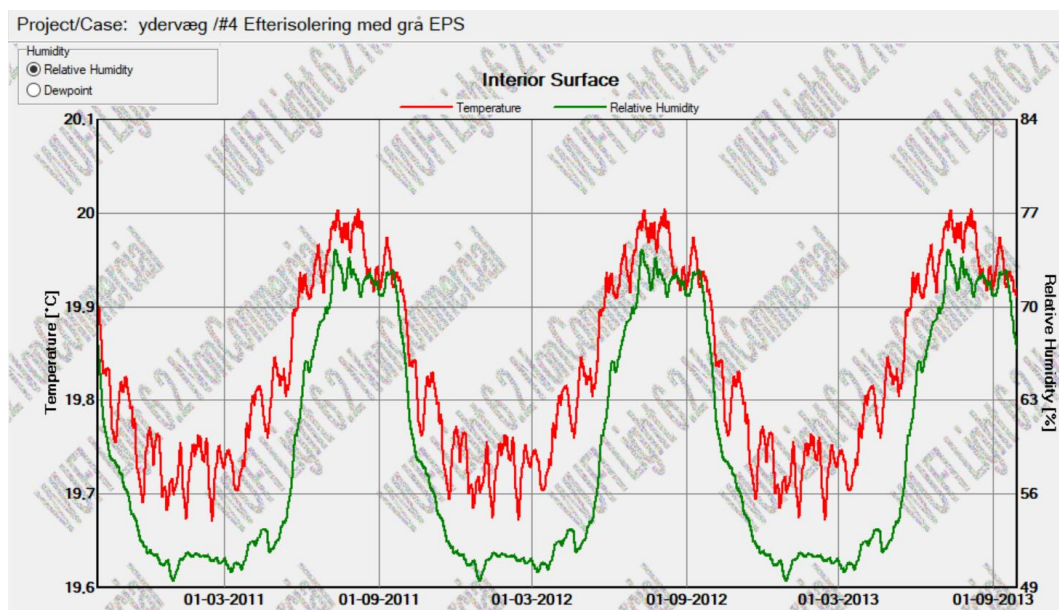
⁴ Beskrivelsen baseres på Jackon Super EPS® 80, <https://www.jackon.dk/produkter/jackon-eps/jackon-super-eps-2/jackon-super-eps-80-facadeplader-2/>



Figur 24 Diagrammet viser det samlede fugtindhold i ydervæggen efterisoleret med 200 mm grå EPS.



Figur 25 Diagrammet viser fugtindholdet i pudslaget i ydervæggen efterisoleret med 200 mm grå EPS.



Figur 26 Diagrammet viser den relative fugtighed og temperatur på den indvendige overflade af ydervæggen efterisoleret med 200 mm grå EPS.

8.3.4. Kalciumsilikatplader

Kalciumsilikatplader er diffusionsåbne uorganiske plader, som består af kalciumsilikat og vand.⁵ Pladerne monteres ved fuldklæbning med uorganisk klæber på en afrenset og plan vægoverflade, så der ikke opstår risiko for hulrum bagved isolering eller mulighed for næring for mikroorganismer. Pladerne fungerer således, at de sørger for at den indvendige overfladetemperatur hæves, så overfladekondens undgås og den fugt, som kondenserer i materialet fjernes løbende, så der ikke opstår kritiske fugtforhold i konstruktionen. Det er derfor vigtigt at huske, at vægoverflade skal behandles med diffusionsåbne materialer, så som silikatmaling, som ikke forhindrer diffusionen ud i rummet. Pladerne er klassificeret som Klasse A1, ikke brændbart materiale og har en lambda-værdi på 0,065 W/mK. Tabel 16 viser U-værdi beregning for indvendig efterisolering af ydervæggen med 100 mm kalciumsilikatplader, som er beregnet til 0,26 W/m²K.

Ydervæg med efterisolering af kalciumsilikatplader	d [m]	λ W/mK	R m ² K/W	U' W/m ² K
Indvendig overgangsisolans			0,130	
Kalciumsilikatplader	0,100	0,065	1,538	
Porebeton, 650 kg/m ³	0,1	0,16	0,625	
Isolering, mineraluld	0,075	0,050	1,500	
Mursten, massiv - 1800kg/m ³	0,108	1,650	0,065	
Udvendig overgangsisolans			0,040	
		ΣR	3,90	
U'				0,256
Korrektion for murbinder				0,008
U-værdi				0,264

Tabel 16 U-værdi beregning for efterisolering af ydervæg med kalciumsilikatplader.

Ved at anvende kalciumsilikatplader med en tykkelse på 100 mm, kan der ikke opnås en U-værdi, som overholder kravet i BR 18. Jf. producentens anvisning kan det ikke anbefales at bruge mere end 100 mm-plader, fordi at det vil reducere mulighed for diffusionen ud i boligen.

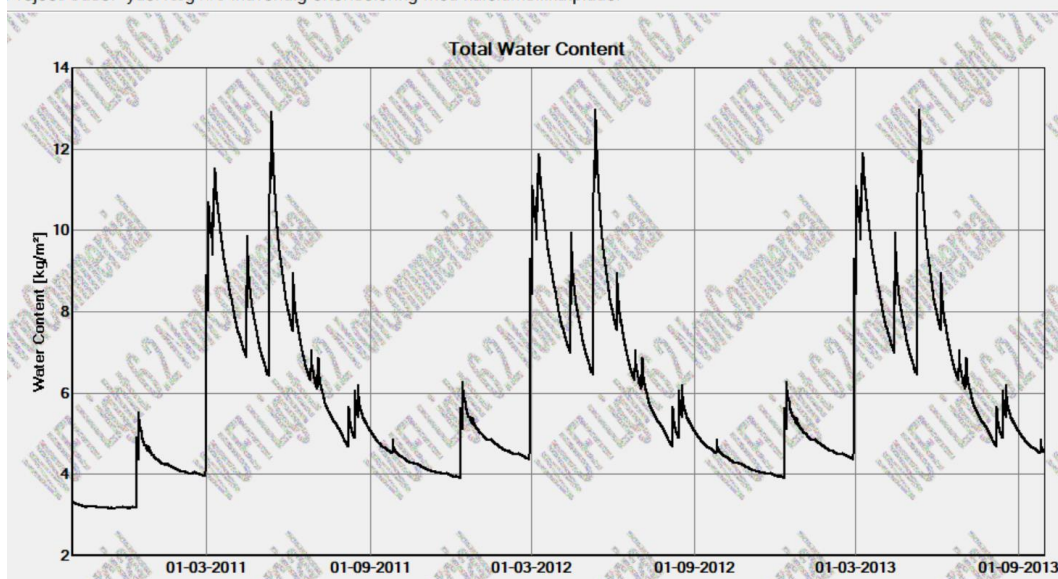
Figur 27 viser samlet fugtindhold i konstruktionen over en 3-årsperiode. De store pigge kan forklares med at murstensvæg optager fugt ved en direkte regn påvirkning, som senere fordamper til den side, hvor damptrykket er lavest.

Figur 28 viser den relative fugtighed og temperatur på den udvendige overflade af ydervæggen. Fugtigheden ligger rigtig højt, på omkring 100% og overfladetemperatur falder til under frysepunktet nogle gange om året. Kombination af den høje relative fugtighed og lave temperatur om vinteren kan resultere i frostsprængning af mursten, især når der er tale om mursten, som muligvis har fået mere porøsoverflade gennem deres levetid. Figur 29 viser temperatur og den relative fugtighed på indersiden af ydervæggen. Den mindste overfladetemperatur over hele året er 19,4 C°, som er en lille stigning i forholdt til udgangspunktet, hvor den laveste overfladetemperatur har været 19,0 C°.

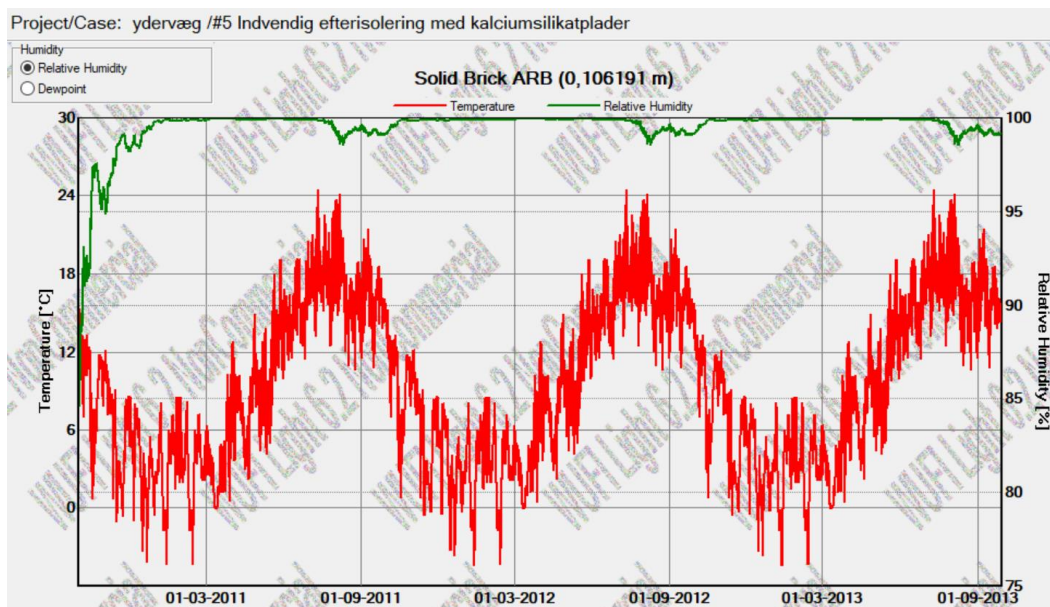
⁵ f.eks. Microtherm® indeklimaplader

Den relative fugtighed i kalciumpulikatplader svinger fra RF 60% til RF 82% som kan forklares med fugttransporten gennem pladen. Den høje relative fugtighed medfører ikke en fare for skimmelvækst, idet der er tale om uorganiske plader. Anvendelse af indvendig isolering med 100 mm kalciumpulikatplader kan reducere varmebehovet med 10,3 kWh/m² pr. år.

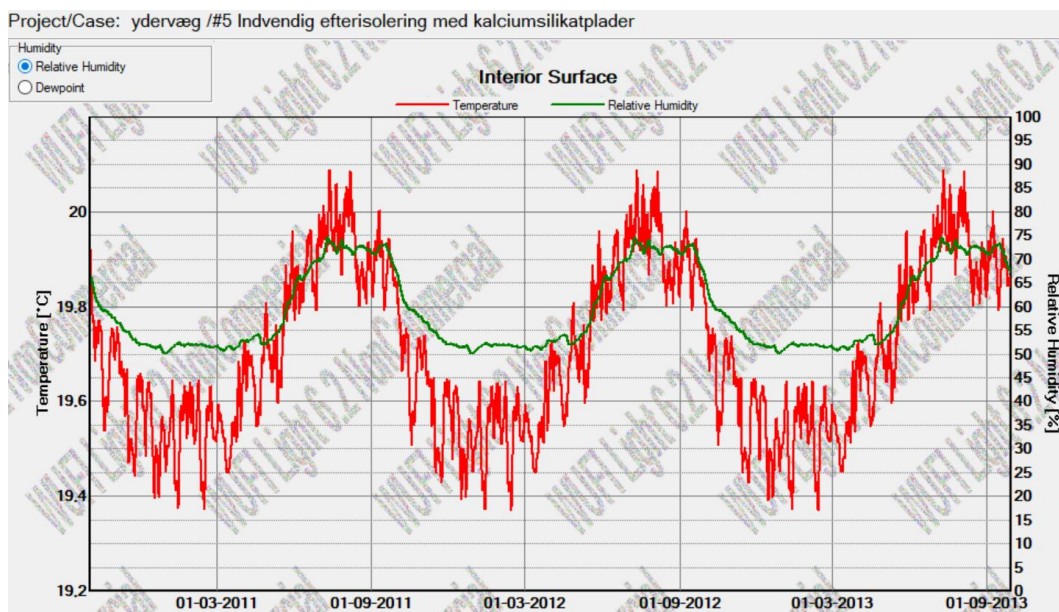
Project/Case: ydervæg /#5 Indvendig efterisolering med kalciumpulikatplader



Figur 27 Diagrammet viser samlet fugtindhold i ydervæggen med indvendig efterisolering af 100mm kalciumpulikatplader.



Figur 28 Temperatur og den relative fugtighed på ydersiden af væggen indvendig efterisoleret med 100 mm kalciumpulikatplader



Figur 29 Diagrammet viser den relative fugtighed og temperatur på indersiden af kalksilikatplader ved indvendig efterisolering med 100 mm.

Anvendelse af indvendig efterisolering med kalksilikatplader kan ikke anbefales i dette tilfælde, selv om varmetabet gennem konstruktionen bliver reduceret og konstruktionen kan fungere i fugtmæssigforstand. Ulempen med denne løsning er, at indvendig efterisolering reducerer boligens nettoareal, reduktion af varmebehovet er mindre end ved anvendelse af de tidligere undersøgte efterisoleringsløsninger, temperaturen på ydervæggens udvendige side sænkes, som kan medføre frostsprængninger af mursten. Denne isoleringsløsning har den fordel, at den bevarer husets facade, som ikke betyder så meget i det undersøgte tilfælde, idet de murede facader i husene fra 1960'erne-1970'erne ikke har nogen særlige bemærkningsværdige detaljer.

8.3.5. Indvendig efterisolering med mineraluld

Indvendig efterisolering med mineraluld udføres således, at den eksisterende vægoverflade renses for maling og andre organiske materialer. Der opbygges et træ- eller stålskelet med et ubrudt lag isolering mellem den eksisterende væg og den nye skeletvæg. Dampspærren monteres på indersiden mellem isoleringen og pladebeklædning. Der skal sikres at dampspærren tilsluttes tæt til tilstødende bygningsdele. ⁶ Tabel 17 viser U-værdiberegning for ydervæggen, som efterisoleres med 45 mm uafbrudt isolering og en konstruktion, som består af isolering og træregler på 45x45mm, en dampspærre og to lag gips. Mineraluld har en lambda-værdi på 0,034 W/mK. Ved at anvende indvendig efterisolering med mineraluld på ca. 100 mm kan der opnås en U-værdi på 0,21 W/m²K, som overskrider de mindste isoleringskrav i BR18. Ved at øge isolerings tykkelse med 50 mm, kan der opnås en U-værdi på 0,17 W/m²K, som er i overensstemmelse med bygningsreglementets krav. Den løsning vil dog ikke overvejes i rapporten, idet det medføre en stor reduktion af netto boligarealet.

Ydervæg med indvendige efterisolering	<i>d</i> [m]	λ W/mK	<i>R</i> m ² K/W	<i>U</i> W/m ² K
Indvendig overgangsisolans			0,130	
Gips beklædning, 2 lag	0,024	0,25	0,096	
Inhomogen lag: isolering og træ	0,045	0,042	1,071	
Isolering, uafbrudt lag	0,045	0,034	1,324	
Porebeton, 650 kg/m ³	0,1	0,16	0,625	
Isolering, mineraluld	0,075	0,050	1,500	
Mursten, massiv - 1800kg/m ³	0,108	1,650	0,065	
Udvendig overgangsisolans			0,040	
		ΣR	4,85	
U				0,21

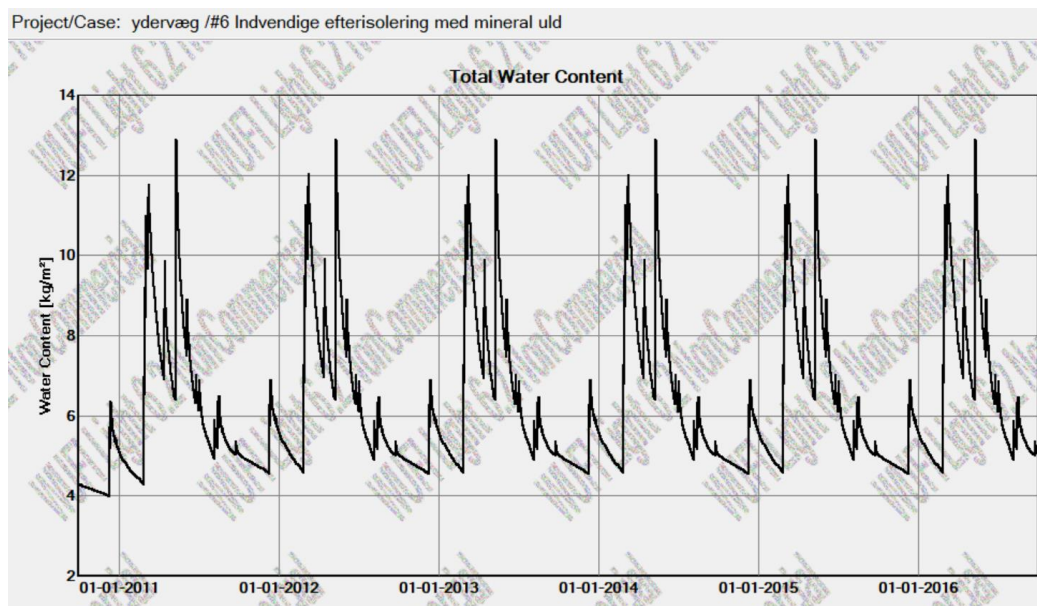
Tabel 17 U-værdiberegning for indvendig efterisolering af ydervæg med 90 mm mineraluld.

Den årlige besparelse ved denne løsning er 13,3 kWh/m² pr. år. Det samlede fugtindhold i ydervæggen med indvendige efterisolering ser ud til at være lidt stigende ved en simulering over tre år, derfor foretages en simulering over længere tidsperiode, for at undersøge om der sker en fugtakkumulering i konstruktionen, eller den er ved at opnå en ligevægt. Figur 30 viser fugtindholdet i ydervæggen over en periode på seks år, hvor fugtindholdet i ydervæggen stabiliseres efter de første to år.

Det er erfaringsmæssigt bevist, at indvendig isolering med mineraluld og indbygget dampspærre udgør en stor risiko for fugt og skimmel. (Brandt, 2013) Den relative fugtighed og temperatur mellem to gipslag er meget ens med forholdene på inderside af væggen og mellem gipsen og dampspærren og ligger under RF 75%, se

Figur 31. Fugtighed i den eksisterende ydervægskonstruktion er meget høj og ligger over 75 % i længere tidsperioder. I kombination med temperatur på omkring 20 C° skaber det gunstige betingelser for skimmelvækst. Figur 32 viser forholdene i det eksisterende isoleringslag med målepunktet tæt på bagmuren. Røde cirkel på Figur 32 markerer perioden, hvor der opstår risiko for skimmelvækst.

⁶ Løsningen er baseret på indvendig isoleringsløsning fra Knauf ®

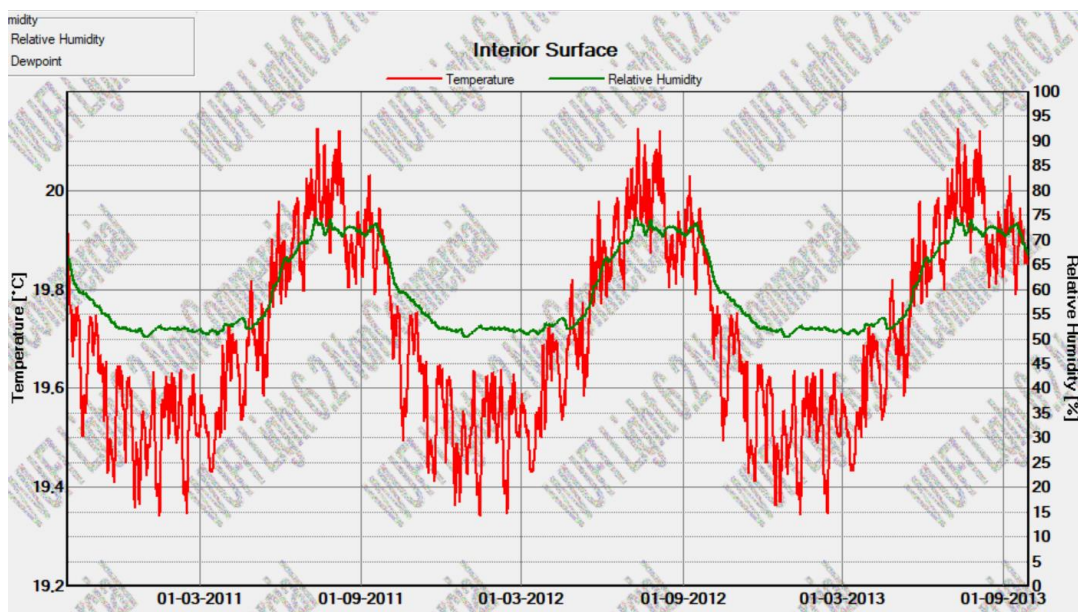


Figur 30 Diagrammet viser det samlede fugtindhold i ydervæggen med indvendig efterisolering af mineraluld simuleret over en 6-årperiode.

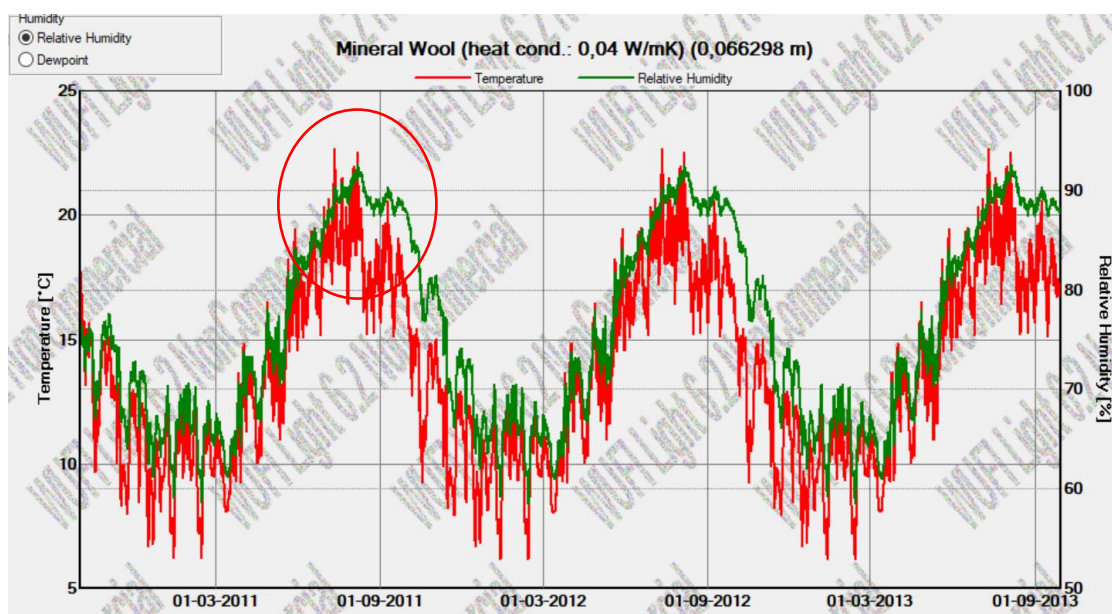
Den anden fare med indvendige efterisolering kan være at dampspærren ikke er tæt, hvilket gør at fugtig luft fra boligen kan trænge igennem gips og isolering. Når den varme luft rammer kold luft fra ydervæggen, vil den relative fugtighed stige og i det værste fald kondensere. (www.indeklimaportalen.dk)

Skimmel kræver dog mere end fugtige omgivelser, det kræver også organisk materiale til at leve på, som f.eks. træ, tapetrester, pap eller lign. Hvis fugtforholdet holdes højt over længere tid, kan skimmel også gro i det støv som findes på overflader, selv om der er tale om uorganiske materialer, som tegl og porebeton. (www.indeklimaportalen.dk)

Indvendig efterisolering med mineraluld og træskelet er ikke den løsning, som generelt kan anbefales til alle husejer, den skal kun anvendes, når der ikke er andre muligheder for at efterisolere væggen. Indvendig efterisolering med 100 mm mineraluld kan ikke overholde krav til efterisolering i BR 18, det reducerer boligarealet og kræver et meget præcist håndværksarbejde i forbindelse med montage af dampspærre, som dog ikke altid kan garantere at, der ikke sker skimmelvækst inde i konstruktionen.



Figur 31 Diagrammet viser den relative fugtighed og temperatur mellem to gips lag i ydervægskonstruktionen, som er efterisoleret indvendig med mineraluld.



Figur 32 Diagrammet viser den relative fugtighed og temperatur i ydervæggen med indvendig efterisolering. Målpunktet placeret i den eksisterende isolering tæt på porebeton. Den gunstige periode for skimmelvækst markeret med en rød cirkel.

8.4. Terrændæk

Det er rigtig vanskeligt at efterisolere terrændækskonstruktion i husene fra 1960'erne - 1970'erne. Varmetabet gennem et terrændæk kan reduceres ved at efterisolere det eksisterende terrændæk eller ved at udskifte det eksisterende terrændæk med et nyt. Sidste løsning indebærer dog, at det gamle gulv inkl. betonlag bliver brækket op og der bliver gravet ud til ekstra isolering.

Efterisolering af terrændæk oppefra er ofte ikke muligt, det skyldes begrænset loftshøjde og døråbninger. Hvis terrændækskonstruktion indeholder et hulrum f.eks. i forbindelse med gulv på strøer, kan dette evt. udfyldes med isolering. Det er erfaringsmæssigt bevist, at der maksimalt må efterisoleres med 50 mm over betonen. Isoleringstykkelsen kan forøges til 75 mm, hvis sokkel er varmeisoleret. (Møller, 2012) Ud fra den udarbejdede generiske model for et typehus fra 1960'erne-1970'erne kan der ikke anbefales indvendige efterisolering af terrændækket, idet der ikke findes et rum i terrændækket, som kan udfyldes med isolering og loftshøjden i typehuse er ikke særlig høj i forvejen og ligger på 2,3 m.

Terrændæk med Kooltherm isolering	d [m]	λ W/mK	R m²K/W	U' W/m²K
Indvendige overgangsisolans			0,17	
Parket	0,014	0,130	0,108	
Kooltherm isolering	0,100	0,020	5,000	
Beton	0,100	2,000	0,050	
Groft grus	0,200	2,000	0,100	
Isolans for jord			1,500	
		ΣR	6,93	
U-værdi				0,14
Terrændæk med gulvvarme og Kooltherm isolering	d [m]	λ W/mK	R m²K/W	U' W/m²K
Indvendige overgangsisolans			0,17	
Klinker	0,020	1,000	0,020	
Beton over gulvvarme	0,025	2,000	0,192	
Beton	0,025	2,000	0,192	
Mineral uld	0,050	0,020	2,500	
Beton	0,100	2,000	0,050	
Groft grus	0,200	2,000	0,100	
Isolans for jord			1,500	
		ΣR	4,34	
U-værdi				0,24

Tabel 18 U-værdi beregning for gulvkonstruktion med og uden gulvvarme, hvor eksisterende isolering er udskiftet med isolering med lambda-værdi på 0,02 W/mK.

Hvis eksisterende gulvbelægning skal skiftes ud, så udløser det krav om at der skal gennemføres rentable energibesparelser. Der kan overvejes at udskifte gammel isolering i gulvkonstruktionen med en ny, som har en lavere lambdaværdi, som f.eks. Kooltherm fra Kingspan, som har en lambda-værdi på 0,02 W/mK. ⁷ Produktet beskrives, som en stiv modificeret harpiks thermoset isoleringsplade med en fiberfri kerne og er testet som et klasse-A materialer i forhold til brandmodstand. Ved anvendelse af denne løsning, kan der opnås en

⁷ <http://www.kingspaninsulation.dk/Produkt/Kooltherm.aspx>

U-værdi på $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ for terrændæk uden gulvvarme og $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ for terrændæk med gulvvarme, se Tabel 18. Den årlige varmebehovsreduktion er beregnet til $7,3 \text{ kWh/m}^2$ pr. år.

Den bedste isoleringsevne kan opnås ved at bryde den gamle konstruktionen op og etablere en ny, som skal have en U-værdi under $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Udskiftning af et terrændæk er meget udfordrende, det kræver at alle installationer i det gamle gulv afinstalleres, det gamle terrændæk brydes op og der graves ud til den nye konstruktion med plads for yderligere isolering. Boligen kan ikke være beboet under arbejdets udførelse. Arbejdet er meget omkostningsfuld, men til gengæld ved udskiftning af terrændækket kan boligen sikres mod radon og der opnås en højere gulvtemperatur. Ved en gulvkonstruktion, som har en U-værdi på $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ kan husets varmebehov reduceres med $10,0 \text{ kWh/m}^2$ pr. år.

Når der beregnes varmetabet igennem et terrændæk, så regnes der med at jordens temperatur ligger på 10°C jf. DS418, hvorimod for en ydervæg regnes der med -12°C , og det betyder at ændringer af U-værdi for terrændækket har en mindre indflydelse på varmebehovet end U-værdier for andre bygningsdele. (Møller, 2012)

Terrændæk er den konstruktion, som er sværest at komme til at efterisolere. Samlet set er der ikke mange muligheder for at efterisolere terrændækket og den varmetabsreduktion, som kan opnås ved deres anvendelse, er begrænset, idet temperaturforskellen mellem ude og inde ikke er så stor, som for bygningsdele som ligger ud mod det fri. De omtalte isoleringsforslag kan anbefales at blive udført i forbindelse med andre byggearbejder, som tætning af boligen mod radon, udskiftning af installationer, som ligger under betondækket, eller udskiftning af gulvbelægning.

8.5. Linjetab

Linjetabet omkring vinduer er afhængige af vinduets placering i væggen i forhold til formur, bagmur og tykkelse på kuldebro afbrydelse. Tykkelsen på isolering, som bryder kuldebroen, afhænger af afstand mellem for- og bagmur i vindueshullet. De enkelte tiltag, som overvejes i rapporten, regnes derfor ikke at have en væsentlig indflydelse på linjetabet, i modsætning til kombination af flere tiltag. Det forventes ikke at det muligt at udvide tykkelse på kuldebroisolering eller at vinduerne i huset bliver rykket ud i forbindelse med efterisolering af ydervæggen, derfor regnes der med det samme linjetab, som inden renovering.

Ved kombination af tiltag, som f.eks. udvendig efterisolering og udskiftning af vinduer, er det højst sandsynligt at vinduerne bliver rykket ud i facaden, og dermed vil linjetabet for samlingen mellem vindue og væg være ikke bemærkelsesværdig.

For at reducere kuldebro mellem ydervæggen og fundamentet kan det overvejes at efterisolere soklen. Der kan anvendes isoleringsmaterialer som ekspanderet polystyren (EPS), ekstruderet polystyren (XPS), polyurethan-skum (PUR-skum) eller polyisocyanurat-skum (PIR-skum). Det er vigtigt, at isoleringsmateriale er diffusionsåben, dvs. drænende og ikke vandsugende. Den del af isolering, der placeret over terræn pudses, så det kan modstå fysiske belastninger, og pudsen føres et stykke under jordoverfladen. Der anbefales at efterisolere sokkel med minimum 100 mm isolering. (Videncenter for energibesparelser i bygninger, Januar 2010 - revideret december 2015) I det undersøgte tilfælde vil der anbefales at anvende 200 mm isolering omkring sokkel, idet der regnes med udvendig efterisolering af ydervæggen med 200 mm.

For at beregne reduktion af varmebehovet, som resultat af sokkelisolering, skal der findes værdi for linjetabet langs fundamenter. DS 418 indeholder tabeller, hvor der findes værdier for linjetabet langs fundamenter for forskellige konstruktionsløsninger og materialer, som findes i eksisterende konstruktioner eller anvendes i nybyggeri, dog ikke for efterisolering. Hvis der skal bruges en præcis værdi for linjetabet ved efterisolering, skal den beregnes ved brug af HEAT2. I denne rapport er der valgt at nøjes med overslagsberegninger, hvor der regnes med at linjetab langs et betonfundament med 200 cm efterisolering, svarende nogenlunde til linjetab for fundament med letklinkerbeton i øverste 40 cm – 0,16 W/mK, værdien er markeret med en blå cirkel i Tabel 8. Det samme gælder for fundamenter ved døre og vinduespartier. Der interpoleres mellem to værdier for linjetab for fundamenter med øverste 40 cm af letklinkerbeton, værdierne er markeret med blå cirkler i Tabel 9. Linjetabet for fundamenter under døre og vinduespartier er beregnet til 0,42 W/mK.

Efterisolering af sokkel med 200 mm isolering giver en besparelse på ca. 8,4 kWh/m² pr. år.

8.6. Ventilation

Parcelhusene fra 1960'erne-1970'erne ventileres som regel med naturlig ventilation med mekanisk udsugning fra køkkenet, bad og toilet samt åbning af vinduer og døre. Ved naturlig ventilation bruges der store energimængder til at opvarme det kolde udeluft. For at reducere energiforbruget kan der anvendes et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding. Anlægget genbruger varmen fra udblæsningsluften til at opvarme indblæsningsluften. Der kan også anvendes hybrid ventilation, som kombinerer naturlig ventilation om sommeren med mekanisk ventilation om vinteren. I den undersøgte tilfælde er der næsten ingen forskel på mekanisk og hybrid ventilation, idet der kræves udsugning fra køkken, bad og WC på 0,31 l/s pr. m², som ligger tæt på det almindelige luftskifte i boligen på 0,3 l/s pr. m².

Beregninger baseres på baggrund af tekniske data for ventilationsanlæg Nilan Comfort CT 150, som kan bruges i boliger med ventilationsbehov på op til 175 m³/h. Den generiske husmodel har et ventilationsbehov på 164 m³/h, som svarer til luftskifte på 0,5 h⁻¹.

Skema "Ventilation" i BE18 udfyldes med oplysninger for mekanisk ventilation med genvinding og for en hybrid ventilation:

- Mekanisk ventilation om vinteren sættes til 0,3 l/s pr. m², som svarer til kravet om luftskifte 0,5 h⁻¹
- Varmegenvindingens temperaturvirkningsgrad afhænger af udeluftens temperaturstigning i varmegenindvinderen, og ligger på ca. 91 % for det valgte anlæg.
- Indblæsningstemperatur, t_i, sættes til 18 °C, som svarer til anlægget har en reguleret varmegenvinder med varmeplade. På den måde fås varme indblæsningsluft, selv i de kolde måneder.
- Naturlig ventilation om vinteren, q_n vinter, sættes til 0,13 l/s pr. m². Værdien anvendes i boliger, hvor der ikke er foretaget trykprøvning.
- Specifikt elforbrug til lufttransport, SEL, svarer til 1 kJ/m³, jf. producentens datablad.
- q_m sommer, udsugning om sommeren ved hybrid ventilation sættes til 0,31 l/s pr. m², som svarer til udsugning fra køkken, bad og wc.
- I rum med mekanisk udsugning trækkes den udsugede luftstrøm fra den naturlige ventilation gennem vinduerne. q_n om sommeren ved hybrid ventilation sættes til 0,9-0,31= 0,59 l/s pr. m². (Søren Aggerholm, 2016)

Ud fra beregninger i BE18 kan det samlede varmebehov reduceres med 17,2 kWh/m² pr. år ved anvendelse af hybrid ventilation.

8.7. Opvarmning og varmt brugsvand

Husets opvarmning og varmt brugsvand leveres med indirekte fjernvarme. Varmt vand opvarmes i varmtvandsbeholder på 150 l.

Det regnes med, at varmtvandsbeholder er isoleret med 30 mm isolering, som giver et varmetab på 2,2 W/K. Ved at isolere varmtvandsbeholder med 100 mm, kan varmetabet reduceres til 1,5 W/K, se Tabel 19. Dette svarer til reduktion af energibehovet med 0,7 kWh/m² årligt.

Isolering	Ingen	30 mm	50 mm	75 mm	100 mm
50	6,1	1,2	1,0	0,9	0,8
100	9,7	1,8	1,5	1,3	1,2
110 Metro			1,14		
150	14,8	2,2	1,9	1,6	1,5

Tabel 19 Viser tab fra varmtvandsbeholdere i W/K, kolonne til venstre angiver størrelse på beholderen. Kilde: Håndbog for energikonsulenter

Der findes mange forskellige opvarmningsformer og installationer, men uanset installationstype er det vigtigt at tænke på varmetabet fra installationer og energiforbruget til deres drift. Det kan f.eks. være at forholde sig til varmtvandsbeholder, om den er placeret i et opvarmet eller i et uopvarmet rum, eller undersøge energi som bruges i standby tilstand af diverse cirkulationspumper, undersøge om der er unødvendigt varmetab fra uisolerede rør eller lignede.

8.8. Solceller og vedvarende energi

Ud over efterisolerings tiltag er det også muligt at reducere husets energibehov ved at installere solceller, solvarme, jordvarme eller andre former for vedvarende energikilder. Det er dog ikke ubegrænsede mængder energi der kan medregnes i energirammen. Jf. §265 i BR 18 kan der højst medregnes elproduktion fra vedvarende energianlæg svarende til en reduktion af behovet for tilført energi på 25 kWh/m² pr år i energirammen.

8.9. Resultater

Tabel 20 giver en samlet overblik over besparelser af husets energibehov i kWh/m², som resultat af de forskellige energirenoveringsforslag. Som det fremgår af tabellen, så er det mest besparende tiltag er udskiftning af de gamle vinduer, hvor man kan opnå op til 24 % reduktion i forhold til det oprindelige energibehov. Efterisolering af ydervæg af det næst vigtigste tiltag, som kan reducere op til 13 % af energibehovet.

Det sværeste sted at efterisolere i huset, det er terrændæk. Det skyldes af at det gamle gulv indeholder et betonlag, som begrænser mulighed for efterisolering og kræver at betonlaget fjernes, så der kan graves ud og skabes plads til mere isolering. Ved at udskifte det eksisterende terrændæk til et, som overholder krav til U-værdi ved ombygning i bygningsreglementet, reduceres varmetabet kun med 7 %.

Kravet til renoveringsklasse 1 og 2 er beskrevet i afsnit 5.2.

Tiltag	Husets energibehov, kWh/m ²	Besparelse, kWh/m ²	Besparelse i %
Hus før renovering	149,1		
Isolering af varmtvandsbeholder	148,4	0,7	0%
Terrændæk med Kingspan-plader	141,8	7,3	5%
Efterisolering af sokkel	140,7	8,4	6%
Loftsisolering med 100 mm	141,3	7,8	5%
Nyt terrændæk	139,1	10,0	7%
Ydervæg med indvendige efterisolering med kalciumpulverplader	138,8	10,3	7%
Loftsisolering med 200 mm	137,9	11,2	8%
Ydervæg med indvendige efterisolering med mineraluld	135,8	13,3	9%
Ventilations anlæg	131,9	17,2	12%
Ydervæg med udvendige efterisolering med stenuld og puds	131,1	18,0	12%
Ydervæg med udvendige efterisolering med stenuld og let facadebeklædning	130,5	18,6	12%
Ydervæg med udvendige efterisolering med grå EPS	129,9	19,2	13%
Vinduer med U-værdi 1,32 W/m ² K	121,2	27,9	19%
Vinduer med U-værdi 0,79 W/m ² K	114	35,1	24%

Tabel 20 Tabellen viser besparelse, som følge af de enkelte tiltag, sorteret efter den mindste besparelse til den største.

For at overholde kravet til renoveringsklasse 2, skal husets energibehov være under

$$110 + 3200/A_e = 110 + 3200/143 = 132,4 \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år.}$$

Ud over det, skal behovet for tilført energi reduceres med mindst 30 kWh/m² pr. år og der skal være en andel af vedvarende energi i den samlede energiforsyning til bygningen.

Husets energibehov før renoveringen er beregnet til 149,1 kWh/m² pr. år. For at overholde kravet til renoveringsklasse 2, skal den reduceres med mere end 30 kWh/m², dvs. til under 119,1 kWh/m². Fjernvarmen indeholder mere end 50% af grøn energi, viser den seneste opgørelse ifølge Fjernvarmens informationsfond (Fjernvarmens informationsfond) og derved opfyldes kravet om en andel af vedvarende energi i den samlede energiforsyning.

Renoveringsklasse 2 kan opnås som en kombination af de forskellige energibesparende tiltag, se Tabel 21.

Renoveringsklasse 2: energibehov under 132,4 kWh/m ²	Husets energibehov, kWh/m ²	Besparelse, kWh/m ²
Vinduer med U-værdi 0,79 W/m ² K	114	35,1
Vinduer med U-værdi 1,32 W/m ² K		
Loftsisolering med 100 mm	113,9	35,2
Efterisolering af sokkel		
Loftsisolering med 200 mm		
Ventilations anlæg	114,6	34,5
Ydervæg med udvendige efterisolering med stenuld og let facadebeklædning		
Loftsisolering med 200 mm		
Isolering af varmtvandsbeholder	118,8	30,3

Tabel 21 Tabellen viser flere renoveringsforslag, som gør at huset kan opnå Renoveringsklasse 2.

Det er ret nemt at overholde renoveringsklasse 2 i det generiske hus. Ved at udskifte de gamle vinduer med nye vinduer med 3-lags glas med gasfyldning kan der allerede opnås en reduktion i energibehovet på 35,1 kWh/m² og husets samlede energibehov kommer under grænsen for energibehov ved renoveringsklasse 2. Samme resultat kan opnås ved at udskifte vinduer til nye vinduer med 2-lags glas og efterisolere loftet med 100 mm isolering. Renoveringsklasse 2 kan også opnås uden at ændre på husets udseende, f.eks. ved at efterisolere sokkel og loft med 200 mm isolering, samt installere ventilationsanlæg.

For at opnå renoveringsklasse 1, skal det samlede varmebehov være under

$$52,5 + 1650/A_e = 52,5 + 1650/143 = 64 \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år.}$$

Der kræves nogle flere tiltag for at kunne opnå renoveringsklasse 1, se Tabel 22.

Ved at udskifte vinduer til nye med 3-lag glas og gasfyldning, efterisolere ydervæg og sokkel udvendigt, efterisolere loftet med 200 mm isolering og installere et ventilationsanlæg med varmegenvinding, kan der reduceres energibehovet til 58,1 kWh/m² og renoveringsklasse 1 opnås.

Renoveringsklasse 1: energibehov under 64 kWh/m ²	Husets energibehov, kWh/m ²	Besparelse, kWh/m ²
Vinduer med U-værdi 0,79 W/m ² K		
Ydervæg med udvendige efterisolering med stenuld og let facadebeklædning		
Ventilationsanlæg		
Loftsisolering med 200 mm		
Efterisolering af sokkel		
Linjetab mellem ydervæg og vindue fjernes	58,1	91

Tabel 22 Tabellen viser kombination af efterisoleringstiltag, som gør at huset kan overholde renoveringsklasse 1.

I forbindelse med renoveringsklasse 1 stilles der yderligere krav til indeklima i bygningen, herunder termisk indeklima og ventilation.

Kravet til ventilation i enfamiliehuse kan opfyldes både med naturlig ventilation og med mekanisk eller hybrid ventilation med et ventilationsanlæg med varmegenvinding. Udsugningen skal kunne forøges til de værdiger, som fremgår af BR18 §443-449.

Kravet til termisk indeklimate kan anses overholdt, når der gennem beregninger kan påvises, at der er maks. 100 timer pr. år, hvor indetemperatur overskrider 27 °C og 25 timer, hvor indetemperatur kommer over 28 °C pr. år. (Videncenter for energibesparelser og byggeri, 2018). Den termiske komfort kan dokumenteres ved brug af Be18 Sommerkomfort (SBI, 2018). Programmet baseres på en forsimplet beregningsmodel, i forhold til dynamiske indeklimasimuleringer.

Beregning udføres således, at der i skema "Sommerkomfort" angives størrelse for det rum, hvor risikoen for overtemperatur er størst og i skema "Vinduer" vælges de vinduer, som befinder sig i rummet. Høj rumtemperatur kan undgås ved solafskærmning og ventilation. Derfor skal der i skemaet regnes med de maksimalt mulige ventilationsrater. Termisk indeklimate skal beregnes og dokumenteres i hvert enkelt hus for sig.

Sommerkomfort i det generiske hus beregnes i stuen, som har et areal på ca. 45 m² og ligger mod syd. Der regnes med ventilation på 0,3 l/s pr. m² om vinteren, og 1,8 l/s pr. m² om dagen og 0,9 l/s pr. m² om natten om sommeren. Antal timer med indetemperatur over 27 °C er beregnet til 51 timer og antal timer over 28 °C er beregnet til 6 timer. Det samlede energibehov er steget til 63,2 kWh/m², som skyldes overtemperatur i rummet, dog kan bygningen fortsat overholde renoveringsklasse 1.

9. Diskussion

Generelt set er det relativt nemt at reducere energibehovet i enfamiliehuse fra 1960'erne-1970'erne, som skyldes deres simple form, et uudnyttelig tagetage, hvor der er god plads til efterisolering, og murede facader uden udsmykning, som kan efterisoleres udefra. Husene er ikke bevaringsværdige og det giver adgang til mange renoveringsmuligheder. De bedste isoleringsløsninger udvælges ud fra fugtsikkerhed i bygningen og reduktion af energibehovet.

9.1. Sammenligning af energibehovet i det generiske hus efter renoveringen med et nyt hus

Tabel 23 viser de tiltag som skal gennemføres for at reducere energibehovet i det generiske hus og komme ned på et niveau, der svarer til nybyggeri i det gældende bygningsreglement. Løsningen indeholder nye vinduer med 3-lags glas, udvendig efterisolering af ydervæg, isolering af loft med 200 mm mineraluld, udskiftning af isolering i gulvet til et nyt isoleringsmateriale med lavere lambda-værdi, efterisolering af sokkel, installation af et ventilationsanlæg med varmegenvinding og installation af 4 m² solceller på taget. Transmissionstab for klimaskærmen er reduceret fra 10,2 W/m² til 3,6 W/m², som er bedre end kravet til transmissionstab for klimaskærm for nybyggeri – 4,0 W/m².

Energibesparende tiltag	Husets energibehov, kWh/m ²	Huset energibehov efter BR2015 kWh/m ²	Transmissionstab for klimaskærm, W/m ²
Vinduer med U-værdi 0,79 W/m ² K			
Ydervæg med udvendig efterisolering med stenuld og let facadebeklædning			
Ventilationsanlæg			
Loftisolering med 200 mm			
Terrændæk med Kingspan-plader			
Isolering af varmtvandsbeholder			
Linjetab mellem vindue og ydervæg fjernes			
Efterisolering af sokkel	51,4	42,8	3,6
Solceller 4 m ²	45,1	36,5	
Nyt hus, BR 2018		37,0	4,0

Tabel 23 Tabellen viser de tiltag, som skal gennemføres for at overholde kravet til energibehov i nybyggeri i det generiske hus.

Ud fra de foretagende beregninger, kan det konkluderes, at det er muligt at opgradere et typisk hus opført i 1960'erne-1970'erne til et niveau, som svarer til energibehovet for nybyggeri. Ud af alle de tiltag, som skal gennemføres for at reducere energibehovet til det der svarer til bygningsklasse 2018, ligger det mest omstandigt arbejde i forøgelse af isolerings tykkelse i terrændækket, da det gør boligen uegnet til beboelse under byggeprocessen, idet det kræver at betonlaget brækkes op og der graves ud til mere isolering.

Ved at beholde det eksisterende terrændæk i det generiske hus og forøge arealet af solcelleanlægget fra 4 m² til 7 m², kan energibehovet bevares på cirka det samme niveau – 36,1 kWh/m² pr. år. 4 m² solceller med Peak Power på 0,105 kW/m² og virkningsgrad på 75% svarer til reduktion af varmebehovet med 2,5 kWh/m² pr. år og 7 m² til 4,4 kWh/m² pr. år. Transmissionstab for klimaskærmen vil dog stige til 4,1 W/m². Forøgelsen af solcellernes areal sker uden at stride imod reglen, at der højst kan medregnes elproduktion, svarende til reduktion af behovet for tilført energi med 25kWh/m².

Energibesparende tiltag	Husets energibehov, kWh/m ²	Huset energibehov efter BR2015 kWh/m ²	Transmissionsstab for klimaskærm, W/m ²
Vinduer med U-værdi 0,79 W/m ² K			
Ydervæg med udvendige efterisolering med stenuld og let facadebeklædning			
Ventilationsanlæg			
Loftsisolering med 200 mm			
Isolering af varmtvandsbeholder			
Linjetab mellem vindue og ydervæg fjernes			
Efterisolering af sokkel			
Solceller 7m ²	45,9	36,1	4,1
Nyt hus, BR 2018		37,0	4,0

Tabel 24 Tabellen viser kombination af energibesparende tiltag, som kan reducere energibehovet i det generiske hus til et niveau, som svarer til et nyt hus jf. BR18.

Sommerkomfort beregning for det generiske hus i Be18 med tiltag fra Tabel 24 viser, at termisk indeklima i det mest belastede rum overholder kravet. Temperatur inde i rummet overstiger 28 °C 21 timer om året, og der er 78 timer om året, hvor temperatur når over 27 °C.

I forbindelse med beregningerne er der en vis usikkerhed, som ligger omkring de værdier som anvende for de tekniske installationer og varmt brugsvand, som gøre at resultaterne kan både være bedre eller dårligere end de opnåede. Tekniske installationer kan variere meget i den måde de udført, placeret og isoleret på, derfor er det vigtigt at de kontrolleres og optimeres i hvert enkelt tilfælde, så det unødvendigt energispild undgås.

9.2. Indeklima

I forbindelse med efterisolering og tætning af klimaskærmen, skal man ikke forglemme indeklimaet inde i boligen. Efterisolering af husets bygningsdele og udskiftning af vinduer har en positiv indflydelse på overfladetemperatur inde i huset og reduktion af trækgener, men det betyder samtidig at boligen bliver mere tæt og kræver at der er tilstrækkelig ventilation. Ventilation, sikrer at den forurenede fugtige luft fjernes og erstattes med frisk udeluft.

Ved at anvende en samlet renoveringsløsning, som vises i Tabel 24, der inkluderer installation af et ventilationsanlæg med varmegenvinding, sikres der det nødvendige luftskifte i boligen og hermed et fornuftigt fugtniveau og et sundt indeklima.

Ved at anvende de enkelte efterisoleringsløsninger, som ikke indebærer installation af et ventilationsanlæg, skal der lades opmærksomhed på ventilation i boligen. Som resultat af tætning af klimaskærmen og reduktion af infiltration, kan den relative luftfugtighed i boligen stige, selv om der ikke ændres på brugsmønstre. I bygninger med naturlig ventilation skal der luftes ud 2-3 gange om dagen med fuld gennemtræk i 5-10 minutter, ifølge en anbefaling fra Astma-Allergi Danmark (Astma-Allergi Forbundet). Det er vigtigt at huset ikke køles for meget ned, idet de tunge bygningsdele sørger for opvarmning af den friske luft op nærmest gratis.

I Be18 beregningsprogram har der været udført en beregning af sommerkomforten i det generiske hus, som viser at antallet af timer med overtemperatur i det mest solbelastede rum ligger inden for grænsen. Beregningen er beskrevet i afsnit 9.1. Antallet af timer med overtemperatur er afhængige af varmetransmission gennem ruden, vinduets størrelse, ventilations rate og rummets størrelse. Overtemperatur i rummet kan reduceres ved anvendelse af solafskærmning i form af gardiner, persiennet, markiser mv.

9.3. Bæredygtighed

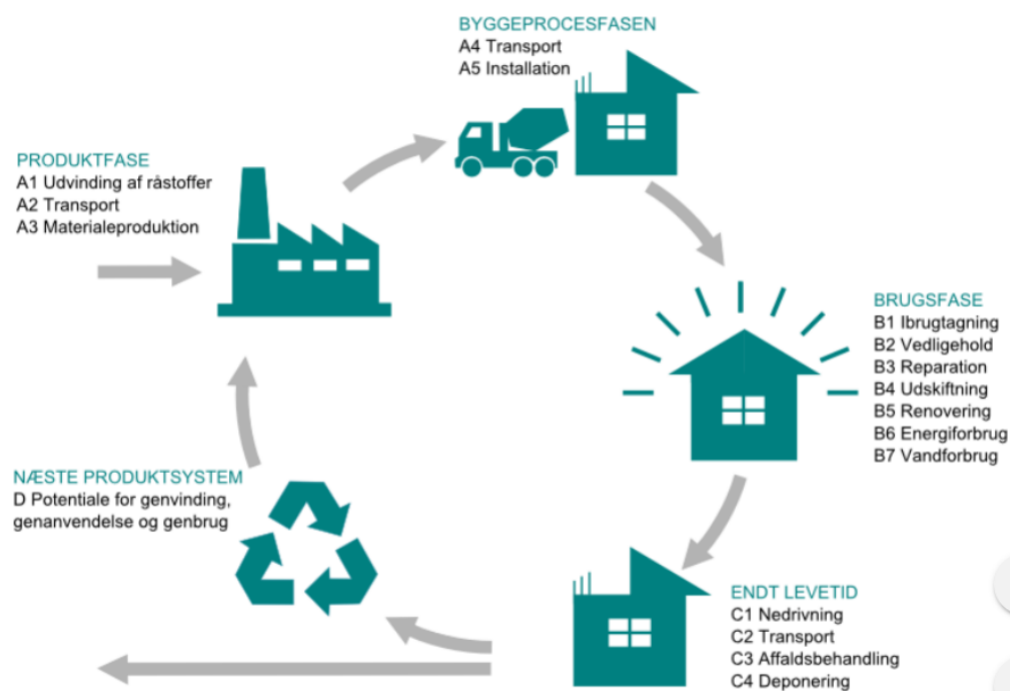
Det er meget nemmere at opnå et lavt energiforbrug ved at bygge nyt, frem for at renovere en eksisterende bygning. Totaløkonomisk kan det også være en fordel at bygge nyt, som det fremgår af rapporten udarbejdet af Rambøll for Dansk Byggeri (Buur, 2014). Men er der andre parametre som bygningsejer skal forholde sig til ud over kroner og ører? Hvilken indflydelse på miljøet har renovering contra nybyggeri?

Bæredygtighed er et bredt begreb, som handler om at alle forandringsprocesser i samfundet skal have en kvalitet, som sikrer, at de nuværende behov bliver opfyldt uden at bringe fremtiden i fare. (Wikipedia, 2018) Bæredygtighed er også blevet til et væsentligt begreb i byggeriet og fungerer derfor som supplement til de andre traditionelle kvaliteter et byggeri kan måles på. I det bæredygtige byggeri skal der være balance mellem miljømæssig, social og økonomisk kvalitet (Energistyrelsen, 2017). Det betyder rent faktisk at miljømæssig kvalitet skal opnås, men det skal ikke være på bekostning af social kvalitet eller tårnhøje priser.

I forbindelse med vurdering af bæredygtighed i nybyggeri anvendes begreb livscyklusvurdering (LCA). LCA er en metode, som anvendes til at vurdere de potentielle miljøpåvirkninger, herunder hvor meget bygningen bidrager til globale opvarmning, ozonlagsnedbrydning m.m., og forbrug af ressourcer i forbindelse med byggeprocesser og fremstilling, levering og genbrug af materialer. Potentielle miljøpåvirkninger og ressourceforbrug vurderes i forhold til bygningens livscyklus, se Figur 33. Metoden kan hjælpe til at af vælge de mere miljørigtige løsninger og dokumentere bygningens bæredygtighed. (Energistyrelsen, 2017)

LCA startede som en metode til at vurdere nybyggeri, men emnet bliver mere og mere aktuelt også for renoveringen. Dette fremgår af en rapport udarbejdet af SBI, som baseret på en casestudie af livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer (Freja Nygaard Rasmussen, 2015). Undersøgelsen peger på, at renoveringen viser sig at være lige så god eller en smule bedre i forhold til påvirkninger fra driftsfasens energiforbrug over en 50årig periode. Renoveringen svarer til blot mellem 1/5 og 2/5 del af de miljømæssige påvirkninger i forhold til et nybyggeri med samme funktion, baseret på påvirkninger fra de benyttede materialers livscyklus. Figur 33 viser de faser i byggeriet, der tages stilling til i forbindelse med en livscyklusvurdering. Ved at renovere spares der en del af de resurser, som indgår i produktfasen og byggeprocesfasen i forholdt til et nyt hus, dette gør renoveringen mere bæredygtig end nybyggeri.

Energirenovering af parcelhuse fra 1960'erne og -70'erne



Figur 33 Figuren viser typiske faser i bygningers livscyklus: produktionsfase, byggefase, brugs- og driftsfase og nedrivningsfase. Kilde: Energistyrelsen, Bæredygtigt byggeri.

9.4. Økonomi

Økonomien spiller generelt en væsentlig rolle, når der skal vælges byggeløsninger. For at energirenovere et hus opført i 1960'erne-1970'erne, kræves der mange energibesparende tiltag og næsten alle bygningsdele og installationer skal efterisoleres eller udskiftes. Det er derfor vigtigt at forholde sig til prisen for renoveringen kontra opførelse af et nyt hus.

For at finde prisen for de nævnte renoveringsforslag har der været anvendt et program fra Molio – Molio Prisdata, Renovering (Molio - Byggeriets videnscenter, 2018), som kan bruges til at beregne udgifter i forbindelse med en renoveringssag. Alle priser i programmet er ekskl. arbejdspladsindretning og moms.

Den samlede pris for renoveringstiltag, som fremgår af Tabel 24, er beregnet til 527.561,71 kr. ekskl. moms eller 659.452,14 kr. inkl. moms, se bilag 3.

Prisen på et nyt parcelhus i tilsvarende størrelse, som den generiske model, har været beregnet i Molio Prisdata, Nybyggeri (Molio - Byggeriets videnscenter, 2018). Prisen er beregnet til 1.382.253,69 kr. ekskl. moms eller 1.727.817,11 kr. inkl. moms, se bilag 4. Dette svarer meget godt til de priser, der findes ved at undersøge hjemmesider for diverse typehusfirma, f.eks. et nyt hus fra Eurodan-huse på 151 m² kan fås til 1.595.000 kr. hvis det skal bygges i Jylland, og til 1.795.000, hvis det skal bygges på Sjælland, se bilag 5.

Som det ser ud fra prisoverslaget, så er det billigere at renovere et eksisterende hus end at rive det gamle hus ned og opføre et nyt i stedet for. Energirenovering af et hus i Københavns omegn kan ofte tjene sig hjem i form af husets værdistigning. Sådan forholder det sig ikke i de boligområder, som ligger i Udkantsdanmark, hvor udgift til energirenovering kan være en stor del af husets værdi. (Melchiorsen) Det er muligvis en af årsagerne til at boligejerne ude på landet holder sig tilbage fra de store renoveringsprojekter, da tilbagebetalingstid er lang og de store investeringer tjener sig ikke hjem igen i forbindelse med hussalg. Hvis den udvikling fortsætter, så ender det med at parcelhuse i de dyre områder omkring store byer vil blive renoveret eller erstattet af nye parcelhuse, hvorimod parcelhuse i små byer ude på landet vil fortsat have et højt varmebehov. Problemet med parcelhusene i yderområderne er, at de ikke er attraktive at bo i (Melchiorsen).

Hvis man står og overvejer at købe et typehus fra 1960'erne-1970'erne, som skal renoveres, eller en byggegrund og opføre et nyt typehus, så er det samlet økonomi skal vurderes i forhold til husets pris og stand contra prisen på en byggegrund. Der har været indhentet gennemsnitlig kvadratmeterpris for villa og gennemsnitlig pris for parcelhusgrunde i Region Sjælland fra Boligsidens markedsindeks for april 2018 (Boligsiden, 2018). Det har ikke været muligt at indhente statistikken, som kun omhandler husene fra 1960'erne-1970'erne, derfor tages der udgangspunkt i gennemsnitlige priser, som er beregnet på baggrund af alle udbudte villaer i perioden. Tabel 25 viser gennemsnitlige udbudspriser for villa og parcelhusgrunde i Region Sjælland. Det er beregnet at et gennemsnitligt hus i regionen koster ca. 1,7 mio. kr. og med den beregnede pris på energirenoveringen på 660.000 kr., vil den samlet pris være 2,4 mio. kr. For de samme penge kan der fås en parcelhusgrund i regionen med et nybygget typehus.

	Gennemsnit pris for villa og rækkehuse, m ²	Pris for et hus på 143 m ²	Samlet pris for et hus på 143 m ² og renovering på 660.000,00kr	Gennemsnit pris for en parcelhus- grund	Samlet pris for et hus til 1.795.000.00 kr. på en parcelhusgrund
Region Sjælland	11.857,00 kr.	1.695.551,00 kr.	2.355.551,00 kr.	573.735,00 kr.	2.368.735,00 kr.

Tabel 25 Tabel viser gennemsnitlige udbuds kvadratmeterpriser for villa, samlet pris for et hus på 143 m² med og uden renovering på 660.000 kr. og gennemsnitlige priser for en parcelhusgrund med og uden et hus til 1.795.000 kr. i Region Sjælland.

Energirenoveringen omhandler kun klimaskærmen og det betyder at, selv om energiforbruget reduceres, så har man stadigvæk et hus med et gammelt køkken, badeværelse og bryggers, som højt sandsynligt trænger til udskiftning og renovering. Ved at bygge et nyt hus er det muligt at få en moderne indretning, nyt køkken med nye hvidevarer, nye badeværelser mv. til den samme pris. Dog skal man ikke glemme den udgift, som er forbundet med indretning af haveanlæg på en ny parcelhusgrund.

Når man kigger på muligheden for at bygge et nyt hus i områder tættere mod København og andre store byer, så er der ikke mange parcelhusgrunde at vælge i mellem og deres priser er ofte meget høje, derfor kan det godt svare sig at købe et hus fra 1960'erne-1970'erne og gennemføre energirenovering eksempelvis med de tiltag, som er beskrevet i rapporten.

Vurderingen er forbundet med en del af usikkerhed, idet den gennemsnitlige pris for villa baseres på både nye og gamle parcelhuse, før og efter renovering.

Hvordan ser rentabiliteten af en energirenovering af et parcelhus fra 1960'erne-1970'erne ud? Ved at reducere husets energibehov fra 149,1 kWh/m² pr. år til 36,1 kWh/m² pr. år, vil der spares 113 kWh/m² pr. år. Pris for fjernvarme ligger på 0,489 kr. pr. kWh og ud over forbrugsbaseret del indeholder målebidrag og arealbidrag⁸. Varmebehovsreduktion for set generiske hus på 143 m² er beregnet til 16159kWh pr. år. Den årlige reduktion af fjernvarmeregningen ligger på ca. 7 900 kr., som svarer til en tilbagebetalingstid på 83,5 år. Beregningen viser at renoveringen ikke er rentabelt, idet tilbagebetalingstiden overstiger levetiden på konstruktionerne.

⁸ Prisen indhentet hos Næstved fjernvarme d. 11.05.2018
http://www.naestved-varme.dk/Files/Billeder/Afsnit/tarifblade/TARIFBLAD%202017_18-1.pdf

9.5. Politisk indflydelse

Parcelhuse fra 1960'erne-1970'erne udgør 38% af alle parcelhuse i Danmark. Konstruktionernes levetid er ved at være opbrugt og de står foran en større renovering i nærmeste fremtid. Ud fra rapporten kan det tydeligt ses at der ikke findes et enkelt tiltag, som gør at husenes energibehov reduceres til det der svarer til et nyt hus. Så stor en reduktion af varmebehovet kræver komplekse løsninger, som omfatter alle bygningsdele og installationer. Disse tiltag er forbundet med store omkostninger for en almindelig husstand og bliver derfor sjældent gennemførte.

Hvis regeringen ønsker at reducere varmebehov i almindelige parcelhuse, som en del af klima- og energipolitik, så kunne det muligvis hjælpe at give en økonomisk støtte til boligejerne, som er målrettet mod energioptimering og udbredelse af vedvarende energi i almindelige parcelhuse. I år har regeringen og flere partier indgået en aftale om nedsættelse af elvarmeafgiften, med det formål at få mere el ind i opvarmningen og dermed reducere anvendelsen af fossile brændsler. (Vittrup, 2018) Denne afgiftsnedsættelse reducerer elregningen og kan især mærkes i de boliger som opvarmes med el, og har i lidt mindre grad betydning for de boliger som opvarmes med varmepumper. Reduktionen af elafgiften betyder, at husene fortsat vil have det samme varmebehov, som før, dog med en mindre elregning. Billigere varmeregning gør det mindre attraktivt at isolere huset. De sidste undersøgelser viser at boligejernes interesse for energirenoveringen er faldende siden 2012, på trods af energipriserne er faldet og økonomien er blevet stærkere (Lønstrup, 27.jan. 2017). Denne tendens er meget logisk, fordi at energiprisen er lav og renoveringsprisen er høj. Det kan forventes at en reduktion af elafgift vil gøre, at der bliver brugt mere el, og hermed vil der blive brugt mere grøn energi end før, men dette kommer ikke til at reducere varmemeforbruget i et gennemsnitligt parcelhus.

Hvis regeringen ønsker at støtte energirenovering og reduktion af varmebehovet til opvarmning generelt, så kræves der andre tiltag end afgifts nedsættelse. Hvilke tiltag skal der gennemføres for at fremme energirenovering? Løsningen kan måske være større tilskud til renoveringer, således at elregningen bliver reduceret, som følge af reduktion af husets varmebehov eller på grund af tilskuddet fra de vedvarende energikilder. Det kan også være at der er behov for gratis energirådgivning for husejer, som kan hjælpe med at skabe overblik og finde de mest rentable besparelser. Det kan også være at det er en helt tredje løsning der skal til for at sat gang i energirenovering af parcelhuse.

Hvad skal der til for at fremme energirenovering og gøre det mere attraktivt at bo i Udkantsdanmark? Det er et meget kompleks spørgsmål, som også kræver en anden tilgang. Forhåbentlig vil stigende boligpriser i de store byer, udbygning af motorveje og flytning statslige arbejdspladser skabe mere interesse og hermed udvikling af boliger uden for Hovedstadsområdet.

10. Konklusion

Parcelhuse fra 1960'erne og 1970'erne udgør en stor del af alle parcelhuse i Danmark. I rapporten har der været undersøgt typiske konstruktioner og der var skabt en generisk model af et typisk hus. Husene generelt er ret nemme at arbejde med, fordi at de har simple former og der stilles ikke krav til bevaring af husets udseende. Derfor kan der anvendes de fleste renoveringsløsninger og materialer.

Undersøgelse af efterisoleringsmuligheder af de enkelte bygningsdele giver følgende konklusioner:

- I forbindelse med efterisolering af loftkonstruktion skal der monteres en tæt dampspærre, som skal placeres under loftbeklædning.
- Ydervægge kan efterisoleres enten på inder- eller på ydersiden, dog er der en del erfaringer, som viser at indvendig efterisolering ofte er forbundet med fugtproblemer og skimmelværst. Der derfor anbefales at ydervægge efterisoleres udefra med mineraluld og afsluttes med en pudssystem eller let beklædning. Denne løsning reducerer $\frac{3}{4}$ del af varmetabet og overholder kravet til U-værdi i BR18.
- Nye vinduer kan reducere op til 24% af det samlede varmetab i huset og er det tiltag som giver største reduktion af varmetabet i huset.
- Den mest udfordrende og økonomisk tunge bygningsdel at efterisolere, det er terrændæk, dette skyldes et betonlag inde i konstruktionen.
- Husene taber store mængder energi pga. naturlig ventilation. Disse tab kan reduceres ved at installere ventilationsanlæg med varmegenvinding. Som bonus får man også et bedre indeklima i boligen.
- Tekniske installationer i husene skal gennemgås, så det unødige energispild kan undgås.

Ud fra de foretagende beregninger, som baseres på typiske konstruktioner, kan det konkluderes at Renoveringsklasse 2 kan opnås ved blot udskiftning af vinduer til nye vinduer med 3-lags glas og gasfyldning eller som en kombination af flere tiltag. Renoveringsklasse 1 kræver en mere kompleks løsning, som f.eks. udskiftning af vinduer, efterisolering af ydervæg, sokkel, loft og terrændæk, installation af et ventilationsanlæg med varmegenvinding. For at opnå Renoveringsklasse 1, skal bygningen også opfylde krav til indeklimaet. For at reducere husets varmebehov til det, der svarer til et nyt hus, kræves der et større solcelleanlæg i forhold til Renoveringsklasse 1.

En energirenovering, som optimerer husets varmebehov til Renoveringsklasse 1 eller niveauet for nybyggeri ligger på omkring $\frac{1}{3}$ del af prisen for et nyt typehus og derfor er det billigere at renovere end at rive ned og bygge nyt. Prisen på de renoveringstiltag som opgraderer huset til det niveau, som svarer til et nyt hus er beregnet til 660.000 kr. Omkostninger til opførelse af et nyt parcelhus er beregnet til 1,7 mio. kr. Generelt set en omfattende energirenovering af et parcelhus fra 1960'erne-1970'erne ikke er rentabelt. Den økonomiske udgift ved renoveringen kan tjene sig hjem igen som resultat af boligens værdistigning, dog er det meget afhængigt af husets beliggenhed.

Hvis man tænker på bæredygtighed, så den eneste rigtige beslutning er at renovere frem for at rive ned og bygge nyt. De eksisterende konstruktioner betegnes som "gratis" i det bæredygtige regnskab og derfor vil en renovering svare til $\frac{1}{5}$ til $\frac{2}{5}$ dele af de miljømæssige påvirkninger i forhold til et nybyggeri af samme type.

Renovering af parcelhuse fra 1960'erne-1970'erne er forbundet med store omkostninger. For at få gang i en bæredygtig udvikling i parcelhuskvarterer er der behov for politisk hjælp og støtte. Den sidste nedsættelse af elafgiften vurderes ikke til at få nogen indflydelse på

Energirenovering af parcelhuse fra 1960'erne og -70'erne

almindelige boligejer, idet afgiftsreduktion er lille i forhold til de omkostninger, som er forbundet med energirenovering af et hus eller udskiftning af en varmekilde.

11. Bibliografi

- Andersen, U. (14. april 2016). *Renovering er op til fem gange bedre for miljøet end nybyggeri*. Hentet fra Ingenøren: <https://ing.dk/artikel/renovering-er-op-til-fem-gange-bedre-miljoeet-end-nybyggeri-183459>
- Astma-Allergi Forbundet. (u.d.). *Astma-Allergi Danmark*. Hentet fra Det gode indeklima hos dig der overfølsom: <https://www.astma-allergi.dk/documents/10182/11216/Indeklima.pdf/e35924d2-c54a-4b8d-a43e-990d865569af?version=1.0>
- Bergsøe, N. C. (1994). *SBi-rapport 236*. Hørsholm : Statens Byggeforskningsinstitut .
- Berlingske . (2005). Hentet fra Guide til overfladebehandling: <https://www.b.dk/bolig/guide-til-overfladebehandling>
- Boligsiden. (2018). *Boligsiden*. Hentet 11. maj 2018 fra <https://markedsindeks.boligsiden.dk/?statisticType=AdvertisedPrice&areas=a1&areas=r1085&areas=c2&propertyTypes=FullYearPlot&tab=graph>
- Brandt, E. (2013). *Fugt i bygninger*. Statens Byggeforskningsinstitut.
- Buur, K. (2014). *Renovering eller nybyg, Udarbejdet for Dansk Byggeri* . København: Rambøll.
- BYG-ERFA. (2015). *Dampspærrematerialer og fugttransport - væg- og loftkonstruktioner (39)151228*. København: BYG-ERFA.
- Bygningsreglement 2018*. (2018).
- Danmarks historien* . (2018). Hentet fra <http://danmarkshistorien.dk/>.
- Danmarks statistik*. (maj 2018). Hentet fra <https://www.dst.dk/da/>
- Dansk Standard. (2011). *DS418: Beregning af bygningers varmetab*. København: Dansk Standard.
- Dr. Thomas Blomberg, P. J. (2017). HEAT2 v.10.12. Blocon.
- Energistyrelsen . (2017). *Bæredygtigt byggeri*. København: Energistyrelsen.
- Fjernvarmens informationsfond. (Indhentet 09.05.2018). *Fjernvarme.info*. Hentet fra <http://www.fjernvarme.info/Mere-vedvarende-energi-i-fjernvarmen.1074.aspx>
- Fraunhofer IBP. (u.d.). WUFI 6 light 6.0 Non commercial . *Moisture design tool for architects and engineers* . Fraunhofer IBP.
- Freja Nygaard Rasmussen, H. B. (2015). *SBi 2015:29 Livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer*. København: SBi.
- (u.d.). *Glasfakta 2015*. Pilkington.
- (2014). *Håndbog for energikonsulenter*. Energistyrelsen .
- Kolbe, J. (2017). *Fugtforhold i træunderlag for tagpap i ventilerede tage*.
- Lønstrup, D. (27.jan. 2017). Vi gider ikke energirenovere boligen, selv om det betaler sig. *Politikken*.

- M. Harrestrup, S. S. (2015). Full-scale test of an old heritage multi-storey building undergoing energy retrofitting with focus on internal insulation and moisture. *Building and Environment* 85, s. 123-133.
- Mads H. Wagner, J. R. (Marts 2018). Kuldebroer udgør op mod 40 procent af bygningers samlede transmissionstab. *HVAC magasinet : magasin for klima- & energiteknik, miljø, bygningsinstallationer & -netværk*.
- Melchiorson, A. (7. marts 2018). Parcelhuse er ude i kulden ved energirenovering. *Dagens Byggeri*.
- Molio - Byggeriets videnscenter. (2018). Molio Prisdatabase. Molio.
- Møller, E. B. (2012). *SBI-anvisning 240 - Efterisolering af småhuse - byggetekniske løsninger*. København: Statens Byggeforskningsinstitut.
- SBI. (2018). Be18, version 9.18.1.4. *En metode til beregning af bygningers energibehov*. . Statens Byggeforskningsinstitut .
- Søren Aggerholm, K. G. (2016). *SBI-anvisning 213: Bygningers energibehov*. København: Kbh. : Statens Byggeforskningsinstitut. Aalborg Universitet .
- (2011). *Sådan findes kuldebroerne og andre konstruktioner med stort varmetab*. Videnscenter for energibesparelser i bygninger.
- TYPEHUSET 1960-79- katalog over typiske løsninger og principper*. (u.d.). Hentet fra www.mur-tag.dk.
- Videncenter for energibesparelser i bygninger. (Januar 2010 - revideret december 2015). *Efterisolering af sokkel*. Videncenter for energibesparelser i bygninger. Hentet fra *Efterisolering af sokkel*.
- Videncenter for energibesparelser og byggeri . (2018). *Renoveringsklasser* . Hentet fra Videncenter for energibesparelser i bygninger: <http://krav.byggerienergi.dk/renoveringsklasser>
- Vittrup, S. (2. feb 2018). Ny politisk aftale: Elvarme-afgift sænkes allerede fra 1.maj. *Ingenøren*.
- Wikipedia. (u.d.). Hentet fra https://da.wikipedia.org/wiki/Fingerplanen#cite_ref-1
- Wikipedia. (12. maj 2018). *Wikipedia*. Hentet fra Bæredygtighed: <https://da.wikipedia.org/wiki/B%C3%A6redygtighed>
- www.bolius.dk. (2018). Hentet fra Bolius: <https://www.bolius.dk/typehuset-fra-1960-til-1980-18800/>
- www.denstoredanske.dk. (2018). Hentet fra Montagebyggeri: [http://denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Teknik/Byggeri_og_byggeteknik/montagebyggeri/montagebyggeri_\(Historie\)](http://denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Teknik/Byggeri_og_byggeteknik/montagebyggeri/montagebyggeri_(Historie))
- www.indeklimaportalen.dk. (u.d.). Hentet fra Indeklimaportalen, Fare ved efterisolering: https://www.indeklimaportalen.dk/indeklima/luftkvalitet/fugt_og_skimmel/efterisolering

12. Bilag

Bilag 1 – Beregningsregler kap.3.6 og kap.3.7 DS 418

3.6 Beregning af transmissionsarealer

Transmissionsarealerne bestemmes af ydersiden af ydervæggene, undersiden af kælderdek og oversiden af varmeisoleringen i loft på øverste etage eller i tag, se figur 3.6.1 og figur 3.6.2. Ved ydervægs- og kælderydervægsfundamenter måles transmissionsarealer til oversiden af færdigt gulv og til indersiden af ydervæggene.

For uopvarmet kælder måles transmissionsarealet af kælderdek til ydersiden af ydervæg, og transmissionsarealet af ydervæggen måles fra undersiden af kælderdek.

Ud for skillevægge, som ikke indgår i klimaskærmen, regnes transmissionsarealet til midten af skillevæggen, og ud for etageadskillelser regnes arealet til oversiden af etagedækket. For kældervægge mod jord regnes transmissionsarealet fra terræn til oversiden af kældergulv. For kældergulve regnes transmissionsarealet til indersiden af kælderydervæggen.

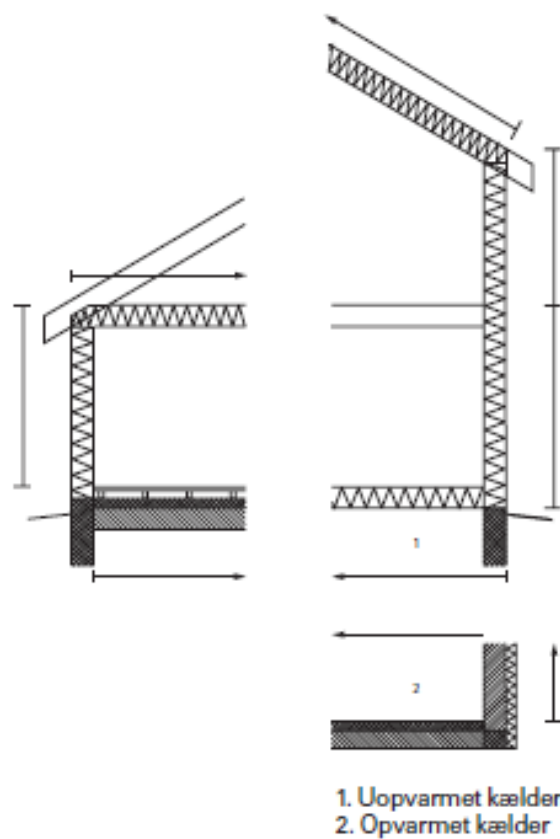
Transmissionstab fra en bygnings øverste opvarmede rum gennem loft og tag beregnes normalt under ét, også når der findes et uopvarmet, ventileret tagrum derimellem. Arealet sættes da lig med loftets transmissionsareal, uanset at tagarealet er større end loftarealet.

For bygningsdele, som indeholder forskellige konstruktionstyper, foretages der en underopdeling af transmissionsarealet. Der tages i reglen ikke hensyn til faste skabe. Indvendige døre regnes i almindelighed ikke separat, men som tilsluttende vægflader.

For bygningsdele med krum overflade, fx buede tagflader og buede ydervægge, beregnes transmissionsarealet langs den krumme, udvendige overflade. Tilsvarende gælder andre op- og udbygninger, fx karnapper, kviste og ovenlys, hvor transmissionsarealet bestemmes af de udvendige mål.

For vinduer og yderdøre, herunder porte, glasvægge og lemme med karm monteret i plan med de omgivende konstruktioner, beregnes transmissionsarealet af hulmålene, det vil sige den åbning, vinduet eller døren indbygges i. For ovenlys, tagvinduer og rytterlys med fri karmside beregnes transmissionsarealet enten af tværsnitsarealet svarende til de udvendige karmål eller det udvendige overfladeareal, idet der tages hensyn til højden af samlingen med tag, se afsnit 6.12 og figur 6.12.3. Disse arealer anvendes også ved beregning af U -værdien samt ved bestemmelse af det tilladte vindues- og yderdørsareal i henhold til bygningsreglementet.

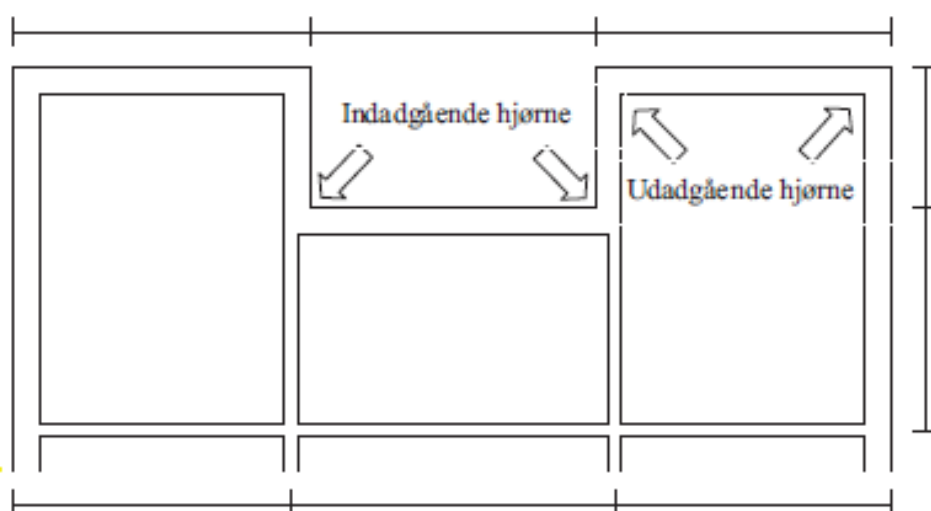
DS 418:2011



Bygning med loftrum og terrændæk

Bygning med skråt tag og kælder

Figur 3.6.1 – Måltagning ved bestemmelse af transmissionsarealer (lodret snit i bygning)



Figur 3.6.2 – Måltagning ved bestemmelse af transmissionsarealer for yder- og skillevægge (vandret snit i bygning)

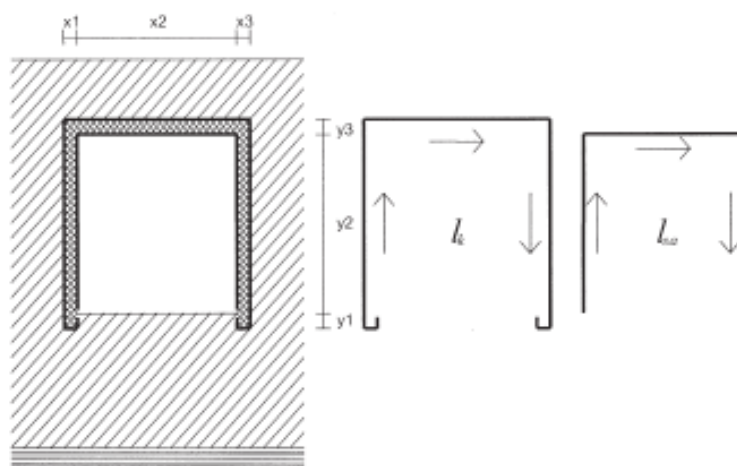
3.7 Beregning af længden af de lineære kuldebroer

For samlinger omkring vinduer og døre bestemmes kuldebroens længde l_{sa} af hullets omkreds, se figur 3.7.1. For samlinger omkring ovenlys og tagvinduer med fri karmside beregnes kuldebroens længde l_{sa} af tagvinduets eller ovenlysets udvendige mål.

For ydervægsfundamenter ved terrændæk bestemmes kuldebroens længde l_f af fundamentets ydre omkreds, se figur 3.7.2.

I konstruktioner, hvor isoleringstykkelsen varierer over transmissionsarealet, eller isoleringen afbrydes helt nogle steder i konstruktionen, fx ud for udmuringer og ribber i hule ydervægge, bestemmes kuldebroens længde l_k af den strækning, hvor der sker et spring i isoleringstykkelsen. For fx søjler og dragere i ydervægge eller tag, der bryder eller reducerer isoleringen, bestemmes kuldebroens længde l_k af søjlens højde eller dragernes længde. For tilsluttede dæk og vægge samt for skillevægsfundamenter, der bryder eller reducerer isoleringen i den aktuelle konstruktion, fx en ydervæg, bestemmes kuldebroens længde l_k af dækkets bredde, væggenes højde eller skillevægsfundamentets længde.

For kuldebroer, hvor konstruktionsdetaljerne varierer, foretages der en underopdeling af kuldebroens længde.

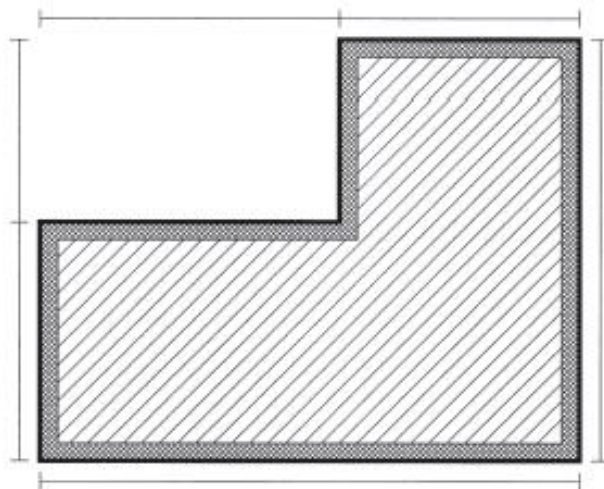


$$l_{sa} = y_2 + x_2 + y_2$$

$$l_k = y_1 + x_1 + (y_1 + y_2 + y_3) + (x_1 + x_2 + x_3) + (y_1 + y_2 + y_3) + x_3 + y_1$$

Figur 3.7.1 – Måltagning ved bestemmelse af de lineære kuldebroers længde omkring et vindueshul i en ydervæg, hvor der er udmuring på siden og over vinduet

DS 418:2011



Figur 3.7.2 – Måltagning ved bestemmelse af den lineære kuldebros længde l_f i forbindelse med ydervægsgundamenter ved terrændæk. Vandret snit i fundamentets top

Bilag 2 – Udtræk fra EMO's database**Ydervægge**

Rækkenavne	Sum af Area		Gennemsnit af UValue
30 cm hulmur isoleret	2080405	45%	0,55
30 cm, tegl/tegl, 75 mm hulrumsisolering	676449	15%	0,45
30 cm, tegl/porebeton, 75 mm hulrumsisolering	339196	7%	0,37
30, cm hul ydervæg, tegl/letbeton, 75 mm	238169	5%	0,40
30 cm tung BR61-72 + granulat	234758	5%	0,42
30 cm hul tegl/tegl isoleret	218374	5%	0,67
35cm tegl/isolering/letbeton	214829	5%	0,31
30 cm hul efterisoleret granulat	213292	5%	0,65
30 cm hul, uisoleret	160317	3%	1,51
30 cm tung BR61 - BR72	130861	3%	0,83
30 cm tegl/letbeton efterisoleret granulat	111035	2%	0,39

Lofter

Rækkenavne	Sum af Area		Gennemsnit af UValue
Bjælkelag - 150 mm	407966	7%	0,25
Bjælkelag - 100 mm	450159	8%	0,37
Adskillelse - 250 mm	477623	9%	0,15
Et lag brædder - 150 mm	566351	10%	0,30
Et lag brædder - 100 mm	1096502	20%	0,40
Loftsrum, 200 mm isolering	2507284	46%	0,20

Terrændæk

Rækkenavne	Sum af Area		Gennemsnit af UValue
Træ/vinyl med 50 mm isolering	926675	27%	0,23
Træ/vinyl med 75 mm isolering	483420	14%	0,21
Træ- beton, 20 cm Leca	476057	14%	0,34
Linoleum-beton-20 cm Leca	472234	14%	0,43
Terrændæk	187313	5%	0,31
Beton, 50 mm	186674	5%	0,46
Terrændæk, Beton med strøgulv, 50 mm mineraluld	155141	5%	0,37
Terrændæk, Beton med slidlag, 50 mm mineraluld/polystyrenplader.	145027	4%	0,32
Terrændæk, Beton med slidlag, 50 mm mineraluld	142868	4%	0,38
Terrændæk, Beton med slidlag, 100 mm leca	121107	4%	0,35
Terrændæk, Beton med strøgulv, 50 mm mineraluld.	118976	3%	0,32

Vinduer

Rækkenavne	Sum af Totarea		Gennemsnit af UValue
Fast vindue en rude, (1,2 x 1,2), Termorude	23133	5%	2,89
Et fag en rude, (1,2 x 1,2), Termorude	95408	22%	2,79
Et fag en rude, (1,4 x 1,6), Termorude	35842	8%	2,79
1 fag, gående, 1 rude - 1,2x1,2 - 2 lags termorude	29301	7%	2,79
Et fags vindue i fast ramme, 2 lags termorude kold kant	29739	7%	2,79
Et fags vindue med gående ramme, 2 lags termorude kold kant	51987	12%	2,79
Fast vindue en rude, (1,4 x 1,6), Termorude	41997	10%	2,79
Vindue - 2-lags termorude m. kold kant	22085	5%	2,78
Terrassedør 1 rude, (2,1 x 0,9), Termorude	42578	10%	2,59
Et fag en rude, (1,2 x 1,2), Energirude	30575	7%	1,69
Et fags vindue med gående ramme, 2 lags energirude med varm kant	29436	7%	1,36

Bilag 3 – Prisberegning af renoveringen**Omkostninger til renovering**

Timer	424,91
Løn	170.108,39
Materialer	251.038,05
Leje	36.415,26

Kalkulationsliste

Nr	Tekst	Enhed	Mængde	Samlet EP	Samlet KP
(99)05.05,07	Ventilation, enfamiliehuse	m ²	143	47,12	6.738,39
12.1-4.1,02	Solcelleanlæg, ydelse 1,14 kWp	stk	1	44.466,89	44.466,89
3.1-3.2,01	Udskifte facadedør af træ/alu med fyldning/3 lags rude	stk	2	14.047,37	28.094,75
11.1-7.1,01	Udskiftning af isolering på varmtvandsbeholder	m ²	1	2.288,32	2.288,32
3.2-8.2,04	Fast vindue af træ/alu, 1.188 x 2.118 mm, 3 lags	stk	1	8.026,32	8.026,32
3.2-8.5,04	Topstyret vindue af træ/alu, 1.308 x 1.318 mm, 3 lags	stk	8	6.897,11	55.176,90
3.2-8.5,02	Topstyret vindue af træ/alu, 588 x 1.188 mm, 3 lags	stk	1	5.330,67	5.330,67
3.1-3.9,01	Udskifte hæveskydedør, 2.388 x 2.118 mm, træ/alu, 3 lags ruder	stk	2	23.599,53	47.199,07
(33)18.10,04	Gangbro, brædder og 45 x 245 mm planker	lbm	18	601,44	10.825,86
(43)10.30,01	Gulvbrædder af fyrretræ, opbryde	m ²	18	68,76	1.237,62
(27)16.95,07	Efterisolere lofter, 195 mm mineraluld	m ²	143	197,33	28.218,50
2.5-1.1,02	Isolering, REDArt, 200 mm mineraluld og puds	m ²	100,15	1.533,57	153.587,38
4.2-4.5,02	Isolere fundament, 150 mm mineraluld/beklædning	lbm	40	1.659,28	66.371,04
	Ventilationsanlæg med varmegenvinding		1	70.000,00	70.000,00
					527.561,71

Bilag 4 – Prisberegning for et nyt hus

Prisberegning for et nyt hus

Kalkulationsliste

Nr	Tekst	Enhed	Mængde	Samlet EP	Samlet KP
(99)05.05.01	Primære bygningsdele, enfamiliehuse	m ²	143	3.725,05	532.682,85
(99)05.05.02	Bygningsbasis, enfamiliehuse	m ²	143	849,56	121.487,41
(99)05.05.03	Komplettering, enfamiliehuse	m ²	143	1.501,06	214.651,49
(99)05.05.04	Overflader, enfamiliehuse	m ²	143	2.128,41	304.362,57
(99)05.05.05	Spildevandsinstallationer, enfamiliehuse	m ²	143	102,32	14.631,62
(99)05.05.06	Sanitet, enfamiliehuse	m ²	143	247,71	35.422,79
(99)05.05.07	Ventilation, enfamiliehuse	m ²	143	47,12	6.738,39
(99)05.05.08	Elinstallationer, enfamiliehuse	m ²	143	490,03	70.074,73
(99)05.05.09	VVS-anlæg, øvrige, enfamiliehuse	m ²	143	35,00	5.004,73
(99)05.05.10	Fast inventar, enfamiliehuse	m ²	143	539,84	77.197,11
					1.382.253,69

Bilag 5 – Tilbud på et nyt hus fra Eurodan-huse



Modelfoto

set på
TV

Kampagnetilbud 151 m² vinkelhus - 1.595.000 kr.*

Køb 151 m² velindrettet eurodan-hus til en fantastisk kampagnepris. Du får et nyt kvalitetshus, der er kendetegnet ved stilfuld arkitektur, kvalitetsmaterialer og ikke mindst godt håndværk. Huset er isoleret iht BR2015 Bygningsklasse 2020.

I PRISEN MEDFØLGER

- Valmønt og stålmetallic tagrender
- Øget loftshøjde - 243 cm
- Siemens og Thermex hårde hvidvarer (keramisk kogeplade, indbygningsovn, integreret køle-/frysaskab og emhætte)
- Indbrudsikrede VELFAC træalu super lavenergivinduer, 3-lags glas
- Unidrain i brusenicher og væghængte toiletter fra Hø
- Inventar fra Svane Køkkenet
- Gulvvarme i hele huset. Danfoss Living Connect termostater, der installeres med en Danfoss Link fjervecasem. Kan styres via app
- Blodtræne mursten fra Strøjer Tegl
- Valgfri farve på IBF betontagsten
- Nilan ventilationsanlæg m/varmegenvinding og fugtstyring
- Gløsvæv på alle vægge
- Kåhne trægulv i opholdsstue og soveværelse/garderobe
- Tæpper fra Egetæpper i værelser
- Klinker i køkken/alrum, entré, bryggers og begge bade
- Gipsoffter
- Murside vandkurede vindueskarme
- Indvendige spots 10 stk
- Forberedt til telefon- og antennestik
- Stikkontakt og lys på loftet
- Udvendig stikkontakt samt frostsikret vandhane
- G4S Alarmsystem med 1 års betalt abonnement (del af eurodan TRYGHED)
- Byggestrøm og elforbrug i hele byggeperioden
- Jordbunde- og forureningsundersøgelse
- Entrepriseforsikring og byggeskadeforsikring
- Afslutning af hus med landinspektør samt IBS attest
- Kærpeklæd på grunden samt container til byggeaffald

- Stikledninger til el, vand, antenne og kloak
- Fjernvarmeanlæg
- Trykprøvning samt energimærkning
- Effektiv radonudluftning over tag
- Mulighed for eurodan RENTEFRI. Byg dit nye hus og bo rentefrit det første år
- Mulighed for eurodan TOTAL. Betal byggegrund og hus, når du flytter ind



KAMPAGNEMODEL VINKELHUS 151 M²

*Prisen gælder for Jylland/Fyn og er ekskl. byggegrund. Betaling ved indflytning. Huset er vist med ekstra tilvalg. Gælder IV og med 31. maj 2018 og kun ubetingede kontrakter. Byggetilladelse skal være ansøgt iht. BR2015 inden den 30. juni 2018. Se flere kampagnehuse på: www.eurodan-huse.dk/prisenkampagne-vest/



VIL DU VIDE MERE?

70 23 73 88
eurodan-huse.dk

eurodan-huse®