



Studenterrapport

Uddannelse:

Master i Bygningsfysik

Semester:

4. semester

Titel på masterprojekt:

Energirenovering af
almennyttige boligbyggerier
opført i perioden 1945 – 1955

Projektperiode:

1. februar – 1. juni 2017

Vejleder:

Seniorforsker, Torben Valdbjørn Rasmussen

Bivejleder:

Seniorforsker Jørgen Rose

Studerende:

Morten T. Hansen

Morten Tjørnelund Hansen

Antal normalsider: 60

Vedlagt kvittering fra Digital Eksamen

Afleveringsdato: 1. juni 2017

Resume:

Klima- og energipolitik fylder meget i det Europæiske samarbejde, og med god grund. Klimaforandringerne ses i dag tydeligt, så hvis ikke der gøres noget nu, forventes det, at klimaforandringerne blive endnu tydeligere i fremtiden. Danmark har sat sig et mål om, senest i 2050 at gøre sig uafhængig af fossile brændsler, så som kul, olie og gas. Det betyder, at vedvarende energi skal kunne dække vores energiforbrug. For at opnå dette, er man nødt til at sætte ind dér, hvor energiforbruget er størst.

I Danmark benyttes ca. 30 % af det samlede energiforbrug i vores husholdning, hvoraf ca. 83 % går til rumopvarmning og varmt vand. Hvis det ikke reduceres, vil målet om udfasning af fossile brændsler ikke kunne opfyldes i 2050. Danmark har siden udgivelsen af det første bygningsreglement haft krav til varmeisolering. Krav der gradvist er skærpet og har medført, at Danmark i dag har de skrappeste energikrav til nybyggeri. Men nybyggeri udgør kun en meget lille procentdel af den samlede bygningsmasse, hvorfor fokuset bør rettes mod den eksisterende bygningsmasse.

Med udgangspunkt i en eksisterende etageejendom opført i perioden 1945 – 1955, er der i rapporten undersøgt, om det er muligt at nedbringe energibehovet i denne type ejendom. Et energibehov svarende til de i bygningsreglementets fastsatte energirammer. Kan det tillige udføres på en fugtteknisk sikker måde? Er det rentabelt? Afføder denne energioptimering, at bygningsejeren står med en ejendom, der er bedre rustet til fremtidens udfordringer både konstruktivt og funktionsmæssigt?

Der er i rapporten beskrevet tre Cases, hvor Case 1 er den oprindelige ejendom og Case 2 og 3 er en indvendig efterisolering med forskellige isoleringstykkelser. Ved hjælp af beregningsprogrammerne Be15, HEAT2, WUFI Light, beregnes og analyseres de tre Cases. Formålet hermed er at kunne foretage en vurdering af energibehov, energibesparelse, fugtteknisk robusthed, levetid, pladsreduktion, rentabilitet og fremtiden.

Bearbejdningen viste, at energioptimering ville give ejeren en ejendom med et væsentligt lavere energiforbrug. En energireduktion opnået med konstruktioner som hverken var fugtsikre eller rentable løsninger. På baggrund af energioptimeringen opnåede ejendommen heller ikke mere robuste konstruktioner.

Så på baggrund af rapporten, vurderes det, at den i rapporten bearbejdede energioptimeringsløsning, ikke er den rigtige for nærværende ejendom.

ENERGIRENOVERING AF ALMENNYTTIGE BOLIGBYGGERIER OPFØRT I PERIODEN 1945 - 1955



Masterspeciale afleveret 1. juni 2017

Master i Bygningsfysik F17

Udarbejdet af: Morten Tjørnelund Hansen, studie nr. 20142577

Uddannelsessted: Statens Byggeforskningsinstitut (SBI)
Aalborg Universitet, København
A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV

Uddannelse: Master i Bygningsfysik

Semester: F17 – 4. semester, forår 2017

Titel på Masterprojekt: Energirenovering af almennyttige boligbyggerier opført i perioden
1945 – 1955

Projektperiode: 1. februar til 1. juni 2017

Vejleder: Hovedvejleder, Seniorforsker, Torben Valdbjørn Rasmussen
Bivejleder, Seniorforsker Jørgen Rose

Studerende: Morten Tjørnelund Hansen, studie nr. 20142577

Aflevering: 1. juni 2017

Sprog: Dansk

Resume: Engelsk

Antal normalsider: 60

Antal sider: 120

FORORD

Nærværende masterrapport er udarbejdet som et afgangsprøveprojekt i forbindelse med uddannelsen "Master i Bygningsfysik", som udbydes af Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Aalborg Universitet, København.

Rapporten er udarbejdet af Morten Tjørnelund Hansen. I forbindelse med udarbejdelsen af masterprojektet, har der været tilknyttet to vejledere. Seniorforsker Torben Valdbjørn Rasmussen som hovedvejleder og seniorforsker Jørgen Rose som bivejleder

Rapporten er udarbejdet i perioden 1. februar 2017 til 1. juni 2017.

I rapporten bearbejdes en etageejendom opført i efterkrigsårene. Ejendommen er beliggende i et bymæssigt område, hvor den omkringliggende bygningsmasse fremstår med samme materielle udseende som nærværende ejendom. Derfor ønskes ejendommens nuværende udseende bevaret. Rapportens formål har derfor været at undersøge, om det vil være muligt at energioptimere denne type ejendom til et acceptabelt energiniveau ved hjælp af en indvendig efterisolering, og kan en sådan efterisolering udføres på en fugttek-nisk forsvarlig måde.

En energioptimering af den eksisterende ejendomsmasse i Danmark, vil medvirke positivt til den Danske regerings mål om at nedbringe CO₂ udslippet, samt målet om at kunne udfase de fossile brændsler i år 2050.

Men en energioptimering kræver investering fra ejendommejerens. Men holder investeringen, da investeringen naturligt vil medføre en forventning om, at bygningen skal fungere en rum tid fremover, ikke kun energimæssigt, men også hvad angår lejlighedssammensætning, indretning og ikke mindst de klimatiske forhold som bliver mere og mere udfordrende på grund af klimaforandringerne.

Rapportskrivningen har i sig selv været et spændende arbejde. Det har alt i alt været en lærerig og givende proces. En proces som har givet indblik i, hvor mange betragtninger der kan og bør bringes i spil, inden den rigtige beslutning kan tages. Ud over de betragtninger som er inddraget i nærværende rapport for at belyse ejendomme, kunne der alt efter ejendommejerens ønske sikkert opsættes andre indgangsvinkler. Rapporten som helhed har givet et stort personligt udbytte, som fremadrettet kan bruges aktivt i erhvervsøjemed.

Undervejs i processen har det være nødvendigt trække på kollegaer, vejledere, ejer, tidligere medstuderende og ikke mindst en forstående familie. Der skal til dem alle lyde en stor tak.

RESUMÉ

Klima- og energipolitik fylder meget i det Europæiske samarbejde, og med god grund. Klimaforandringerne ses i dag tydeligt, så hvis ikke der gøres noget nu, forventes det, at klimaforandringerne blive endnu tydeligere i fremtiden.

Danmark har sat sig et mål om, senest i 2050 at gøre sig uafhængig af fossile brændsler, så som kul, olie og gas. Det betyder, at vedvarende energi skal kunne dække vores energiforbrug. For at opnå dette, er man nødt til at sætte ind dér, hvor energiforbruget er størst.

I Danmark benyttes ca. 30 % af det samlede energiforbrug i vores husholdning, hvoraf ca. 83 % går til rumopvarmning og varmt vand. Hvis det ikke reduceres, vil målet om udfasning af fossile brændsler ikke kunne opfyldes i 2050.

Danmark har siden udgivelsen af det første bygningsreglement haft krav til varmeisolering. Krav der gradvist er skærpet og har medført, at Danmark i dag har de skrappeste energikrav til nybyggeri. Men nybyggeri udgør kun en meget lille procentdel af den samlede bygningsmasse, hvorfor fokuset bør rettes mod den eksisterende bygningsmasse.

Med udgangspunkt i en eksisterende etageejendom opført i perioden 1945 – 1955, er der i rapporten undersøgt, om det er muligt at nedbringe energibehovet i denne type ejendom. Et energibehov svarende til de i bygningsreglementets fastsatte energirammer. Kan det tillige udføres på en fugtteknisk sikker måde? Er det rentabelt? Afføder denne energioptimering, at bygningsejeren står med en ejendom, der er bedre rustet til fremtidens udfordringer både konstruktivt og funktionsmæssigt?

Der er i rapporten beskrevet tre Cases, hvor Case 1 er den oprindelige ejendom og Case 2 og 3 er en indvendig efterisolering med forskellige isoleringstykkelser.

Ved hjælp af beregningsprogrammerne Be15, HEAT2, WUFI Light, beregnes og analyseres de tre Cases. Formålet hermed er at kunne foretage en vurdering af energibehov, energibesparelse, fugtteknisk robusthed, levetid, pladsreduktion, rentabilitet og fremtiden.

Bearbejdningen viste, at energioptimering ville give ejeren en ejendom med et væsentligt lavere energiforbrug. En energireduktion opnået med konstruktioner som hverken var fugtsikre eller rentable løsninger. På baggrund af energioptimeringen opnåede ejendommen heller ikke mere robuste konstruktioner.

Så på baggrund af rapporten, vurderes det, at den i rapporten bearbejdede energioptimeringsløsning, ikke er den rigtige for nærværende ejendom.

ABSTRACT

Climate and energy politics have high priority within the European collaboration, and with good reason. Today, changes to the climate are obvious. If nothing is done now, climate change is expected to become even worse in the future.

Denmark has set an objective to end its dependence on fossil fuels, such as coal, oil and gas, no later than 2050. This means that it needs to be possible to cover our energy consumption by the use of renewable energy. To achieve this objective, it is necessary to take action where our energy consumption is biggest.

In Denmark, our households account for approximately 30 % of the overall energy consumption. Of these 30 %, approximately 83 % is used for space heating and hot water. If this is not reduced, the objective to phase out the use of fossil fuels by 2050 will be impossible.

Since the publication of the first building regulations, Denmark has had requirements for thermal insulation. These requirements have been gradually tightened and today, Denmark has the most stringent energy requirements when regarding new construction. However, these new buildings only comprise a very small percentage of all buildings, and this is why focus should be on existing buildings.

This report examines an apartment building constructed between 1945 and 1955, and assesses whether it is possible to reduce its energy consumption to meet the equivalent standards for energy set by the Danish building regulations. Along with this, can the building be optimized to ensure moisture control? Is it profitable? Will this energy optimisation mean that the building owner will have a building better equipped for future challenges, constructively as well as functionally?

In this report, three cases are described. Case 1 concerns the original building and case 2 and 3 investigates an internal re-insulation with varying insulation thicknesses.

By the use of the calculation programmes Be15, HEAT2 and WUFI Light, the three cases are calculated and analysed. The purpose is to be able to make an assessment of energy needs, energy savings, moisture and condensation resilience, lifetime, space reduction, profitability and the future.

The assessment of the data in question showed that energy optimisation will provide the owner of the building with a significant lower energy consumption. An energy reduction was achieved but the construction was neither moisture controlled nor a profitable solution. Based on the energy optimisation, the building did not get stronger constructions.

Therefore, on the basis of this report, it is concluded that the energy optimisation solution in focus in this report is not the right solution for the building in question.

INDHOLD

	FORORD	3
	RESUMÉ	4
	ABSTRACT	5
1.	INDLEDNING	8
1.1	Opgaveformulering	9
1.2	Afgrænsning	10
1.3	Metode	10
1.3.1	Fra indledning til konklusion	10
1.3.2	Formål og læsevejledning	11
2.	TEORI	12
2.1	Byggeslovgivning vedr. energi	12
2.1.1	Energikrav i 1940 og 2017.	12
2.1.2	BR15 i forhold til energioptimering.	15
2.2	Efterisolering	16
2.2.1	Energiforbrug	16
2.2.2	Indvendig eller udvendig efterisolering.	16
2.2.3	Hvor tyk kan/skal isoleringen være.	17
2.2.4	Træ- eller stål-lægter	18
2.3	Påvirkning af ejendommen i fremtiden.	23
3.	BESKRIVELSE AF EJENDOMMEN.	24
3.1	Generelt	24
3.1.1	Beliggenhed	24
3.1.2	Ejendommens funktion	25
3.1.3	Installationer og varmetilskud	26
3.2	Case 1, beskrivelse af ejendommens konstruktioner.	27
3.2.1	Case 1 den oprindelige ejendom	27
3.2.2	Konstruktive sammenbygninger.	31
3.2.3	Vurdering af levetider.	33
3.3	Case 2, beskrivelse af ejendommens konstruktioner.	33
3.3.1	Case 2 energioptimering	33
3.4	Case 3, beskrivelse af ejendommens konstruktioner.	36
4.	BEREGNINGER	37
4.1	Undersøgelsesmetoder	37
4.1.1	Beregningsmetode	37
4.2	Beregning af ejendommens energibehov	37
4.3	Case 1, ejendommens energibehov.	38
4.3.1	Sommerkomfort i Case 1	38
4.4	Case 2, ejendommens energibehov.	39
4.4.1	Opdeling af Case 2.	39
4.4.2	Sommerkomfort Case 2	40
4.5	Case 3, ejendommens energibehov.	41
4.5.1	Opdeling af Case 3.	41
4.5.2	Sommerkomfort Case 3	42
4.6	Fjernvarme udgifter	42
4.6.1	Fjernvarme udgifter Case 1.	42

4.6.2	Fjernvarme udgifter Case 2	42
4.6.3	Fjernvarme udgifter Case3	43
4.7	Rentabilitet	44
4.7.1	Rentabilitet Case 2	45
4.7.2	Rentabilitet Case 3	45
4.7.3	Økonomisk overslag.	46
4.8	Brugsareal/nettoareal	48
4.9	Fugttekniske forsvarlige konstruktioner	49
4.9.1	Overflade temperaturer	49
4.9.2	Case 1, oprindelige konstruktioner	50
4.9.3	Case 2, overflade temperaturer på konstruktionerne.	54
4.9.4	Case 3, overflade temperaturer på konstruktionerne.	56
4.9.5	Simulering af fugtforholdende i konstruktionerne.	57
4.9.6	Simuleringer Case 1.	60
4.9.7	Simuleringer CASE 2.	65
4.9.8	Simuleringer CASE 3.	66
5.	RESULTATER	67
5.1	Energiberegninger Be15	67
5.2	Fjernvarmeudgifter	69
5.3	Rentabilitet	70
5.3.1	Økonomisk overslag	70
5.4	Brugsarealer	71
5.5	HEAT2 simuleringer	71
5.6	WUFI simuleringer	72
6.	DISKUSSION	73
6.1	Formål med energioptimering	73
6.2	Ejendommens historik	73
6.3	Vurdering af ejendommens energiforbrug	74
6.4	Rentabilitet	75
6.5	Brugsarealer	75
6.6	Fugttekniske løsninger baseret på HEAT beregninger	76
6.7	Fugttekniske løsninger baseret på WUFI beregninger	77
6.8	Vurdering af ejendommens fremtid	78
6.8.1	Business case.	79
7.	KONKLUSION	81
8.	PERSPEKTIVERING	83
9.	LITTERATURLISTE	84
10.	BILAG	86

1. INDLEDNING

Klima og energipolitik fylder mere og mere i det Europæiske samarbejde og med god grund. Klimaforandringerne ses tydeligere og tydeligere, iht. Danmarks Klimacenter rapport nr. 6, *Fremtidig klimaforandringer i Danmark fra 2014*, vil klimaforandringerne ifølge FN's Klimapanel (IPCC) medføre globale temperaturstigninger mellem 1,0 °C (RCP2.6) og 3,7 °C (RCP8.5) i slutningen af det 21. århundrede, set i forhold til referenceperioden 1986-2005.

Udover temperaturstigninger og deraf forventelige stigende havniveau, vil klimaforandringerne sandsynligvis medføre længere perioder med hedeølger, kraftig nedbør, kraftige vinde etc. alt sammen noget vores bygninger skal kunne modstå.

For at imødekomme disse klimaudfordringer, har man i EU vedtaget, at det energipolitiske samarbejde i EU skal bygge på tre grundpiller¹, se nedenfor. Grundpiller som er på linje med Dansk energipolitik:

- Forsyningssikkerhed
- Konkurrencedygtighed
- Bæredygtighed
-

EU vedtog på et topmøde i Berlin 2007 en handlingsplan med følgende målsætninger:

- at modvirke globale klimaforandringer som konsekvens af udledningen af drivhusgasser
- at sikre EU's energiforsyning
- at styrke konkurrencen på EU's indre marked for energi

Et af virkemidlerne for at opnå ovenstående, var da stats- og regeringsledere vedtog 20/20/20 planen², som indeholdt følgende:

- Vedvarende energi (fx sol-, vind-, vandkraft samt jordvarme og biobrændsel) skal i 2020 udgøre 20 % af det europæiske fællesskabs energiforbrug.
- EU skal reducere CO₂-udledningerne med 20-30 procent i forhold til 1990.
- Forbruget af såkaldt primærenergi skal være mindre. Det skal ske gennem energieffektiviseringer. Målet er 20 procents reduktion i forhold til det forventede niveau. Primærenergi er den energi, som vi eksempelvis bruger i vores huse, virksomheder og til transport.³

Hvilken rolle har den europæiske energipolitik så på Danmark? Den danske energipolitik hænger uløseligt sammen med den europæiske, hvorfor den danske energipolitik tager udgangspunkt i de europæiske regler. Danmark kan som nation alene ikke bremse, ej heller løse den globale opvarmning, men kan være en vigtig brik i, at nå målet. Derfor har Danmark sat et ambitiøst mål.

¹ <https://ens.dk/ansvarsomraader/energi-klimapolitik/eus-klima-energi-politik>

² <http://old.efkm.dk/energi-forsynings-klimapolitik/eus-klima-energi-politik>

³ <http://www.climateminds.dk>

Målet er,

- at man senest i år 2050 skal være uafhængig af fossile brændsler, såsom kul, olie og gas. Hvilket betyder at produktionen af vedvarende energi, skal kunne dække vores energiforbrug.

Med udgangspunkt i ovenstående mål, er der sat nogle delmål frem mod 2020.

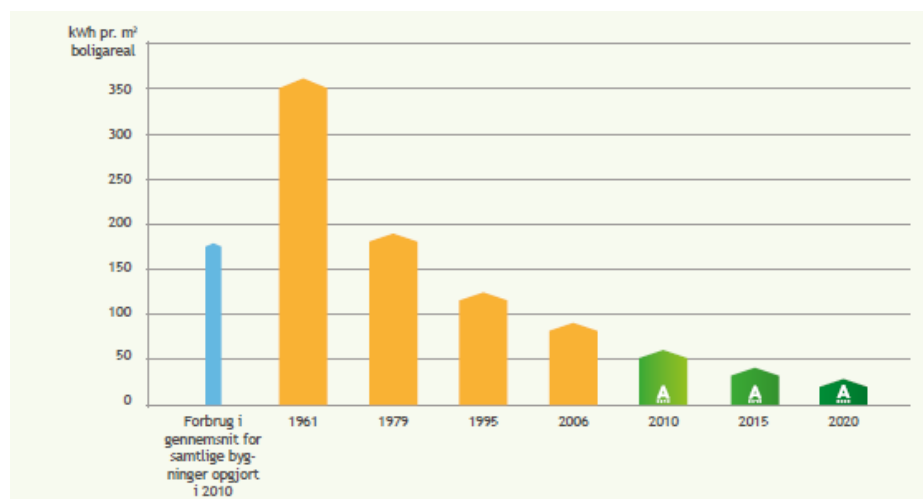
Målene er⁴,

- at reducere det danske energiforbrug med 12 % i forhold til 2006.
- at CO₂-udledningen skal være 34 procent mindre, end i 1990.
- at ca. 35 procent af vores energiforbrug kommer fra vedvarende energikilder.
- at 50 procent af vores elforbrug skal komme fra vind.
- at erhvervslivet som helhed – og energisektoren i særdeleshed - får stabile rammer at arbejde ud fra.

Med udgangspunkt i de europæiske og nationale mål om, at gøre noget ved klimaproblemerne, er man nødt til at sætte ind dér hvor energiforbruget er størst, hvis målene skal nås.

1.1 Opgaveformulering

Danmark har siden indførelsen af det første landsdækkende bygningsreglement i 1961 haft krav til varmeisolering. Før det, var det yderst begrænset med krav til varmeisolering. Men siden oliekriserne i 1970-erne, er bygningsreglementernes krav til varmeisoleringen løbende blevet skærpet, så Danmark i dag har de skrappeste energikrav til nyopførte bygninger. Faldet i antal kWh pr. m² fremgår af Figur 1. Trods skærpelse af energikrav udgør energiforbruget til den samlede husholdning, iht. energistyrelsens, rapport *DANMARKS ENERGI- OG KLIMAFREMSKRIVNING 2015*, i dag ca. 30 % af det samlede energiforbrug. Hvoraf 83 % går til rumopvarmning og varmt vand. De resterende 17 % går til elapparater.



Figur 1. Visende faldet i kWh pr. m², pga. skærpede krav i bygningsreglementet gennem tiden.

Dansk statistik, har i deres *Statistisk Årbog 2016* opgjort den samlede danske bygningsmasse til ca. 803,7 millioner m². Iht. rapporten *Nøglen til et omkostningseffektivt og bæredygtigt energisystem* udgør nybyggeri alene 1-1,5 % nybyggeri, hvor af ca.

⁴ Artiklen "Verdens mest ambitiøse energipolitik" 22. marts 2012 af Gustav Bech

0,25% er en udskiftning af eksisterende bygningsmasse. Det forventes derfor at ca. 90 % af den boligmasse som allerede findes i dag også vil eksistere og være i brug i 2050, hvor målet er at Danmark skal være uafhængig af fossile brændsler så som kul, olie og gas. Det betyder at produktionen af vedvarende energi, skal kunne dække vores energiforbrug.

Nybyggeri opført efter de nyeste energikrav, vil alene ikke kunne opfylde målet om 100 % omstilling til vedvarende energi [VE]. Her vil det være nødvendigt, at der kommer mere skub i renoveringen af den eksisterende bygningsmasse.

Fokus bør derfor være på bygninger opført før år 1980. Men kan de ejendomme på fugttechnisk og varmeteknisk vis, energirenoveres til et acceptabelt niveau? Niveauer svarende til bygningsreglementet 2015 [BR15] renoveringsklasse 1, 2 eller nybyggeri. Kræver de ønskede niveauer evt. etablering af VE kilder, så som solceller, solfangere etc.?

Energioptimering og fugttechnisk forsvarlighed er én ting, men holder investeringen, da investeringen naturligt vil medføre en forventning om, at bygningen skal fungere en rum tid fremover?

1.2 Afgrænsning

Med baggrund i problemformuleringen, er det et ønske, at undersøge muligheden for på fugttechnisk og varmeteknisk måde, at nedbringe energiforbruget i eksisterende etageejendomme. Nærværende rapport vil på baggrund af det omhandle/bearbejde en etageejendom, opført i efterkrigsårene fra 1945 til 1955. En periode hvor der iht. Dansk statistik årbog, *Statistisk Årbog 2016* blev opført ca. 189.000 etageboliger, hvilket udgør ca. 17 % af de samlede antal etageboliger i Danmark.

Efterkrigsårene var en periode, hvor man i samarbejde mellem byplanlæggere og arkitekter gerne ville opnå, at skabe boligbebyggelse af høj arkitektonisk kvalitet, i gode gedigne materialer, og som i dag symboliserer dansk byggeskik gennem forskellige tidsperioder.

Opgaven vil derfor fokusere på, at energioptimere en fuldmuret etageejendoms klimaskærm. I nærværende rapport bearbejdes en ejendom, som er beliggende i bymæssig bebyggelse, hvor der i tidsperioden er opført flere lignende etageejendomme samt tæt lav bebyggelse i tegl.

Kan en energirenovering af denne type ejendom gennemføres under hensyn til de byplansmæssige og arkitektoniske ønsker, som bebyggelse og området rummer, så bevaringsværdierne/helhedsindtrykket for ejendommen og området ikke går tabt? Det undersøges derfor om ejendommen fugttechnisk og varmeteknisk forsvarligt kan efterisoleres indvendig til energiklasser opfyldende enten renoveringsklasse 1, 2 og evt. kravet til nybyggeri jf. BR-2015, evt. i kombination med VE.

Med udgangspunkt i renoveringen, laves en holistisk vurdering af om bygningen på baggrund af den opnåede energibesparelse, frigivet økonomisk råderum, konstruktive løsninger og bygningens fremtidige robusthed er en brugbar løsning.

1.3 Metode

1.3.1 Fra indledning til konklusion

For at belyse de i afgrænsningen opsatte spørgsmål, er rapporten inddelt i forskellige kapitler og underafsnit. De enkelte kapitler og underafsnit bearbejder/undersøger for-

skellige problemstillinger som til sidst danner grundlag for en konklusion. Bearbejdningen og konklusionen skulle gerne give ejendommejeren svar på, om denne energioptimerings form vil være en god løsning.

Det er i forbindelse med opgaven, ikke foretaget en fysiks gennemgang af ejendommen. Ejendommen er derfor beskrevet ud fra tilgængelig tegningsmateriale samt oplysninger fra ejendommejeren.

Rapportens opbygning er iht. nedenstående.

Første del af rapporten indeholder:

- Indledning, problemformulering og afgrænsning
- En beskrivelse af datidens og nutidens energikrav iht. respektive bygningsreglementer.
- Efterisoleringsmetoder, her gennemgås og undersøges hvilken efterisoleringsmetode der benyttes ved energioptimeringen af ejendomme.
- Klimaforandringer, hvad er det for forandringer ejendommene skal kunne modstå i fremtiden.

Anden del af rapporten indeholder:

- Den oprindelig ejendom beskrives ud fra tegninger, billeder samt input fra ejendommejeren. Der opstilles tre cases, benævnt henholdsvis Case 1, Case 2 og Case 3. Ejendommens funktion, installationer etc. beskrives. Derefter beskrives de enkelte konstruktioners opbygning i hver af de tre Cases.
- På baggrund af beskrivelserne af de tre Cases beregnes ejendommens energiforbrug, energibesparelser Casene imellem, rentabilitet, klimaskærmens restlevetider etc. For at beregne ejendommens energiforbrug benyttes programmet Be15.
- For at vurdere på, om knudepunkter og ydervægskonstruktioner er fugttekniske forsvarlige, simuleres udvalgte konstruktioner i beregningsprogrammerne HEAT2 og WUFI Light. HEAT2 regner på temperaturforløb igennem en konstruktion. WUFI Light beregner på fugt og temperaturforhold i en given konstruktion.

Sidste del af rapporten:

- Her samles op på, om resultaterne beregnet i anden del af rapporten er anbefalelsesværdige både fugtteknisk, varmeteknisk, energimæssigt etc., når resultaterne sammenholdes med diverse SBI-anvisninger, BYG-ERFA erfaringsblade etc.
- Afslutningsvis vurderes der på om ejendommen som helhed er klar til fremtiden.

1.3.2 Formål og læsevejledning

Rapporten skal læses som en helhed, hvorved ejendommejeren på baggrund af konklusionen kan beslutte om renoveringsform er anbefalelsesværdig, når man ser på ejendommen som helhed. Men rapportens beregnings og diskussionsafsnit kan også benyttes som et opslagsværk, ved fremtidige renoveringssager med samme byggeskik, ikke som resultat for andre ejendomme, men som argumentation for om de løsninger der drøftes er realistiske.

2. TEORI

2.1 Byggeslovgivning vedr. energi

2.1.1 Energikrav i 1940, 1960 og 2017.

I 1940 fandtes ikke en landsdækkende byggeslovgivning, men i 1939 påbegyndte man arbejdet til et udkast til *Byggeslov for købstæderne og landet* svarende i store træk til Københavns byggeslov af 1939.

I den københavnske byggeslov af 29. marts 1939, *for staden København*, kapitel 5 §45 var der indskrevet få krav til varmeisolering.

- Ydervægge skulle f.eks. min. svarende til 1½ sten, omregnet til en U-værdi på ca. 1,5 W/m²K.
- Rum med afgrænsning mod tagflader, skulle adskilles med min. 2 lag 19 mm forskalling med pap i mellem.

Men på grund af krigen og en efterfølgende lang proces vedr. udarbejdelse og efterfølgende langsommelig tilretning, gik der 21 år inden *Byggeslov for købstæderne og landet af 10. juni 1960*, endelig trådte i kraft.

Derimod gik der kun et år, før et nyt bygningsreglement [BR] så dagens lys, ved *Bygningsreglement for købstæderne og landet* af 1. marts 1961. Et reglement gældende for hele landet på nær København og Frederiksberg. Bygningsreglementet var i vid udstrækning baseret på såkaldte funktionsbaserede krav. Funktionskrav som også kendes også fra nutidens bygningsreglementer. I bygningsreglementet fremgik en række krav til konstruktionens maksimale K-værdi, som i dag benævnes U-værdi.

Som det fremgår af Tabel 1, er man over en periode på 75 år gået fra, at have to krav til varmeisolering i 1940 til ni u-værdi krav i 1961. Mod i dag, hvor der findes tretten krav alene til U-værdier. Kravene fra henholdsvis Københavns byggeslov af 1939, BR61 og nutidens krav iht. BR15 ses i Tabel 1, som er et udklip af Bilag 1. I Bilag 1 ses konstruktionernes U-værdikrav gennem tiden, alt efter hvilket bygningsreglement der var gældende.

Tabel 1. Skematisk oversigt over bygningsreglementers U-værdi krav, som de så ud i 1939, BR61 og nutidens krav i BR15 til nybyggeri og ombygning.

Bygningsdele	Københavns byggelov af 1939	BR61	BR15	BR15 krav ved ombygning
		W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K
Ydervæg > 100 kg. /m ² + mod jord	1½ sten, U-værdi på ca. 1,5 W/m ² K.	1,1	0,3	0,18
Ydervæg < 100 kg/m ²		0,5	0,3	0,18
Kælderydervæg		-	0,3	0,18
Skillevæg - uopv. rum		1,7	0,4	0,4
Terrændæk		0,4	0,2	0,1
Terrændæk mv. med gulvvarme		-	0,2	0,1
Gulve mod ventilerede kryberum		0,5	0,2	0,1
Etageadskillelser over/mod det fri		0,4	0,2	0,1
Etageadskillelse mod uopvarmet rum		0,5	0,4	0,1
Loft- og tagkonstruktion	2 x 19 mm forskalling med pap i mellem	0,4	0,2	0,12
Flade tage / skråvægge		0,4	0,2	0,12
Yderdør, port og lem		-	1,8* 1,5** 1,4***	1,8 ¹ 1,4 ²
Vinduer mm.		-	-17**** kWh/m ²	-17**** kWh/m ²

*krav til port og lem. ** krav til yderdøre med glas. *** krav til yderdør uden glas. ****U-værdikravet til vinduer ændres til Energitilskud (E-ref) et udtryk for vinduets varmetilskud, 1 porte, 2 Lemme, nye forsatsvinduer og ovenlyskupler.

Ud over mindstekravet til de enkelte konstruktionernes U-værdi, findes der i dag forskellige energirammer som angiver, hvor meget energi ejendommen som helhed må bruge. To energirammer til nybyggeri, henholdsvis bygningsreglementets mindstekravet benævnt Lavenergiklasse 2015 samt den frivillige bygningsklasse 2020. Udover kravene til nybyggeri findes to energirammer til renovering, renoveringsklasse 1 og 2. Energirammekravene iht. BR15 for de fire klasse er beskrevet nedenfor.

- BR15 mindste kravet til nybyggeri.
Lavenergiklasse 2015, energiforbruget må ikke overstige 30 kWh/m² pr. år til-lagt 1000 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal.
- Frivillig bygningsklasse.
Bygningsklasse 2020, energiforbruget må ikke overstige 20 kWh/m² pr. år
- Renoveringsklasse 1, energiforbruget må ikke overstige 52,5 kWh/m² pr. år til-lagt 1650 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal. Et energi krav svarende til minimumskravet i BR10.
- Renoveringsklasse 2, energiforbruget må ikke overstige 110 kWh/m² pr. år til-lagt 3200 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal.

Udover selve energirammen til nybyggeri, stilles der krav til transmissionstabt gennem facaderne og bygningernes tæthed, se Tabel 2. Krav som formegentlig vil være svære, at overholde ved en renovering. Selvom energirenovering skulle medføre, at energirammerne for nybyggeri opfyldes, hvad angår energibehovet.

Tabel 2. BR15 krav til henholdsvis lavenergiklasse 2015 og bygningsklasse 2020

Lavenergibygningsklasse 2015	Bygningsklasse 2020
<i>Bygninger, der er omfattet af lavenergi-rammen skal udføres, så det dimensionerende transmissionstab ikke overstiger 4,0 W pr. m² klimaskærm for bygninger i én etage, henholdsvis 5,0 W pr. m², når bygninger er i 2 etager og 6,0 W pr. m², når bygningen er i 3 etager og derover. Arealet af vinduer og døre og transmissionstabet gennem disse medtages ikke i beregningen.</i>	<i>Det dimensionerende transmissionstab må ikke overstige 3,7 W pr. m² klimaskærm, når bygningen er i én etage, 4,7 W når bygningen er i 2 etager og 5,7 W når bygningen er i 3 etager og derover. Arealet af vinduer og døre og transmissionstabet gennem disse medtages ikke i beregningen.</i>
<i>Luftskiftet gennem utætheder i klimaskærmen må ikke overstige 1,0 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa</i>	<i>Luftskiftet gennem utætheder i klimaskærmen må ikke overstige 0,5 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa</i>
<i>For bygninger, der forsynes med fjernvarme, gælder en energifaktor for fjernvarme på 0,8 ved eftervisning af, at energirammen for lavenergibygningsklasse 2015 er overholdt.</i>	<i>For bygninger forsynet med fjernvarme gælder en energifaktor på 0,6 ved eftervisning af, at lavenergiramme for bygningsklasse 2020 er opfyldt.</i>

I ejendomme hvor fjernvarme benyttes som opvarmningskilde, er der i bygningsreglementet indført en energifaktor på fjernvarme, se Tabel 2.

Energifaktor på fjernvarme gør, at man i en energiramme beregning på en ejendom opvarmet med fjernvarme, ganger energibehovet med henholdsvis 0,8 for lavenergibygningsklasse 2015 og 0,6 for bygningsklasse 2020.

Det betyder ikke, at ejendommen benytter mindre energi blot fordi der benyttes fjernvarme som opvarmningskilde. Men det gør det lettere, at opfylde energirammen hvis energikilden er fjernvarme. Så energifaktoren skal ses som en påvirkning til, at fremme brugen af fjernvarme.

Ud over krav til en ejendoms energibehov, transmissionstab og tæthed. Fastsættet bygningsreglementet også krav til det termiske indeklima. Iht. BR15 kap. 6.2 stk. 1,

skal der for boliger dokumenteres, at der kan opretholdes et sundhedsmæssigt tilfredsstillende termisk indeklima. Det skal blandt andet dokumenteres, at der maksimalt er 100 timer pr. år, hvor indetemperaturen overskrider 27 °C og 25 timer pr. år, hvor indetemperaturen overskrider 28 °C.







Opfyldelse af renoveringsklasserne kan som ved nybyggeri ikke opfyldes alene ved, at opfylde kravet til energibehovet.

For at opfylde renoveringsklasserne 1 og 2, skal behovet for tilført energi forbedres med minimum 30 kWh/m² pr. år. Derudover skal der i ejendommens energiforsyning være en andel af vedvarende energi.

Til renoveringsklasse 1 skal kravet til indetemperaturen, som ved nybyggeri, opfyldes og dokumenteres. Derudover sættes der nogle krav til ventilation se BR15 kap. 6.3.1.2.

2.1.2 BR15 i forhold til energioptimering.

BR15 opdeler kravene til varmeisolering, som angivet i Figur 2. I denne rapport vil fokusset ligge på kapitel 7.4, ombygning og andre forandringer og udskiftning af bygningsdele.

					
Nybyggeri	Ændret anvendelse	Tilbygning	Ombygning og andre forandringer	Udskiftning af bygningsdele og installationer	Reparationer og vedligeholdelse*
Energikrav Kapitel 7.2	Energikrav Kapitel 7.3	Energikrav Kapitel 7.3	Energikrav (rentabel) Kapitel 7.4	Energikrav Kapitel 7.4	Ingen energikrav Kapitel 7.4

Figur 2. BR15 fokusområder vedr. varmeisolering

I BR15 kap. 7.4 stilles der krav om, at rentabel varmeisolering skal foretages i forbindelse med ombygning og ændringer af bygningsdele. Dog skal ændringer der ikke kan udføres fugtteknisk forsvarligt, ikke gennemføres.

Hvad er rentabilitet?

Rentabiliteten er et udtryk for, om bygningsejeren over en bestemt tidsperiode (levetid) på baggrund af ændringen/renoveringen, kan spare tilstrækkeligt på varmeudgiften, så renoveringen vurderes rentabel. Rentabilitet beregnes på følgende måde.

$$\frac{\text{Levetid i år} * \text{årlig besparelse i kr.}}{\text{Ekstra investering i kr.}} \geq 1,33$$

I BR15, Bilag 6 *Bygningers energiforbrug*, er fastsat forskellige levetider for konstruktioner/bygningsdele, som kan benyttes til rentabilitets beregningen.

Den årlige besparelse i kr. er et udtryk for, hvor meget bygningsejeren kan spare på varmeudgiften ved energirenoveringen.

Den ekstra investering, er den samlede investering som skal til for at opnå den årlige besparelse inkl. moms.

2.2 Efterisolering

2.2.1 Energiforbrug

Ældre etageejendomme har ifølge BYG-ERFA blad nr. (99) 081228, *energi og indeklimaforbedringer – ældre etageboliger* et gennemsnitlig energiforbrug på ca. 200 kWh/m². Hvilket er svarerende til ca. fire gange energibehovet i renoveringsklasse 1 og ca. syv gange højere end mindstekravet til nybyggeri i BR15.

2.2.2 Indvendig eller udvendig efterisolering.

Den sikre og til tider letteste løsning er, at vælge udvendig efterisolering. Men der kan være forskellige aspekter der gør, at en udvendig løsning ikke vælges. Det kan være at ejendommen passer ind i et bestemt bybillede, eller har facadelinjer som i bybilledet ønskes bevaret. Derudover kan konstruktive løsninger som f.eks. manglende udhæng, indbyggede altaner etc. gøre, at facaderne ikke umiddelbart kan efterisoleres udvendig.

Uanset om valget falder på den udvendige eller den indvendige efterisoleringsløsning, vil der være fordele og ulemper ved valget. Fordele og ulemper som bør overvejes og drøftes fra sag til sag. I SBI-anvisning 221, *Efterisolering af etageboliger*, tabel 4 ses fordele og ulemper ved henholdsvis indvendig og udvendig efterisolering. Fordele og ulemper som kan benyttes som vurderingsparametre, når det skal besluttes hvilken løsning der skal benyttes for den enkelte ejendom.

- Efterisoleringsmetode

Med udgangspunkt i afsnit 1.2 Afgrænsning. Fokuseres der i rapporten på indvendig efterisolering, hvorved bebyggelsens udseende ikke ændres, og derfor vil fremstå som oprindelig.

BYG-ERFA har i erfaringsblad nr. (31) 151115, *Indvendig efterisolering – ældre ydervægge af murværk*, udarbejdet en oversigt over forskellige konstruktionstyper og sammensætninger. Sammensætninger som BYG-ERFA ved en indvendig efterisolering løsning kategoriserer som værende mulige løsninger, eller løsninger som frarådes, se Figur 3.

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

Figur 3. Konstruktionssammensætninger ved indvendig efterisolering, som BYG-ERFA iht. erfaringsblad (31)151115 "indvendig efterisolering- ældre ydervægge af murværk, enten fraråder eller vurderer mulige at benytte.

2.2.3 Hvor tyk kan/skal isoleringen være.

Ser man på U-værdien alene, skal en ydervæg iht. BR15 isoleres, så den opfylder en u-værdi på mindst 0,18 W/m²K, se Tabel 1. Dog kun hvis løsningen er rentabel og fugt-teknisk forsvarlig.

En beregning med nedenstående formel viser, at en massiv ydervæg på 360 mm, hvis der ses bort fra kuldebroer, skal efterisoleres med ca. 150 mm isolering λ [Lambda-værdien] 0,030 W/mK.

$$X = \lambda * \left(\frac{1}{U_{\text{efter}}} - \frac{1}{U_{\text{før}}} \right)$$

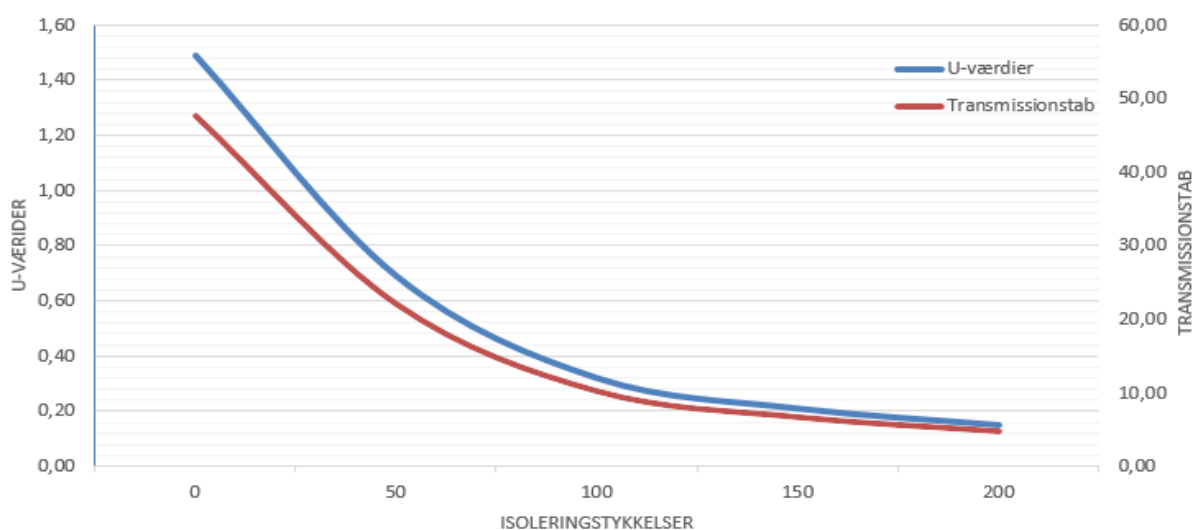
X angiver isoleringstykkelsen i m. Lambdaværdien λ på den isolering som benyttes. U-efter er mindste U-værdikrav iht. BR15 i dette tilfælde 0,18 W/m²K, se Tabel 1. U-før er U-værdien for den massive ydervæg på 360 mm, svarende til en U-værdi på 1,49 W/m²K.

Beregningen viste som tidligere beskrevet, at isoleringstykkelsen skulle være minimum 150 mm for, at opfylde U-værdikravet. Anbefalingerne iht. BYG-ERFA blad nr. (31) 15115, *indvendig efterisolering - ældre ydervægge af murværk* er dog, at der maksimalt efterisoleres med ca. 100 mm isolering λ 0,037 W/mK. Denne tykkelse anses værende en forsvarlig fugttechnisk løsning, hvis konstruktioner udføres iht. gældende SBI-anvisninger, BYG-ERFA blade etc. da forkert udført efterisolering kan føre til indeklimateproblemer og dyre bygningskader.

På baggrund af ovenstående anbefalinger og bygningsreglementets tekst, "*Dog skal ændringer der ikke kan udføres fugttechnisk forsvarligt, ikke gennemføres*". Vil der i de kommende beregninger maksimalt blive benyttet isoleringstykkelser på 100 mm.

- Energigevinst og overfladetemperaturer

Udover det fugttechniske beskrevet i det foregående, viser beregninger, at de første 100 mm isolering også medfører den største reduktion i U-værdien og transmissions tabet, hvorefter kurven flader ud og gevinsten reduceres, se Figur 4.



Figur 4. Sammenhæng mellem isoleringstykkelser med λ 0,030 W/mK, reduktion af U-værdi og transmissionstab for en 360 mm massiv teglmur

Andre beregninger viser, at blot 25 mm isolering på en massiv ydervæg, hæver overfladetemperaturen indvendig til 18 °C, se Figur 5. En overfladetemperatur som iht. SBI-anvisning 224, *Fugt i bygninger* [SBI-anvisning 224], tabel 10 ikke vurderes værende kritisk i forhold til skimmelvækst, når man ser på bygninger i fugtbelastningsklasse 3. Fugtbelastningsklasse 3 er iht. SBI-anvisning 224 tabel 3, boliger med ukendt beboelsestæthed, hvilket kan være en udlejnings etageejendom.

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

Figur 5. Overfladetemperaturer ved en massiv ydervæg fra 0 mm til 125 mm isolering iht. BYG-ERFA blad nr. (31) 15115, *indvendig efterisolering - ældre ydervægge af murværk*.

2.2.4 Træ- eller stål-lægter

- Varmeteknisk

Det bærende system i forsatsvægge udføres normalt enten med træ- eller stål-lægter, imellem lægterne indbygges isolering. Kombination af lægter og isolering vil uanset materialet på lægterne, medfører en øget varmestrøm gennem væggen end hvis denne del af væggen udelukkende bestod af isolering. Det skyldes at stål og træs varmeledningsevne er væsentlig højere end isoleringens. Varmeledningsevnen for henholdsvis stål og træ er anført nedenfor.

- Konstruktionstræ = 0,12 W/mK iht. DS 418, *Beregning af bygningers varmetab* [DS418].
- Blødt stål = 55 W/mK iht. DS 418.

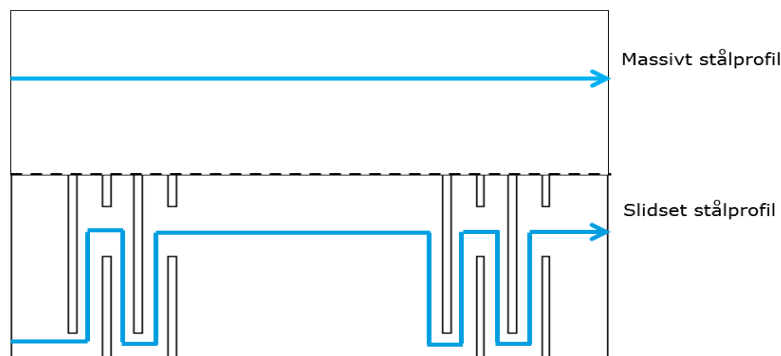
Så jo højere λ -værdi, desto bedre er materialet til at lede varmen hvilket medfører større varmetab gennem en konstruktion. Hvorimod lavere λ -værdi, desto bedre isolerer materialet og dermed et mindre varmetab gennem konstruktionen.

Ved en udvendig efterisolering, benyttes normalt et slidset stålprofil, som medfører et mindre varmetab og kuldebroer i ydervægskonstruktionen. Et slidset stålprofil medfører en forøgelse af kuldebroens længde sammenlignet med et massivt profil, se Figur 6.

Den ækvivalente varmeledningsevne for profil kroppen i et slidset profil ligger på 6-7 W/mK, modsvarende et massivt stålprofil som ligger på ca. 55 W/mK.

Slidsede stålprofiler produceres med en mindste bredde på 145 mm. For at minimere pladsreduktionen ved opførelse af indvendige forsatsvægge, benyttes almindelige massive stållægter, evt. som fabrikat Knauf⁵, type MR-stolpe med en godstykkelse på 0,46 mm, stållægterne produceres med en bredde startende på 45 mm.

⁵ www.Knauf.dk



Figur 6. Forskel på længden som varmen skal transmitteres i henholdsvis et massivt stålprofil og et slidset stålprofil

- U-værdi for konstruktioner med stål og træ

For at kunne beregne en U-værdi for en konstruktion efterisoleret med et inhomogent lag, bestående af henholdsvis isolering + lægter i træ eller stål. Skal varmeledningstallet for det inhomogene lag beregnes.

Alternativt til en håndberegning er, at optegne de to konstruktioner i programmet HEAT2, et beregningsprogram som benyttes til simulering af todimensionale varmerumme i konstruktioner. Læs mere om programmet HEAT2 i kap. 4 afsnit 4.9.1 Overflade temperaturer.

Konstruktionerne optegnes med profiler placeret med en center afstand på 450 mm, uanset om det er stål eller træ. Konstruktionen består af en 360 mm massiv teglydevæg, 10 mm puds, forsatsvæggen med 50 mm isolering λ 0,030 W/mK inkl. stål eller træ, afsluttet med to lag gips. Materiale egenskaber for de enkelte produkter fremgår af Tabel 3. Godstykkelsen på stål er 0,46 mm. Trælægterne er 50 x 50 mm.

Beregningstemperaturene sættes til 1 °C indvendig og 0 °C udvendig.

Tabel 3. Materiale data til U-værdiberegning i HEAT2. I tabellen fremgår densitet på det enkelte materiale samt varmeledningsevnen. I kolonne til højre er angivet hvor oplysningerne stammer fra.

Materiale	Densitet kg/m ³	Varmeledningsevne W/mK	Kilde
Tegl	1800	0,74	DS 418 s. 80 kurve B
Puds	1500	0,65	DS 418 s. 83 kurve C
Isolering forsatsvæg		0,030	Isover ⁶
Gips	900	0,25	DS418 s. 85 tabel F2

U-værdierne for de to konstruktioner bliver henholdsvis for en forsatsvæg med:

- Stål og isolering 0,53 W/m²K
- Træ og isolering 0,48 W/m²K

Beregningerne viser ikke overraskende, at stålet har den største indflydelse på den samlede U-værdi, da stålets varmeledningstal er ca. 458 gange større end træ. Så skal valget tages alene på baggrund af U-værdien, vil træ være det bedste valg.

⁶ www.isover.dk

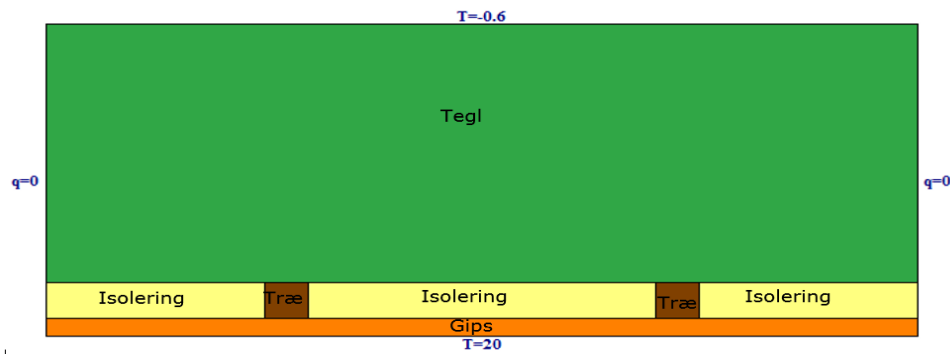
- Fugtteknisk

I en type forsatsvæg som beskrevet i det foregående afsnit, placeres den bærende konstruktion uanset om det er stål- eller trælægter, på den udvendige side af dampspærren, svarende til en placering mellem den eksisterende teglvæg og de indvendige gipsplader.

For at vurdere på om forsatsvæggen indeholdende træ også vil være det foretrukne valg, vurderet ud fra et fugtteknisk synspunkt, simuleres temperaturforløbet i samme konstruktion som ved beregning af U-værdien.

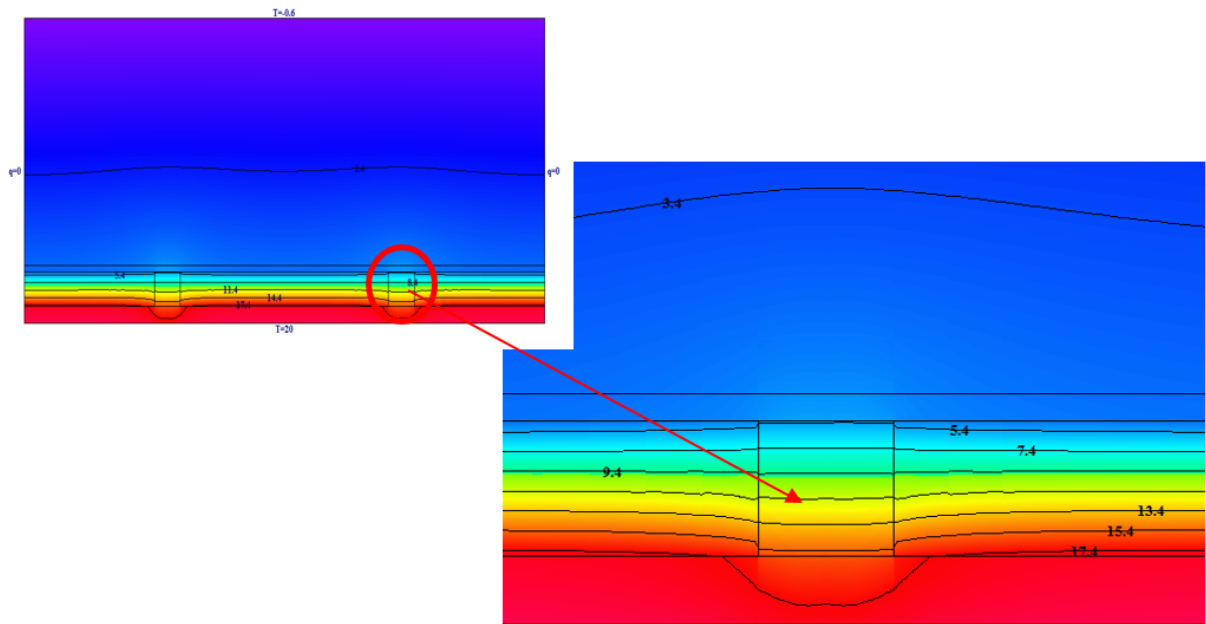
Simuleringen af temperaturforløbet beregnes ligeledes i programmet HEAT2, eneste ændring er temperatursættet. Temperaturene sættes til temperaturer for januar måned, som iht. SBi-anvisning 224, tabel 16 er den mest kritiske måned. Svarende til en indvendig temperatur på 20 °C og udvendig -0,6 °C. I Figur 7 ses en grafisk opbygning af konstruktionen optegnet i HEAT2.

Temperaturene omkring træet sammenholdes med de kritiske temperaturer for henholdsvis kondensrisiko (100% RF) og skimmelrisiko (75% RF). Minimumstemperaturer fremgår af SBi-anvisning 224, tabel 10.



Figur 7. Konstruktionsopbygning i HEAT 2, af en efterisoleret massiv teglydervæg, forsatsvæggen opbygget af træ, isolering og to lag gips.

Figur 8 viser et temperaturspænd i isoleringslaget fra ca. 5 °C til ca. 15 °C. Indvendig overflade temperaturen på gipspladen, i området ud for trælægten, kan i programmet aflæses til 17,8 °C.



Figur 8. Temperatur forløbet i en efterisoleret massiv tegldervæg, simuleret i HEAT 2. Væggen er efterisoleret med en 75 mm forsatsvæg bestående af trælægter cc 450 mm, 50 mm isolering og 2 lag gips. Overfladetemperaturen på væggen ud for stålægten kan i programmet aflæses til 17,8 °C.

Sammenlignes temperaturene med de kritiske temperaturer for fugtbelastningsklasse 3, iht. SBI-anvisning 224, tabel 10, for henholdsvis kondensrisiko (100% RF) på 11,5 °C og skimmelrisiko (75% RF) 15,9 °C. Så vurderes temperaturene i isoleringslaget værende kritiske, hvis der kommer fugt ind i dette område evt. gennem teglvæggen eller gennem en utæt dampspærre. Den indvendige overflade temperatur på gipspladen, udfør trælægten er i denne konstruktion ikke kritisk.

En enkelt måde at undersøge om der er måneder, hvor der opnås kritiske fugtniveauer er ved hjælp af en Glaser beregning, som ses i Figur 9.

Glaser's beregningsmetode for vanddampdiffusion er en stationær beregningsmetode, som anvender konstante forhold på de to sider af konstruktionen, svarende til HEAT2.

Med udgangspunkt i januar måned, viser beregningen at der i overgangen mellem teglvæggen og isolering/træ laget vil opstå fugtforhold med kondensation, visende ved at den relative fugtighed rammer 100 %, som er markeret med rødt i Figur 9. Kondensation i en konstruktion er ikke ensbetydende med, at konstruktionen ikke kan anvendes. Konstruktionen kan godt anvendes, hvis der på andre tider af året er forhold i konstruktionen, som gør at det ophobede fugt tørrer ud, og konstruktionen ikke indeholder organiske materialer. Hvilket konstruktionen i dette tilfælde gør via trælægterne.

Forsatsvæg med trælægter Måned: Januar

Temperaturer gennemsnit iht. DMI:

udvendig temp -0,60 °C

Inde temp. 20,00 °C

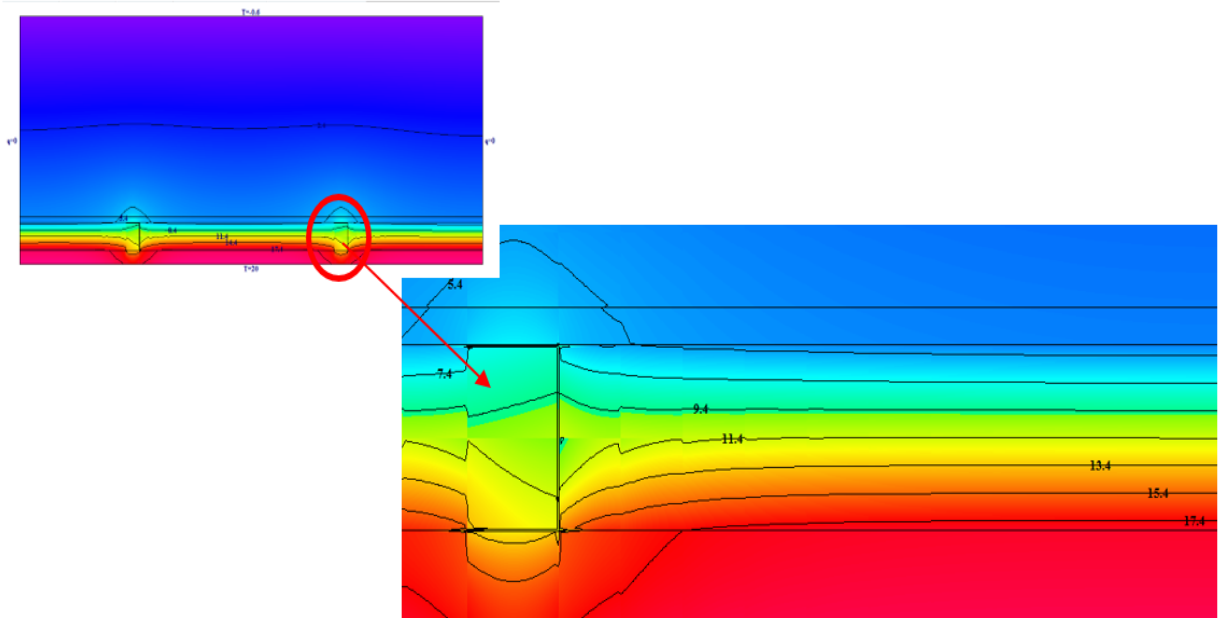
Boligen er i beliggende i en beboelsesejendom, jf. SBI 224 tabel 3 tilhører boligen fugtbelastningsklasse 3. Derfor fastsættes den RF til 46%

RF udv i januar måned jf. SBI 224 s. 66 tabel 4 = 94%

Materiale	Tykkelse s m	Varmeledningsevne lambda W/m*K	Isolans R=d/lambda m2*K/W	Temperatur- ændring	Temperatur	Måtnings- damptryk Pa	Damper- meabilitet kg/m*s*Pa	Diffusions- modstand Pa*m2*s/kg	Damptryks- fald Pa	Damptryk Pa	Relativ fugtighed RF %
Udvendig overgang	-	-	0,04	0,40	-0,60	580,99	-	-	-	546,13	94,00
Tegl	0,36	0,74	0,486	4,88	-0,20	600,56	2,00E-11	1,80E+10	471,00	546,13	90,94
Puds (KC-mørtel)	0,01	0,65	0,015	0,15	4,68	852,43	1,00E-11	1,00E+09	26,17	1017,13	119,32
Isolering + træ	0,05	0,04	1,282	12,85	4,83	861,67	2,00E-10	2,50E+08	6,54	1043,30	121,08
Dampspær. (PE-folie)	0,00	0,17	0,001	0,01	17,68	2022,04	-	2,06E-10	0,00	1049,84	51,92
Gips	0,03	0,25	0,100	1,00	17,69	2023,54	-	9,62E+08	25,16	1049,84	51,88
Indvendig overgang	-	-	0,13	1,30	18,70	2154,97	-	-	-	1075,00	49,88
			2,06		20,00	2336,95				1075,00	46,00
					20,60			2,02E+10		528,87	

Figur 9. Glaser beregning af den efterisoleret massiv teglydervæg. Efterisoleret med en 75 mm forsatsvæg bestående af trælægter cc ca. 450 mm., 50 mm isolering og 2 lag gips. De røde tal, viser områder hvor der i konstruktionen opstår kondens, hvilke sker ved 100 % RF.

Laver man en tilsvarende beregning, hvor trælægterne er udskiftet til stålægter med et varmeledningstal for blødt stål på 55 W/mK. Viser HEAT2 beregningen et temperaturspænd i isoleringslaget fra ca. 6 °C til ca. 16 °C og ca. 12 °C ved overgang mellem stål og gips, se Figur 10. Overfladetemperaturen på gipspladen ud for stålet er ca. 16 °C, hvilket er lidt lavere end ved trælægter. En overflade temperatur på 16 °C, er tæt på den kritiske overflade temperatur for skimmelvækst som iht. SBI-anvisning 224, tabel 10. er 15,9 °C i fugtbelastningsklasse 3.



Figur 10. Temperatur forløb i en efterisoleret massiv teglydervæg, simuleret i HEAT 2. Væggen er efterisoleret med en 75 mm forsatsvæg bestående af stålægter cc ca. 450 mm., 50 mm isolering og 2 lag gips. Overfladetemperaturen på væggen ud for stålægten kan i programmet aflæses til 16 °C

Skulle der i denne konstruktion opstå kritiske fugtniveauer i kombination med lave temperaturer, er det som tidligere beskrevet ikke ensbetydende med at konstruktionen ikke kan bruges, så længe konstruktionen ikke indeholder organiske materialer.

Konstruktionen med stål medfører en dårligere U-værdi og dermed et større varmetab, samt en lavere overflade temperatur på indvendig side af væggen, end konstruktionen opbygget med trælægter.

Men på baggrund af ovenstående fugttekniske vurderinger, vil der i de kommende beregninger blive benyttet en væg med stålægter.

Begrundelsen herfor er, at det ikke kan anbefales at indbygge organiske materialer i en lukket konstruktion, hvori der er indikationer på, at der vil opstå kritiske fugtforhold som kondens.

2.3 Klimatiske påvirkning af ejendommen i fremtiden.

Ejendommen er opført før man begyndte at snakke omkring, energiforbedringer, CO₂ udslip, klimaforandringer osv. Ejendommen er opført efter datidens byggeskik og med en robusthed som var krævet på daværende tidspunkt.

Går man ind og renoverer en ejendom, vil forventningerne fra ejendommens ejer naturligt være, at ejendommens levetid som minimum forlænges indtil investeringen er tjent hjem eller afbetalt.

Der er igennem de sidste mange år udarbejdet talrige ERFA blade og anvisninger, som beskriver, hvordan bygninger skal opføres i dag for at kunne modstå de påvirkninger, som klimaforandringer fører med sig i fremtiden.

Ifølge DMI's rapport nr. 6 fremtidige klimaforandringer i Danmark fra 2014, vil Danmark få et varmere klima, med mere nedbør og flere ekstreme vejrhændelser. Der kan således forventes mere regn særligt om vinteren, og om sommeren formentlig både længere tørkeperioder og kraftigere regnskyl. Der kan forventes en stigning i stormstyrken specielt over Nordsøen, men ikke nødvendigvis flere storme.

Ovenstående påvirkninger skal tages med som en samlet vurdering af, om den kommende renovering er holdbar. Det bør vurderes om den nuværende regnskærm forventes at kunne modstå de ekstra regnskyl, fugttigere vejr som forventes iht. ovenstående. Desuden skal det vurderes om bygning statisk er klar til den øgede vindpåvirkning etc.

3. BESKRIVELSE AF EJENDOMMEN.

3.1 Generelt

I kapitel 3 beskrives tre forskellige cases, som i korte træk omhandler nedenstående emner:

- Case 1, omhandler den oprindelige ejendom. Der har ikke været mulighed for, at foretage en fysisk besigtigelse/registrering af ejendommen. Derfor beskrives den oprindelige ejendom ud fra tilgængeligt tegningsmateriale, billeder og bygherreoplysninger.
- Case 2, er en energioptimering af ejendommen som beskrevet i Case 1. Omfanget beskrives under afsnit 3.3
- Case 3, er som Case 2 en energioptimering af ejendommen, som beskrevet i Case 1. I Case 3 øges isoleringstykkelsen i facaden i forhold til Case 2. Omfanget beskrives under afsnit 3.4

For de tre Cases er der sammenfaldende emner som ikke ændres, uanset hvilken energioptimering der benyttes, fælles for de tre cases er:

- Ejendommens beliggenhed.
- Ejendommens funktion.
- Ejendommens tekniske installationer, såsom varme-, vand-, el-installationer samt ventilation, hvilket ikke ændres, da fokus for rapporten er ejendommens klimaskærm.

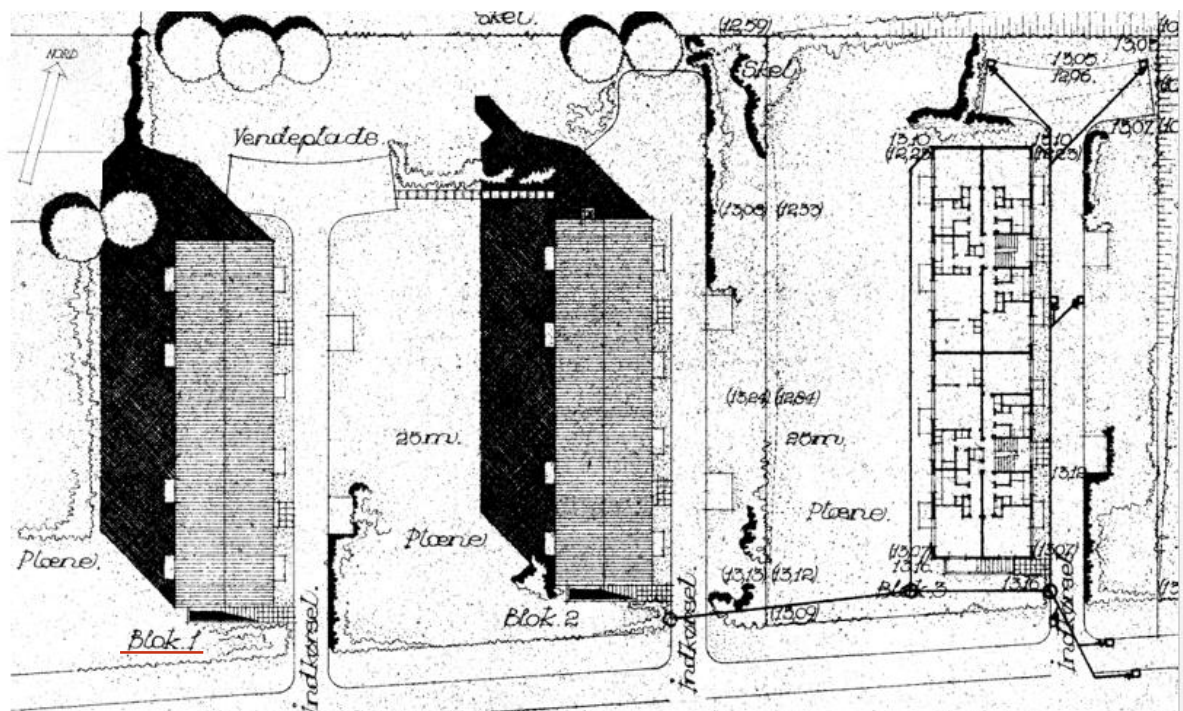
Derudover benyttes de samme beregningsforudsætninger i alle tre Cases, hvilket betyder:

- at arealopmålinger beregnes ud fra reglerne anført i DS418.
- at SBI-anvisning 213, *Bygningers energibehov* [SBI-anvisning 213] benyttes som grundlag for energiberegningen.
- at kritiske fugt og temperaturforhold bestemmes og vurderes ud fra SBI-anvisninger.

3.1.1 Beliggenhed

Ejendommen som beskrives og gennemgås i det efterfølgende er blok 1. Ejendommen er opført i perioden 1945-1955, som en del af en samlet bebyggelse på tre ens ejendomme, se Figur 11. Ejendommen er beliggende i det østlige Horsens, omgivet af grønne områder med tæt lav bebyggelse, villakvarterer, butikker, etageejendomme i lighed med blok 1. Blok 1 er mod syd og vest omkranset af lave bygninger i én etage. I det nordlige skel, er der et læbælte bestående af ca. 10 m. høje træer. Mod øst en ejendom lig blok 1.

Orientering i forhold til verdenshjørner ses i Figur 11. Ejendommen er roteret ca. 15° i forhold til nord.

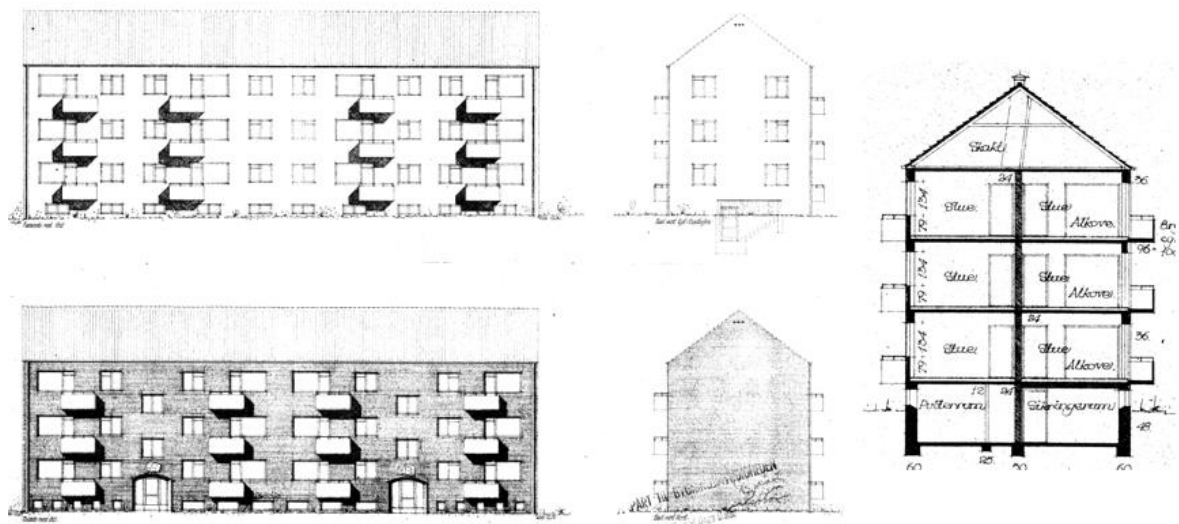


Figur 11. Situationsplan med angivelse af de 3 ejendommers interne placering i forhold til hinanden. Nordpilen i øverste venstre hjørne viser ejendommens orientering i forhold til verdenshjørnerne. Blok 1 som bearbejdes i rapporten, er længst til venstre.

3.1.2 Ejendommens funktion

Ejendommen er opført i 3 etager + kælder. Eneste forskel på de 3 ejendomme er, at kælderen i blok 1 er opvarmet og benyttes til personalerum og fælles aktiviteter.

Ejendommen er opført med altaner på henholdsvis øst og vest-siden, se Figur 12. Yderligere tegningsmateriale kan ses i Bilag 2.



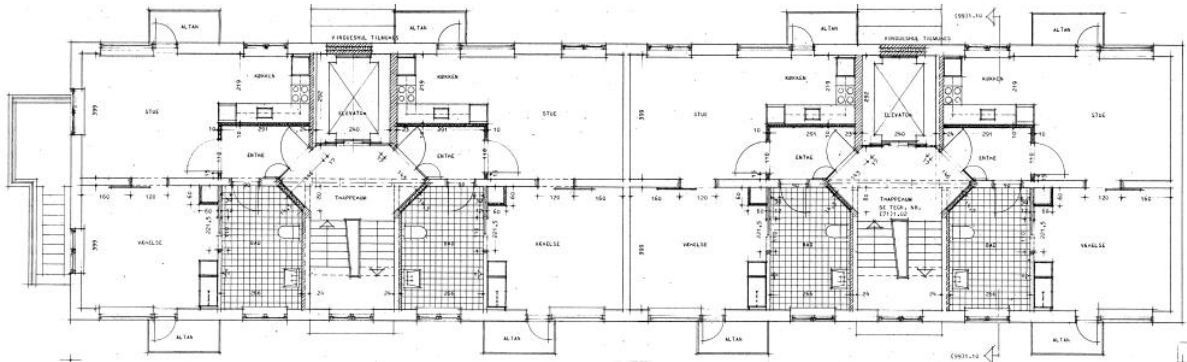
Figur 12. Facader og snit af ejendommen.

Etageejendommen er oprindeligt opført indeholdende 18 stk. etværelses lejligheder og 6 stk. toværelses lejligheder.

I midt 90-erne blev ejendommens indretning ændret og lejligheder blev sammenlagt. Ejendommen rummer nu 4 stk. toværelses lejligheder pr. etage, i alt 12 lejligheder, se Figur 13. Kælderen indeholder fællesfaciliteter, personalerum og depotrum.

Ejendommen fremstår ud fra billeder i pæn stand, uden synlige skader på klimaskærmen, som vil kunne medføre konstruktive svigt.

Beboelsestætheden er ukendt, hvorfor ejendommen fugtteknisk regnes beliggende i fugtbelastningsklasse 3, iht. SBI-anvisning 224, tabel 3.



Figur 13. Etageplan efter sammenlægningen i 1995, så lejlighederne nu er toværelses lejligheder.

3.1.3 Installationer og varmetilskud

Som beskrevet tidligere ændres der ikke på de tekniske installationer i de tre Cases. Installationerne beskrives på baggrund af tilgængelig tegninger, minimums lovkrav etc.

- Ventilation.

BR15 kap. 6.3.1.2 beboelsesbygninger stk. 1, foreskriver at der i boligen skal være et udelufttilførsel på mindst 0,3 l/s pr. m², hvilket er svarende til et luftskifte på 0,5 gange i timen.

Ventilationen antages, at opfylde minimumskravet i vinterhalvåret på de 0,3 l/s pr. m². I sommerhalvåret sættes ventilationen lidt højere, da vinduer og døre oftere står åbne end i vinterhalvåret. Ventilationen sættes i dette tilfælde til maksimalt 0,9 l/s svarende til 1,5 gange i timen. Ventilationsraterne er gældende for både boligdelen og kælderen.

- Varmefordelingsanlæg

Ejendommen opvarmes med fjernvarme. En varmeforsyning som foregår ved direkte fjernvarme med 70 °C fremløbs- og 40 °C returløbs-temperaturer.

Opvarmningen foregår via radiatorer opbygget som et 2-strengsanlæg.

Fjernevarmesystemet er forsynet med en flertrins pumpe med manuel indstilling af driftstrin, som antages kørende konstant i opvarmningsæsonen.

- Varmt brugsvand

Det er forudsat at det gennemsnitlige varmtvandsforbrug er 250 l/år pr. m² etageareal iht. SBI-anvisning 213. Det varme brugsvand opvarmes til min. 55 °C.

På baggrund af dimensioneringsvejledningen fra Vølund varmeteknik⁷, sættes en varmtvandsbeholder til 12 normale lejligheder til 600 liter. En normal lejlighed i dette tilfælde er bestående af 3,5 beboere, 4 værelser samt badeværelse med badekar eller bruser. Nærværende ejendom indeholder ældreboliger som naturligt ikke har samme antal beboere som en familiebolig. Derfor vurderes det at en varmtvandsbeholder på 500 liter må være tilstrækkelig, også når fællesfaciliteterne i kælderen skal forsynes.

Varmtvandsbeholderen antages, at være isoleret med 30 mm isolering. Iht. Håndbog for Energikonsulenter af 2016, tabel 9.17.2 medfører det et varmetab på 4,7 W/K.

Varmtvandsbeholderen er placeret i den opvarmede kælder.

- Cirkulationspumpe og cirkulationsrør til varmt brugsvand

Til varmtvandssystemet er tilkoblet en cirkulationspumpe med en effekt på 15 W. Cirkulationsrørene længde er ca. 115 m, isoleret med ca. 25 mm isolering, hvilket iht. Bilag 6 giver et varmetab på 0,3 W/mK.

- Internt varmetilskud

Internt varme tilskud fra personer sættes til 1,5 W/m² og 3,5 W/m² for apparater i både bolig- og kælder-delen.

3.2 Case 1, beskrivelse af ejendommens konstruktioner.

3.2.1 Case 1 den oprindelige ejendom

Ejendommens klimaskærmskonstruktioner beskrives enkeltvis ud fra de oplysninger som fremgår af tilgængeligt tegningsmateriale inkl. de konstruktionsmæssige ændringer på klimaskærmen, som er udført i forbindelse med lejlighedssammenlægningen i midt 90-erne.

De enkelte konstruktioner har fået reference nr. for at kunne referere til de enkelte konstruktioner i tabellerne. For eksempel vil nederste del af kælderydervæggen være benævnt [K1], se Figur 14.

- Kælderydervægge [K1] og [K2]

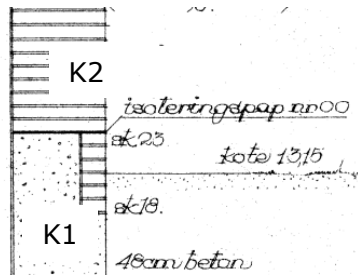
Kælderydervægge er udført i en kombination af henholdsvis beton og tegl, se Figur 14. Nederste del af kældervæggen [K1] er fra underkant fundament til ca. 200 mm over terræn udført i:

- 480 mm beton, densitet anslået til 2200 kg/m³

Øverste del af kældervæggen [K2] er udført i:

- 480 mm massiv teglmur, densitet anslået til 1800 kg/m³.

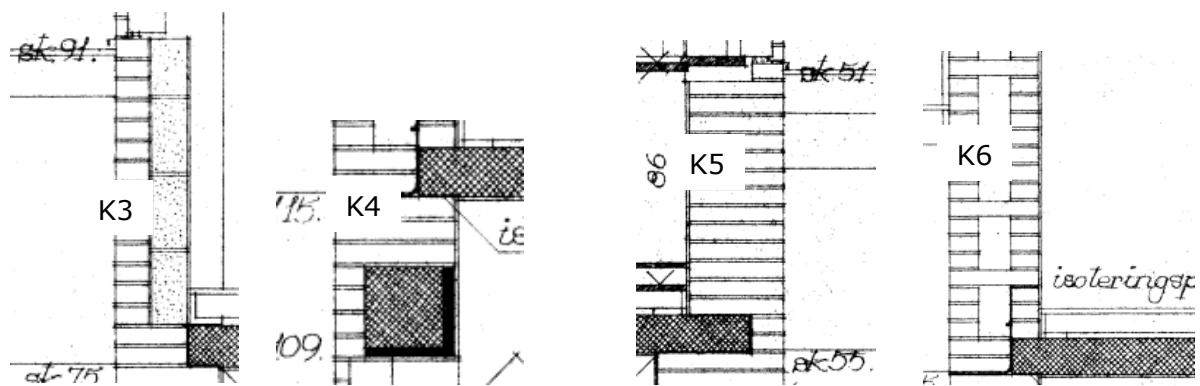
⁷ http://www.volundvt.dk/Documents/volund/Dimensionering_VVB.pdf



Figur 14. Opbygning af massiv kælderydervæg i 480 mm beton (type K1) og 480 mm tegl (type K2).

- Ydervægge

Ydervæggene er opført i forskellige konstruktionssammensætninger, som beskrives nedenfor. De forskellige konstruktioner er illustreret i Figur 15



Figur 15. De fire forskellige ydervægsopbygninger. K3 brystningsvæg med siporex og 10 mm puds. K4 bestående af tegl sammenstøbt med en massiv betonbjælke, afsluttet med 30 mm træbeton og 10 mm puds. K5 en massiv teglvæg og 10 mm finpuds. K6 en 360 mm hulmur med fastebindere og 10 mm puds.

Ydervæggen [K3], er vinduesbrystninger ved altaner samt vinduer i gavlene. Væggen er på alle etager opført i:

- 108 mm tegl, densitet anslået til 1800 kg/m^3
- 125 mm siporex, densitet anslået til 550 kg/m^3
- 10 mm finpuds, densitet anslået til 1500 kg/m^3

Ydervæggen [K4], som danner vinduesoverligger over alle åbninger i facaden er opført i:

- 80 mm tegl, densitet anslået til 1800 kg/m^3
- 240 mm beton, densitet anslået til 2200 kg/m^3
- 30 mm træbeton, densitet anslået til 475 kg/m^3
- 10 mm finpuds, densitet anslået til 1500 kg/m^3

Ydervæggen [K5], som er ydervæggen i stueplan er udført i,

- 360 mm tegl, densitet anslået til 1800 kg/m^3
- 10 mm finpuds, densitet anslået til 1500 kg/m^3

Ydervæggen [K6], som er ydervæggen på 1. og 2. sal er udført med faste bindere, samt udmuringer ved vinduer og døre. Væggen er udført i:

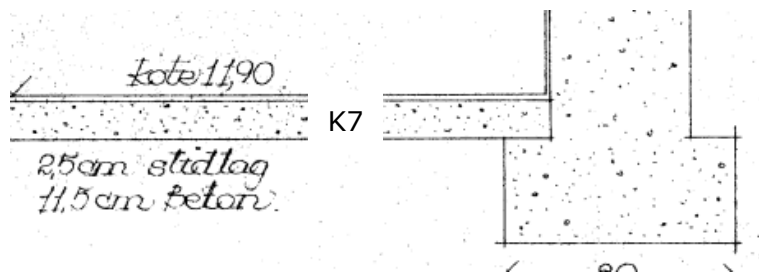
- 108 mm tegl, densitet anslået til 1800 kg/m^3
- 144 mm hulrum med massive teglbindere
- 108 mm tegl, densitet anslået til 1800 kg/m^3
- 10 mm finpuds, densitet anslået til 1500 kg/m^3

- Kældergulv [K7]

Kældergulvsstrukturen er udført som et massivt støbt betongulv, se Figur 16. Gulvstrukturen er hævet ca. 300 mm over fundaments underkant.

Gulvstrukturen er opbygget af:

- 25 mm betonslidlag, densitet anslået til 2200 kg/m^3
- 115 mm grovbeton, densitet anslået til 2200 kg/m^3

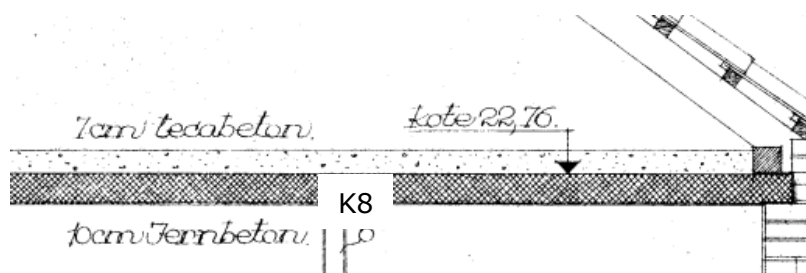


Figur 16. Kældergulvets opbygning (type K7), her set ved overgang til fundament. Fundaments underkant er ca. 300 mm under gulvniveau.

- Tag/loft. [K8]

Taget er opbygget som et traditionelt hanbåndsspær, afsluttet med understrøget tegl. Et tag udført uden udhæng, afvandingen foregår ved traditionelle tagrender og nedløb. Loftstrukturen, se Figur 17, mellem uudnyttet loftrum og øverste lejlighed består af:

- 70 mm lecabeton, densitet anslået til 1500 kg/m^3
- 100 mm beton, densitet anslået til 2200 kg/m^3
- 10 mm finpuds, densitet anslået til 1500 kg/m^3

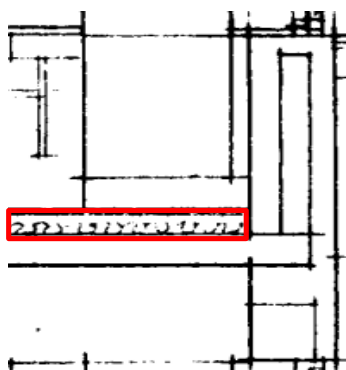


Figur 17. Tagopbygning og loftsopbygning (type K8) bestående af massiv beton isoleret med lecabeton

- Etageadskillelse [K9]

Etageadskillelsen på alle etager består af:

- 22 mm trægulv lagt på strøer, afsluttet med fodlister i træ.
- I forbindelse med sammenlægningen af lejligheder er der udlagt 50 mm isolering $\lambda 0,037 \text{ W/mK}$, mellem gulvstrøerne, se den røde markering på Figur 18.
- 150 mm jernbeton
- 10 mm puds som loft.



Figur 18. Etageadskillelse efter udskiftning af gulve, den røde markering angiver de 50 mm isolering.

- U-værdier og arealer Case 1.

I Tabel 4 ses en skematisk sammenstilling af henholdsvis U-værdier og arealer for de konstruktioner som er beskrevet ovenfor i afsnit 3.2.1 Case 1 den oprindelige ejendom. Konstruktionens arealer samt U-værdier, er beregnet iht. DS418. Se i øvrigt Bilag 3 og Bilag 4.

Tabel 4. Arealer samt U-værdier for de enkelt konstruktioner i den oprindelige ejendom. U-værdier og arealer er beregnet iht. DS418.

Konstruktions type	Beskrivelse	Arealer m ²	U-værdier W/m ² K
K1	Kælderydervæg	131	0,96
K2	Kælderydervæg	66	1,22
K3	Stueplan, 1. og 2. sal. Ydervæg under vinduer, ved altaner og gavlvinduer.	47	0,86
K4	Stueplan, 1. og 2. sal. Ydervæg over vinduer	33	1,25
K5	Stueplan, Ydervæg generelt	179	1,49
K6	1. og 2. sal. Ydervæg generelt	340	1,62
K7	Terrændæk kælder	283	0,57
K8	Loftskonstruktion	325	1,62
K9	Etageadskillelse		
	Etageareal	976	
	Opvarmet kælderareal	283	

- Vinduer

Vinduerne er oprindeligt udført som trævinduer med ét-lags ruder kombineret med indvendig forsatsramme.

Vinduerne er udskiftet i midt 90-erne til et træ/aluminiums system i fabrikat Velfac 200. En tidsperiode, hvor det blev mere almindeligt, at benytte vinduer med første generations energiruder med kold kant.

Da produktets energiværdier, hvad angår U-værdier og g-værdier ikke er kendt. Benyttes i de kommende beregninger, maksimums U-værdierne for vinduer og døre på 1,8 W/m²K iht. BR95 kap. 8.2 stk.1. Baggrund for at benytte BR95 er, at vinduerne som tidligere beskrevet er udskiftet omkring udgivelsen af BR95.

Iht. *Håndbog for Energikonsulenter* (HB 2016) sættes g-værdien for en 2 lags termorude med koldt kant til 0,75.

I Tabel 5 ses arealer af vinduer og døre opmålt iht. DS418. Ligeledes ses antallet af vinduer, de forskellige typer og de respektive arealer og U-værdier.

Tabel 5. Typer af vinduer og døre inkl. de respektive størrelser og antal af hver type. Vinduerne er som tidligere beskrevet udskiftet omkring udgivelsen af BR95 og da U-værdien for vinduerne er ikke kendt, benyttes derfor BR95 maximale U-værdi krav for vinduerne.

Type	Beskrivelse	Antal	Arealer pr. vindue	Samlet areal	U-værdier
		Stk.	m ²	m ²	W/m ² K
V1	Lille Kældervindue	12	0,4	4,8	1,8
V2	Stort kældervindue	12	0,9	10,8	1,8
V3	Dørparti indgang	2	5,8	11,6	1,8
V4	Elevatordør	2	3,1	6,2	1,8
V5	Kælderadgang	2	2,2	4,4	1,8
V6	Oplukkeligt vindue boliger	34	1,7	62,9	1,8
V7	Fast vindue ved altaner	24	2,2	52,8	1,8
V8	Terrassedøre	24	1,9	45,6	1,8

Ved de kommende energiberegninger fastsættes, værdier for henholdsvis orientering, hældning, F_F-værdier (glasandel), F_c-værdier samt diverse skygger på baggrund af SBi-anvisning 213.

3.2.2 Konstruktive sammenbygninger.

Konstruktive sammenbygninger medfører som oftest, et større varmetab end den generelle konstruktion, da de områder som oftest er dårligere isoleret end den generelle konstruktion.

Fælles betegnelsen herfor er en kuldebro, som kan opdeles i henholdsvis i linjetab og et punkttab. Linjetab kan defineres ved en kuldebro med lille bredde, hvor varmetabet er proportionalt med kuldebroens længde. Punktabet indregnes i den respektive kuldebro for den enkelte konstruktion, evt. i form af korrektion for bindere i en hulmurskonstruktion.

Tabel 6. Beskrivelse af de enkelte linjetab, inkl. linjetabets udstrækning og respektive linjetabsværdier. *L3 se tabel 6.13.7a hævet ca. 30 cm over betonfundament.

Type	Beskrivelse	Længder	Linjetab
		l _{bm}	W/mK
L1	Sammenbygning mellem vinduer/døre og ydervæg	608	0,13
L2	Sammenbygninger mellem altan og ydervæg	51	0,64
L3	Kælder ydervægsfundamenter	91	0,36*
L4	Linjetab ved etageadskillelser og ydervæg ekskl. altaner, Kælder/stue	77	0,05
L5	Linjetab ved etageadskillelser og ydervæg ekskl. altaner. Stue/1. sal og 1./2. sal.	144	0,29

3.2.3 Vurdering af levetider.

På baggrund af ovenstående gennemgang af ejendommens beliggenhed, alder, konstruktiv opbygning etc. er der ved hjælp af hjemmesiden www.Levetider.dk vurderet på restlevetiden for klimaskærmskonstruktioner over terræn.

www.Levetider.dk er et værktøj, udarbejdet af et panel bestående af personer med kendskab til bygningskonstruktioner, sammensætninger og levetider. Et værktøj som giver mulighed for, at vurdere på forskellige bygningsdeles levetid alt efter konstruktions sammensætning.

I Tabel 7, ses forventede levetider og restlevetider for ejendommens klimaskærm, så som tag, facader og vinduer. Restlevetiderne er beregnet ud fra, at ejendomme er færdig opført senest i år 1955. Levetidsberegningerne fra [Levetider.dk](http://www.Levetider.dk) ses i Bilag 5.

Levetidsbetragtningerne arbejder med et tidsinterval på ca. +/- 10 år. Levetiderne angivet i Tabel 7 er medianen for dette tidsinterval. Derfor kan restlevetiden også varierer alt efter hvor vedligeholdet konstruktionen er blevet igennem tiden, samt de klimapåvirkninger bygningsdelen har været udsat for.

Tabel 7. Forventede levetider samt rest levetider for tre bygningsdele. Levetiderne er beregnet ved hjælp af hjemmesiden www.Levetider.dk.

Bygningsdel	Indbygnings år	Beregnet levetider	Rest levetider
	Ca. årstal	Antal år	Antal år
Tag	1955	55	0
Facader	1955	75	13
Vinduer	1995	55	33

3.3 Case 2, beskrivelse af ejendommens konstruktioner.

3.3.1 Case 2 energioptimering

Case 2, er en energioptimering af de i Case 1 beskrevne konstruktioner. Energoptimeringen udføres som en indvendig efterisolering. De enkelte konstruktioner beskrives hver for sig under de enkelte underpunkter.

Arealerne forbliver som i Case 1. De efterisolerede konstruktioners nye U-værdier og linjetab er samlet i Bilag 3.

Som beskrevet i afsnit 3.1 ændres der i Case 2 ikke på installationer, ejendommens funktion og beliggenhed.

- Kælderydervægge konstruktion K1 og K2.

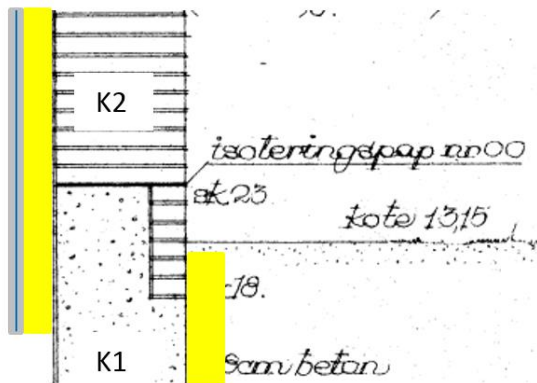
Efterisolering af kælderydervæggen udføres som en kombination af udvendig efterisolering under terræn, og en indvendig efterisolering over terræn. Konstruktionsprincippet ses i Figur 20. En udvendig efterisolering af kælderydervæggen kan udføres uden, at ændre på ejendommens udseende, som tidligere beskrevet ønskes bevaret.

Den efterisolerede konstruktion K1, opbygges udefra på følgende måde:

- 150 mm isoleringsdrænplade fra Jackon[®], λ 0,041 W/mK.
- Vandtætning
- Oprindelig massiv betonvæg

Konstruktionen K2 efterisoleres indvendigt fra, hvorefter konstruktionen beskrevet udefra består af:

- Den oprindelige konstruktion se Case 1
- 45 mm stållægter med en godstykkel på 0,46 mm og et varmeledningstal på 55 W/mK, placeret med en centerafstand på 450 mm.
- Hulrummet mellem stållægterne udfyldes med 50 mm isolering λ 0,030 W/mK. Iht. SBi-anvisning 221, *Efterisolering af etageboliger*, anbefales det, at føre den indvendige isolering 300 mm under udvendig terræn. Dermed opnås et ordentligt overlap mellem den indvendige og udvendige isolering og dermed et mindre varmetab.
- Indvendigt afsluttes med 2 x 12,5 mm gips, i mellem de to lag gips monteres en 0,2 mm PE-folie som damspærre.



Figur 20. Viser ydervægs konstruktioner i kælderen. K1 efterisoleres udvendig med en isolerende drænplade. K2 efterisoleres med 50 mm isolering, afsluttet med 2x12,5 mm gips. I mellem de 2 lag gips monteres en 0,2 mm PE-folie som damspærre.

[®] www.Jackon.dk

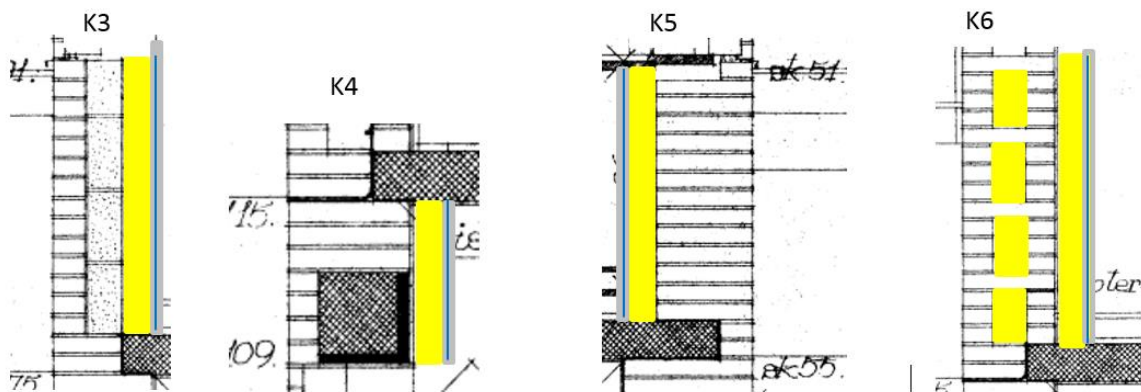
- Ydervægge konstruktioner K3, K4, K5 og K6

De 4 forskellige ydervægskonstruktioner efterisoleres iht. samme princip som K2, med en indvendig forsatsvæg, hvorefter konstruktionen beskrevet ude fra består af:

- Den oprindelige konstruktion se Case 1
- 45 mm stållægter med en godstykkelse på 0,46 mm og et varmeledningstal på 55 W/mK, placeret med en centerafstand på 450 mm.
- Hulrummet mellem stållægterne udfyldes med 50 mm isolering λ 0,030 W/mK.
- Indvendigt afsluttes med 2 x 12,5 mm gips, i mellem de to lag gips monteres en 0,2 mm PE-folie som damspærre.

Den oprindelige konstruktion K6 er udført som en hulmur, med et hulrum på ca. 144 mm. Konstruktionen K6 efterisoleres derfor både med den ovenfor beskrevne forsatsvæg, samt hulmursisoleres med isoleringsgranulat λ 0,038 W/mK fra Isover.

I Figur 21 ses efterisoleringsprincippet på de fire ydervægstyper.



Figur 21. De 4 ydervægskonstruktioner, efterisoleret med 50 mm isolering, afsluttet med 2x12,5 mm gips. I mellem de 2 lag gips monteres en 0,2 mm PE-folie som damspærre. Hulmuren i konstruktion K6 udfyldes ligeledes med isolering. Farven gul indikerer isoleringen, grå de 2 lag gips, den blå streg PE-folien.

- Kældergulv K7

Den aktuelle lofthøjde i kælderen gør, at det ikke er muligt at efterisolere gulvet ovenfra. En udgravning af kælderen, for derved at kunne isolere under gulvet, vil medføre så store konstruktive ændringer, både i fundamenter, vægge og installationer samt en anlægsudgift, som ud fra erfaringer ikke kan tjenes hjem på den energibesparelse som opnås ved efterisoleringen. Derfor bevares kældergulvskonstruktionen som oprindelig.

- Tag/loft [K8]

Den eksisterende tagkonstruktion indeholder iht. Case 1 ingen isolering. Loftrummet giver mulighed for, at udfører en ordenligt efterisolering med forskudte samlinger. Uanset tykkelsen af isoleringslaget på loftet, ændrer det ikke på ejendommens brugsarealer. Da der iht. tegningerne ikke er isolering på loftet, udover lecabeton. Efterisoleres loftet med 500 mm isolering λ 0,030 W/mK. Det vil medføre en væsentlig reduktion i varmetabet, uden at ha indflydelse på brugsarealer og udseende af ejendommen.

Ved efterisolering af lofts konstruktioner, hvor der anvendes større varmeisoleringstykkelse end 150 mm, skal der etableres en egentlig damspærre, se SBI-anvisning 240, *Efterisolering af småhuse – byggetekniske løsninger, 3.4.3, Tagkonstruktionen.*

Betonloftet ligger lige på grænsen af, hvad angår anbefalinger til Z-værdi, som foreskrives at skulle have en Z-værdi på min. 50 GPa s m²/kg. Derfor monteres der under loftet en 0,2 mm PE-folie som damspærre, derunder spredt høvlet træforskalling afsluttet med et lag 12,5 mm gips.

- Etageadskillelse [K9]

Etageadskillelsen udføres som i Case 1.

- Vinduer

Vinduerne og døre udskiftes til et produkt som IdealCombi Futura+ 44, et træ/alu produkt med følgende værdier iht. energivinduer.dk⁹.

$$E_{\text{ref}} = + 30,6$$

$$U\text{-værdi for vinduet} = 0,78$$

$$g\text{-værdi} = 0,52$$

F_f ændres ikke i forhold til Case 1

3.4 Case 3, beskrivelse af ejendommens konstruktioner.

Case 3, er en energioptimering af de i Case 1 beskrevne konstruktioner.

Case 3 udføres, som Case 2 med en indvendig efterisolering. Eneste forskel i forhold til Case 2 er, at isoleringstykkelsen i konstruktionerne K2, K3, K4, K5 og K6 udvides med yderligere 50 mm isolering λ 0,030 W/mK, hvorefter konstruktionerne beskrevet ude fra består af:

- Den oprindelige konstruktion se Case 1
- 50 mm isolering λ 0,030 W/mK
- 45 mm stållægter med en godstykkelse på 0,46 mm og et varmeledningstal på 55 W/mK, placeret med en centerafstand på 450 mm.
- Hulrummet mellem stållægterne udfyldes med 50 mm isolering λ 0,030 W/mK.
- Indvendigt afsluttes med 2 x 12,5 mm gips, i mellem de to lag gips monteres en 0,2 mm PE-folie som damspærre.

Konstruktionen K6 hulmursisoleres som beskrevet i Case 2.

Arealerne forbliver som i Case 1. De efterisolerede konstruktioners nye U-værdier og linjetab er samlet i Bilag 3.

Som beskrevet i afsnit 3.1, ændres der i Case 3 ikke på installationer, ejendommens funktion og beliggenhed.

⁹ <http://energivinduer.dk/>

4. BEREGNINGER

4.1 Undersøgelsesmetoder

Med udgangspunkt i beskrivelsen af de tre forskellige Cases i kap. 3. Foretages i kap. 4 en række forskellige beregninger for de tre Cases. Emnerne ses nedenfor.

- Ejendommens energibehov nu og fremover.
- Fjernvarmeudgiften nu og fremover.
- Rentabilitetsberegning.
- Økonomisk overslag.
- Beregning af brugsareal/nettoareal
- Overfladetemperaturer ved forskellige knudepunkter.
- Fugtsimuleringer af forskellige konstruktioner.

Disse beregning og simuleringer vurderes samlet, vil belyse de nuværende og fremtidige forhold, både energimæssigt, økonomisk og eventuelle fugttekniske problemer, alt efter hvilke tiltag der udføres.

4.1.1 Beregningsmetode

For at kunne udføre henholdsvis beregninger og simuleringerne benyttes tre forskellige beregningsprogrammer. Programmerne beskrives under hvert afsnit hvor programmerne benyttes. De tre programmer er:

- Be15, til beregning af bygningernes energibehov
- HEAT2, til beregning af overflade temperaturer og konstruktionstemperaturer.
- WUFI Light, til beregning af konstruktionens relative fugtighed (RF)

4.2 Beregning af ejendommens energibehov

I det kommende afsnit beregnes ejendommens energibehov for henholdsvis Case 1, Case 2 og Case 3. Til beregning af energibehovet benyttes programmet Be15.

Be15 programmet anvendes til at eftervise, at en given bygning opfylder bygningsreglementets krav hvad, angår energibehov, transmissionstab og sommerkomfort.

Programmet benytter en række inddata, som er beskrevet i kap. 3, endvidere henvises til SBI-anvisning 213. Heri findes en slaviske gennemgang af de forskellige faner, hvori inddata indtastes.

Resultatet af energiberegningen kan ikke forventes svarende 100 % til det faktiske energiforbrug, da programmet benyttet inddata som kan afvige fra det faktiske brugs-mønstre, indendørs temperaturer i ejendommen og så videre.

For at kunne regne på energibesparelsen, beregnes energibehovet for den oprindelige ejendom Case 1.

Herefter regnes der på, hvor stor reduktionen i energibehovet vil være for henholdsvis Case 2 og Case 3, hvis de gennemføres i deres helhed, inklusiv bruge af henholdsvis solceller og solvarme. Ud over den samlede reduktion i energibehovet, beregnes energi reduktionen for de enkelte tiltag, udskiftning af vinduer, efterisolering af taget og efterisolering af væggene, det giver ejeren mulighed for at vurderer, på hvilke tiltag der giver den største reduktion, hvis økonomien kun tillader dele af energioptimeringen.

Bygningsreglementet BR15 har fire forskellige energirammer som beskrevet i afsnit 2.1 Byggelovgivning vedr. energi.

Energirammerne medfører, at ejendommen som bearbejdes i rapporten, maksimalt må have et energibehov, anført nedenfor alt efter hvilken energiramme der skal opfyldes.:

- Lavenergiklasse 2015, svarende til mindstekravet til nybyggeri i BR15. Energirammen er beregnet til 30,9 kWh/m² pr. år.
- Bygningsklasse 2020, Energirammen er beregnet til 20 kWh/m² pr. år.
- Renoveringsklasse 1. Energirammen er beregnet til 53,9 kWh/m² pr. år.
- Renoveringsklasse 2. Energirammen er beregnet til 112,8 kWh/m² pr. år.

4.3 Case 1, ejendommens energibehov.

I Tabel 8 ses det maksimale energibehov for den oprindelige ejendom Case 1, alt efter hvilken energiramme bygningen placeres i. I beregningerne for Case 2 og Case 3, oplistes alene tallene for henholdsvis renoveringsklasse 1 og 2. Forskellen mellem renoveringsklasserne og lavenergiklasse 2015 og bygningsklasse 2020 skyldes energifaktoren, som benyttes når ejendommen opvarmes ved fjernvarme, se kap. 2.

Energibehovet er i samme Tabel 8 omregnet til et varmebehov angivet i MWh. Varmebehovet i MWh benyttes til en beregning af udgiften til fjernvarme, som afregnes i forbrugte MWh.

Omregningen sker på følgende måde:

Energibehov kWh/m² pr. år x 1301 m² (opvarmet etageareal) / 1000 = forbrug i MWh

Tabel 8. Energibehov for den oprindelige ejendom beregnet i BE15 angivet i kWh/m² pr. år. Energibehovet er omregnet til et varmebehov i MWh, MWh benyttes til beregning af varmeudgiften for fjernvarme.

Energiklasse	Beregnet energibehov kWh/m ² pr. år	Varmebehov MWh
Lavenergiklasse 2015	157,4	Ca. 205
Bygningsklasse 2020	118,1	Ca. 154
Renoveringsklasse 1	196,6	Ca. 256
Renoveringsklasse 2	196,6	Ca. 256

- Transmissionstab Case 1.

Udover energibehovet vise beregningen et transmissionstab på 42,8 W/m² for klimaskærmen, eksklusive vinduer og døre.

4.3.1 Sommerkomfort i Case 1

Som beskrevet i kap. 2, skal der for nybyggeri og renoveringsklasser dokumenteres, at der ikke er overophedningsproblem. Timeantallet kan bestemmes ved hjælp af Be15 programmets, sommerkomfort modul. Beregningen foretages for det rum i ejendommen som vurderes mest kritisk. Det mest kritiske rum er i dette tilfælde vurderet værende, en sydvestvendt stue på anden 2. sal, uden nogen form for skygge fra omgivelserne.

Rummet har en udstrækning på ca. 24 m², indeholder et oplukkeligt vindue mod syd og vest, vinduestype V6, samt et fastparti vinduestype V7 og en terrassedør type V8. Ventilationen er sat til 0,3 l/s m² i vinterhalvåret, og 1,5 l/s m² i sommerhalvåret i dagtimerne samt 0,6 l/s m² om natten.

I Tabel 9 ses timeantallet for Case 1.

Tabel 9. Beregning af antallet af timer med overskridelsen af henholdsvis 27 °C og 28 °C i Case 1

Temperatur	27 °C	28 °C
Antal timer	293	182

4.4 Case 2, ejendommens energibehov.

4.4.1 Opdeling af Case 2.

I Case 2 efterisoleres ejendommen som beskrevet i afsnit 3.3.1. På baggrund af det beregnes energibesparelsen som opnås ved de enkelte tiltag. Afslutningsvis angives den samlede energibesparelse, hvis alle tiltagene gennemføres på en gang.

Afslutningsvis tilføjes vedvarende energikilder og energikildernes indflydelse på energireduktionen beregnes enkelt vis og samlet.

- Efterisolering af tagkonstruktionen.

En efterisolering af tagkonstruktionen med 500 mm isolering. Medføre et fremtidigt energibehov på 154,4 kWh/m² pr. år. En reduktion på 42,2 kWh/m² pr. år i forhold til det oprindelige energibehov, svarende til reduktion på ca. 55 MWh.

- Udskiftning af vinduer og døre.

En udskiftning af vinduer og døre til typen, som beskrevet i afsnit 3.3.1. Fører til et fremtidigt energibehov på 185,3 kWh/m² pr. år, hvis størrelser, skygger etc. på vinduerne og døre fastholdes og reduktionen for den efterisolerede tagkonstruktion ikke medregnes. En reduktion på 11,6 kWh/m² pr. år i forhold til det oprindelige energibehov, svarende til reduktion på ca. 15 MWh.

- Efterisolering af ydervæggene.

En efterisolering af ydervæggene som beskrevet i afsnit 3.3.1. Fører til bedre U-værdier og bedre linjetab for de enkelte konstruktioner. U-værdier og linjetab for Case 2 ses i Bilag 3. Efterisoleringen alene uden udskiftning af døre og vinduer samt efterisolering af taget, vil føre til et fremtidig energibehov på 130,8 kWh/m² pr. år. En reduktion på 62,8 kWh/m² pr. år i forhold til det oprindelige energibehov, svarende til reduktion på ca. 82 MWh.

- Samlet energibehov Case 2 eksklusiv vedvarende energi.

Tages alle tre energioptimeringer i betragtning, resulterer det i et fremtidigt energibehov på 80 kWh/m² pr. år, svarende til et varmebehov på ca. 104 MWh.

En samlet reduktion på 116,6 kWh/m² pr. år i forhold til det oprindelige energibehov, svarende til reduktion på ca. 152 MWh pr. år.

- Transmissionstab Case 2.

Transmissionstab for klimaskærmen eksklusive vinduer og døre, vil på baggrund af de tiltag blive reduceret fra 42,8 W/m² til 13,1 W/m².

- Vedvarende energikilder

Som skrevet i indledningen har den Danske regering et mål om:

- at senest i år 2050 skal være uafhængig af fossile brændsler så som kul, olie og gas. Hvilket betyder at produktionen af vedvarende energi, skal kunne dække vores energiforbrug.
- at i 2020 skal ca. 35 procent af vores energiforbrug kommer fra vedvarende energikilder.

Vedvarende energi [VE] er en energiform som ikke har begrænsede reserver, en energiform som er CO₂ neutral, i modsætning til de fossile energiformer der benyttes i dag.

Egnede VE systemer til etageejendomme og bymæssig bebyggelse kan være henholdsvis et solcelle- eller et solvarmeanlæg.

- Solceller

Et 6 kW monokrystallinsk solcelleanlæg fylder ca. 40 m². Anlæggets Peak Power sættes til 0,15 iht. Håndbog for energikonsulenter, *flerfamiliehuse udgivet 1. juli 2012*. Systemets virkningsgraden sættes til 0,75 iht. SBI-anvisning 213. Anlægget monteres på en vestvendt tagflade, som har en taghældning på 35 °.

Anlægget medfører en reduktion på 8,9 kWh/m² pr. år i forhold til det oprindelige energibehov. En reduktion i varmebehovet på ca. 12 MWh pr. år.

- Solvarmeanlæg

For at dække en familie på 3-4 personers varmtvandsbehov i sommer halvåret, kræver det ca. 1,5 m² panel pr. person¹⁰. Hvis man antager at der i ejendom bor 1,5 person pr. ældrebolig medfører det et beboer antal på 18 personer, hvilket betyde at der skal installeres et solfanger anlæg på 27 m²

Et 27 m² anlæg monteret på en tilsvarende tagflade som solcelleanlægget, samt med inddata fra *Håndbog for Energikonsulenter 2016 afsnit 9.18.1 solfanger, "Panelsolfanger efter år 2000"*, vil medføre en reduktion på 8,4 kWh/m² pr. år i forhold til det oprindelige energibehov. En reduktion i varmebehovet på ca. 11 MWh pr. år.

- Samlet energibehov Case 2 inkl. vedvarende energi.

Kombinationen af energioptimering og VE kilder fører til et samlet energibehov på 62,8 kWh/m² pr. år, svarende til ca. 81,7 MWh pr. år.

En samlet reduktion på 133,8 kWh/m² pr. år i forhold til det oprindelige energibehov. En reduktion i varmebehovet svarende til ca. 174 MWh pr. år.

4.4.2 Sommerkomfort Case 2

Som beskrevet under Case 1, beregnes timeantallet over henholdsvis 27 °C og 28 °C for rummet beskrevet i afsnit 4.3.1 sommerkomfort Case 1. I Tabel 10 ses timeantallet for Case 2.

Tabel 10. Beregning af antallet af timer med overskridelsen af henholdsvis 27 °C og 28 °C i Case 2

Temperatur	27 °C	28 °C
Antal timer	696	383

¹⁰ <http://www.folkecenter.dk/dk/rd/solenergi/solvarme/solfanger/>

4.5 Case 3, ejendommens energibehov.

4.5.1 Opdeling af Case 3.

I Case 3 efterisoleres ejendommen som beskrevet i afsnit 3.4. På baggrund af det, beregnes energibesparelsen som opnås ved de enkelte tiltag. Afslutningsvis angives den samlede energibesparelse, hvis alle tiltagene gennemføres på engang. Vedvarende energikilder tilføjes og energikildernes indflydelse på energireduktionen beregnes enkeltvis og samlet.

- Efterisolering af tagkonstruktionen.

Efterisoleringen af tagkonstruktionen udføres som i Case 2, og dermed samme reduktion i energiforbruget.

- Udskiftning af vinduer og døre.

Udskiftningen af vinduer og døre udføres som i Case 2, og dermed samme reduktion i energiforbruget.

- Efterisolering af ydervæggene.

En efterisolering af ydervæggene som beskrevet i afsnit 3.4 for Case 3 medfører bedre U-værdier og linjetab for de enkelte konstruktioner. U-værdier og linjetab for Case 3 ses i Bilag 3. Efterisoleringen alene uden udskiftning af døre og vinduer samt efterisolering af taget, vil føre til et fremtidigt energibehov på 124,9 kWh/m² pr. år. En reduktion på 71,7 kWh/m² pr. år i forhold til det oprindelige energibehov, svarende til reduktion på ca. 92 MWh.

- Samlet energibehov Case 3 eksklusiv vedvarende energi.

Tages alle 3 energioptimeringer i betragtning, resulterer det i et fremtidigt energibehov på 71,1 kWh/m² pr. år, svarende til et varmebehov på ca. 92,5 MWh. En samlet reduktion på 125,5 kWh/m² pr. år i forhold til det oprindelige, svarende til reduktion på ca. 163 MWh pr. år.

- Transmissionstab Case 3.

Derudover er transmissionstab for klimaskærmen eksklusive vinduer og døre, reduceret fra 42,8 W/m² til 10,2 W/m².

- Solceller / Solvarmeanlæg

Anlæg som beskrevet i Case 2 afsnit 4.4.1, medfører samme reduktion i kWh forbruget her i Case 3.

- Samlet energibehov Case 3 inkl. vedvarende energi.

Kombinationen af energioptimering og VE kilder fører til et samlet energibehov på 53,9 kWh/m² pr. år, svarende til 70,1 MWh pr. år. En samlet reduktion på 142,7 kWh/m² pr. år i forhold til det oprindelige energibehov, svarende til reduktion på ca. 186 MWh pr. år.

4.5.2 Sommerkomfort Case 3

Som beskrevet under Case 1, beregnes timeantallet over henholdsvis 27 °C og 28 °C for rummet beskrevet i afsnit 4.3.1 sommerkomfort Case 1. I Tabel 11 ses timeantallet for Case 3.

Tabel 11. Beregning af antallet af timer med overskridelsen af henholdsvis 27 °C og 28 °C i Case 3

Temperatur	27 °C	28 °C
Antal timer	917	503

4.6 Fjernvarme udgifter

4.6.1 Fjernvarme udgifter Case 1.

På baggrund af det beregnede fjernvarmeforbrug i Case 1 på 256 MWh i Tabel 8, er ejendommens samlede varmeudgift beregnet. Udregningen ses i Tabel 12. Udgifterne er baseret på aktuelle fjernvarmepriser fra Horsens fjernvarme.

Tabel 12. Case 1, fjernvarmeudgifter baseret på satser fra Horsens fjernvarme¹¹

Emne	Enhed	Antal	Takster inkl. moms	Udgift pr. år inkl. moms
			Kr.	Kr.
Forbrugsbidrag	MWh	256	517	132.352,00
Abonnementsbidrag	Stk	1	625	625,00
Effektbidrag	m ²	1301	20,63	26.839,63
I alt				159.816,63

4.6.2 Fjernvarme udgifter Case 2

I Tabel 13 ses beregningen af energibesparelsen for de forskellige energiforbedringer, som blev beregnet i afsnit 4.4.

Beregningerne viser besparelsen enkelt vis og afslutningsvis den samlede besparelse, hvis alle optimeringer gennemføres.

Udgifterne er som i Case 1 baseret på aktuelle fjernvarmepriser fra Horsens fjernvarme.

¹¹ <http://fjernvarmehorsens.dk/>

Tabel 13. En beregning af de enkelte energitiltag i Case 2, og deres potentielle udgifts besparelse, baseret på satser fra Horsens fjernvarme.

Emne	Enhed	Antal	Takster inkl. moms	besparelse pr. år inkl. moms
			Kr.	Kr.
Besparelse ved efterisolering af tagkonstruktion	MWh	55	517	28.435,00
Besparelse ved udskiftning af vinduer og døre	MWh	15	517	7.755,00
Besparelse ved efterisolering af ydervægge	MWh	82	517	42.394,00
Besparelse ved brug af et solcelleanlæg	MWh	12	517	6.204,00
Besparelse ved brug af et solfanger anlæg	MWh	11	517	5.687,00
Besparelser i alt				90.475,00

I Tabel 14 ses den fremtidige udgift til rumopvarmning hvis, alle energioptimeringer og etablering af VE kilder gennemføres.

Tabel 14. Den fremtidige fjernvarmeudgift til opvarmning i Case 2, hvis alle energitiltag beskrevet i Case 2 gennemføres.

Emne	Udgift pr. år inkl. moms
	Kr.
Samlet varmeudgift i Case 1 iht. Tabel 12	159.816,63
Samlet besparelse i varmeudgiften i Case 2 iht. Tabel 13	90.475,00
Fremtidig varmeudgift Case 2	69.341,63

4.6.3 Fjernvarme udgifter Case 3

I Tabel 15 ses beregningen af energibesparelsen for de forskellige energiforbedringer, som blev beregnet i afsnit 4.5.

Beregningerne viser besparelsen enkelt vis og afslutningsvis den samlede besparelse, hvis alle optimeringer gennemføres.

Udgifterne er som i Case 1 baseret på aktuelle fjernvarmepriser fra Horsens fjernvarme.

Tabel 15. En beregning af de enkelte energitiltag i Case 3, og deres potentielle udgift besparelse, baseret på satser fra Horsens fjernvarme.

Emne	Enhed	Antal	Takster inkl. moms	Besparelse pr. år inkl. moms
			Kr.	Kr.
Besparelse ved efterisolering af tagkonstruktion	MWh	55	517	28.435,00
Besparelse ved udskiftning af vinduer og døre	MWh	15	517	7.755,00
Besparelse ved efterisolering af ydervægge	MWh	92	517	47.564,00
Besparelse ved brug af et solcelleanlæg	MWh	12	517	6.204,00
Besparelse ved brug af et solfanger anlæg	MWh	11	517	5.687,00
Besparelser i alt				95.645,00

I Tabel 16 ses den fremtidige udgift til rumopvarmning, hvis alle energioptimeringer og etablering af VE kilder gennemføres.

Tabel 16. Den fremtidige udgift til opvarmning i Case 3, hvis alle energitiltag beskrevet i Case 3 gennemføres.

Emne	Udgift pr. år inkl. moms
	Kr.
Samlet varmeudgift i Case 1 iht. Tabel 12	159.816,63
Samlet besparelse i varmeudgiften i Case 3 iht. Tabel 15	95.645,00
Fremtidig varmeudgift Case 3	64.171,63

4.7 Rentabilitet

På baggrund af de beregnede besparelser i varmeudgiften i afsnit 4.6 for Case 2 og Case 3, i forhold til Case 1, er der nedenfor udført beregning for hvor stor anlægsudgiften må være, hvis energirenoveringen gennemføres i sin helhed eller som delelementer. Samtidig med, at renoveringer skal være rentable i forhold til bygningsreglementet.

Rentabilitetsberegningen beregnes ud fra nedenstående formel, levetider fremgår af BR15 Bilag 6, Tabel 1.

$$\frac{\text{Levetid i år} * \text{årlig besparelse i kr.}}{\text{Ekstra investering i kr.}} > 1,33$$

Til beregning af maksimal investering, omskrives ovenstående formel til nedenstående.

$$\frac{\text{Levetid i år} * \text{årlig besparelse i kr.}}{1,33} < \text{Ekstra investering i kr.}$$

4.7.1 Rentabilitet Case 2

I Tabel 17 ses den maximale investering der kan foretages, hvis det skal være rentabel på baggrund af levetider og besparelser i varmeudgiften. Beregningen er opdelt emnevis, hvis tiltagene ønskes udført hver for sig, og afslutningsvis den samlede maximale etableringsudgift.

Tabel 17. Den maximale investering i Case 2 for de enkelte energiltag samt den samlede maximale investering hvis alle tiltag skal gennemføres på en rentabel måde iht. BR15.

Emne	Levetider iht. BR15 Bilag 6, Tabel 1.	Besparelse pr. år inkl. moms	Maximal investering inkl. moms
		Kr.	Kr.
Investering ved efterisolering af tagkonstruktion	40	28.435,-	855.188,-
Investering ved udskiftning af vinduer og døre	30	7.755,-	174.925,-
Investering ved efterisolering af ydervægge	40	42.394,-	1.275.008,-
Investering ved brug af et solcelleanlæg	20	6.204,-	93.293,-
Investering ved brug af et solfanger anlæg	20	5.687,-	85.519,-
Maximale investering ved alle energiltag			2.483.933,-

4.7.2 Rentabilitet Case 3

I Tabel 18 ses den maximale investering der kan foretages, hvis det skal være rentabel på baggrund af levetider og økonomiske besparelse. Beregningen er opdelt emnevis, hvis tiltagene ønskes udført hver for sig, og afslutningsvis den samlede maximale etableringsudgift.

Tabel 18. Den maximale investering i Case 3 for de enkelte energitiltag samt den samlede maximale investering hvis alle tiltag skal gennemføres på en rentabel måde iht. BR15.

Emne	Levetider iht. BR15 Bilag 6, Tabel 1.	Besparelse pr. år inkl. moms	Maximal investering inkl. moms
		Kr.	Kr.
Investering ved efterisolering af tagkonstruktion	40	28.435,-	855.188,-
Investering ved udskiftning af vinduer og døre	30	7.755,-	174.925,-
Investering ved efterisolering af ydervægge	40	47.564,-	1.430.496,-
Investering ved brug af et solcelleanlæg	20	6.204,-	93.293,-
Investering ved brug af et solfanger anlæg	20	5.687,-	85.519,-
Maximale investering ved alle energitiltag			2.639.421,-

4.7.3 Økonomisk overslag.

På baggrund af rentabilitetsberegningerne i afsnit 4.7.2, opstilles nedenfor et skønsmæssigt overslag på anlægsudgiften for de enkelte energioptimeringspunkter. Overslagspriserne baseres på erfaringsmæssige kalkulationspriser fra NCC, priserne er inkl. moms.

I overslaget er ikke medtaget omkostninger til byggepladsforanstaltninger, bortskaffelse af byggeaffald, lift, stilladsleje, terrænbelægningsarbejde og evt. omlægning af kloak, eventuel genhusning, rådgivning, forsikringer og låneomkostninger.

- Efterisolering af tagkonstruktionen

I Tabel 19 ses et økonomisk overslag for efterisolering af tagkonstruktionen inkl. moms.

Tabel 19. Overslagspris inkl. moms for efterisolering af tagkonstruktion. *loftareal er fra Case 1.

Emne	Enhed	Mængde	Enhedspris	Pris inkl. moms
			Kr.	Kr.
Isolering af loft	m ²	325	1.500,-	487.500,-
Nye lofter inkl. dampspærre og opretning	m ²	293*	500,-	146.500,-
Malerarbejder	m ²	293*	225,-	65.925,-
El-arbejder	Pr. lejlighed	4	5.000,-	20.000,-
I alt				719.925,-

- Udskiftning af vinduer og døre

I Tabel 20 ses et økonomisk overslag for udskiftning af vinduer og døre inkl. moms.

Tabel 20. Overslagspris inkl. moms for udskiftning af vinduer.

Emne	Enhed	Mængde	Enhedspris	Pris inkl. moms
			Kr.	Kr.
Udskiftning af vinduer og døre	m ²	196	4.100,-	803.600,-
I alt				803.600,-

- Efterisolering af vægge.

I Tabel 21 ses et økonomisk overslag for efterisolering af vægge inkl. moms. Der er regnet med en isoleringstykkelse på 100 mm isolering i forsatsvæggen. Det vurderes, at der vil kunne spares ca. 25.000 kr. ved at benytte 50 mm isolering.

Tabel 21. Overslagspris inkl. moms for efterisolering af væggen med 100 mm isolering.

Emne	Enhed	Mængde	Enhedspris	Pris inkl. moms
			Kr.	Kr.
Efterisolering af kælderydervæg, ekskl. terrænbelægningsarbejde og evt. omlægning af kloak	lbm	91	10.000,-	910.000,-
Indv. forsatsvæg	m ²	600	550,-	330.000,-
Malerarbejde	m ²	600	250,-	150.000,-
Tilpasning af gulve og nye fodlister	lbm	91	175,-	15.925,-
El-arbejder	Pr. lejlighed	12	7.500,-	90.000,-
VVS-arbejder	Pr. lejlighed	12	15.000,-	180.000,-
Tilpasning af inventar, vådrum etc.	Pr. lejlighed	12	15.000,-	180.000,-
I alt				1.855.925,-

- Solcelleanlæg

Et 6 kW solcelleanlæg koster ca. 100.000,- inkl. montage tilbehør.

- Solvarmeanlæg

Et 27 m² solvarmeanlæg koster ca. 175.000,- inkl. montage tilbehør.

4.8 Brugsareal/nettoareal

I Tabel 22 ses en beregning af ejendommens oprindelige nettoarealer (brugsarealer) i Case 1, fordelt på etageniveau.

Tabel 22. Brugsarealer (nettoarealer) fordelt pr. etage for den oprindelige ejendom, Case 1

Etage plan	Brutto Arealer	Ydervægslængde	Ydervægstykkelse	Ca. Vægareal	Ca. Nettoareal
	m ²	Lbm.	m	m ²	m ²
Kælder	325	90	0,48	43	282
Stue	325	90	0,36	32	293
1. sal	325	90	0,36	32	293
2. sal	325	90	0,36	32	293

I Tabel 23 ses en beregning af ejendommens nettoarealer (brugsarealer) ved efterisolering af ydervægge som beskrevet i Case 2, arealerne er fordelt på etageniveau.

Tabel 23. Brugsarealer (nettoarealer) fordelt pr. etage, Case 2. I Case 2 er opsat en ca. 75 mm dyb forsatsvæg.

Etage plan	Brutto Arealer	Ydervægslængde	Ydervægstykkelse	Ca. Vægareal	Ca. Nettoareal
	m ²	Lbm.	m	m ²	m ²
Kælder	325	90	0,48	43	282
Stue	325	90	0,435	39	286
1. sal	325	90	0,435	39	286
2. sal	325	90	0,435	39	286

I Tabel 24 ses en beregning af ejendommens nettoarealer (brugsarealer) ved efterisolering af ydervægge som beskrevet i Case 3, arealerne er fordelt på etageniveau.

Tabel 24. Brugsarealer (nettoarealer) fordelt pr. etage, Case 3. I Case 3 er opsat en ca. 125 mm dyb forsatsvæg.

Etage plan	Brutto Areal	Ydervægslængde	Ydervægstykkelse	Ca. Vægareal	Ca. Nettoareal
	m ²	Lbm.	m	m ²	m ²
Kælder	325	90	0,48	43	282
Stue	325	90	0,485	44	281
1. sal	325	90	0,485	44	281
2. sal	325	90	0,485	44	281

4.9 Fugttekniske forsvarlige konstruktioner

For at vurdere på om de energioptimerede konstruktioner i Case 2 og Case 3, udover en energiforbedring, også er fugtteknisk forsvarligt. Udføres en række simuleringer på udvalgte kritiske vægkonstruktioner og sammenbygninger i programmerne WUFI light og HEAT2. WUFI Light benyttes til simulering af fugtforholdene i udvalgte konstruktioner, hvorimod HEAT2 benyttes til beregning af temperaturforløb i konstruktioner, samt overflade temperaturer.

4.9.1 Overflade temperaturer

Som beskrevet i afsnit 3.2.2 er der lokaliseret/udvalgt forskellige sammenbygninger, som vurderes vil kunne medføre overflade temperaturer, hvor det er risiko for kondens og skimmelvækst.

I beregningsprogrammet HEAT2, beregnes i det efterfølgende overfladetemperaturene for henholdsvis konstruktionerne L1, L2, L4 og L5, se Figur 19 i afsnit 3.2.2 Konstruktive sammenbygninger. Konstruktionen L3 er fravalgt, da der her er valgt en udvendig efterisolering og fugttætning. En efterisoleringsform som er almindelig kendt og anvendt. På baggrund af det, er det vurderet, at konstruktionen er fugtteknisk forsvarlig. HEAT2 beregningerne udføres for hver af de fire konstruktioner i alle de tre Cases.

- HEAT2 programmet og inddata

HEAT2 er et beregningsprogram til simulering af todimensionale varmestrømme i konstruktioner. For eksempel kan temperaturer i kritiske områder i en konstruktion fastlægges.

Programmet giver mulighed for grafisk, at vise temperaturforløbet i konstruktionen, samt hvordan isotermer forløber i knudepunkter og pile visende retningen af varmestrømmene.

I nærværende sammenhæng benyttes stationære temperaturforhold, svarende til den kritiske måned, det vil sige januar måned iht. SBI-anvisning 224, tabel 16. Temperatursættet for januar måned er -0,6 °C udvendig og 20 °C indvendig.

Udover bestemmelse af temperaturforløbet i en konstruktion, benyttes programmet ligeledes til beregning af linjetab og U-værdier, her benyttes temperatursættet 0 °C ude og 1 °C indvendig. U-værdierne og linjetabene som er benyttet som input til beregning af ejendommens energibehov, er beregnet i HEAT2.

Ud over temperatursættet skal der for, at gennemfører de forskellige simuleringer, indtastes en række data for de materialer som indgår i selve konstruktionen. I Tabel 25 fremgår de materialer, som indgår i konstruktionerne i de tre Cases.

Tabel 25. Materiale data til HEAT 2 beregningen. I tabellen fremgår densitet på det enkelte materiale samt varmeledningsevnen. I kolonne til højre er angivet hvor oplysningerne stammer fra.

Materiale	Densitet kg/m ³	Varmeledningsevne W/mK	Kilde
Tegl	1800	0,74	DS 418 s. 80 kurve B
Træ	450	0,12	DS418 s. 84 Tabel F.2
Troldtekt		0,08	RAW (producent) ¹²
Beton	2200	1,8	DS 418 s. 83 kurve B
Glas	2600	0,8	DS418 s. 84 Tabel F.2
Puds	1500	0,65	DS 418 s. 83 kurve C
Luft	1,3	0,024	DS418 s. 84 Tabel F.2
Isolering gulv		0,037	Isover
Isolering vinduer		0,037	Isover
Isolering forsatsvæg		0,030	Isover
Isolering hulmur		0,038	Isover
Gips	900	0,25	DS 418 s. 85 tabel F2
Argon		0,017	https://da.wikipedia.org/wiki/Specifik_varmeledningsevne ¹³

- Output af simuleringerne.

På baggrund af simuleringerne af de fire konstruktioner aflæses overflade temperaturen i forskellige punkter. Punkterne der vurderes på er områder, hvor der indgår organiske materialer eller blot generelle vægoverflader og sammenbygninger, som på baggrund alment teknisk fælleseje, som er vurderet kan give så lave temperatur, at der er risiko for skimmelvækst eller kondens.

4.9.2 Case 1, oprindelige konstruktioner

- Konstruktion L1

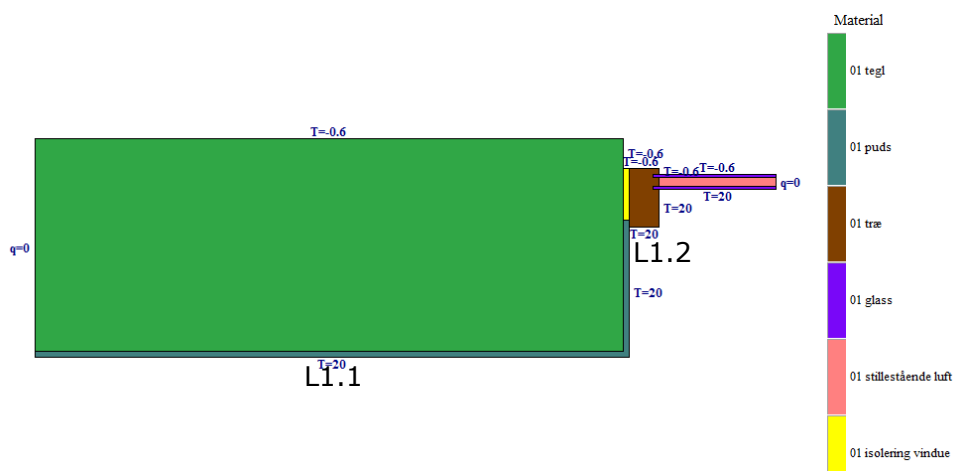
Bestående af en 360 mm massiv teglvæg med 10 mm puds.

Vinduet er opbygget med en trækarm, med en termorude bestående af 2 x 4 mm glas med 16 mm luft i mellem. Omkring vinduet er der stoppet med isolering. Opbygningen af HEAT2 modellen ses i Figur 22.

I Figur 22 tv. er angivet to målepunkter, målepunkterne L1.1 og L1.2, som angiver overfladepunkter som aflæses. I Figur 22 th. ses materialebeskrivelsen af de i konstruktionen benyttede materialer.

¹² http://www.raw-products.info/index_dk.html

¹³ https://da.wikipedia.org/wiki/Specifik_varmeledningsevne



Figur 22. Opbygning af konstruktionen L1 i HEAT2, sammenbygning mellem massiv tegl og et vindue. Målepunkterne L1.1 og L1.2 er angivet. Th. ses de materialer som indgår i konstruktionen.

Temperaturlæsningen inkl. punkternes koordinater i HEAT2 for målepunkterne L1.1 og L1.2 ses i Tabel 26.

Tabel 26. Temperaturer for målepunkterne L1.1 og L1.2 i konstruktionen L1

Målepunkt	Koordinat angivet i m.		Beskrivelse af målepunkt	Temperatur °C
	x	y		
L1.1	0,5	0,0	Overflade på væggen	16,0
L1.2	1,0	0,20	Overfladen på væggen, ved overgang til vinduet.	13,6

- Konstruktion L2

En sammenbygning mellem betonaltanen som gennembryder teglfacaden.

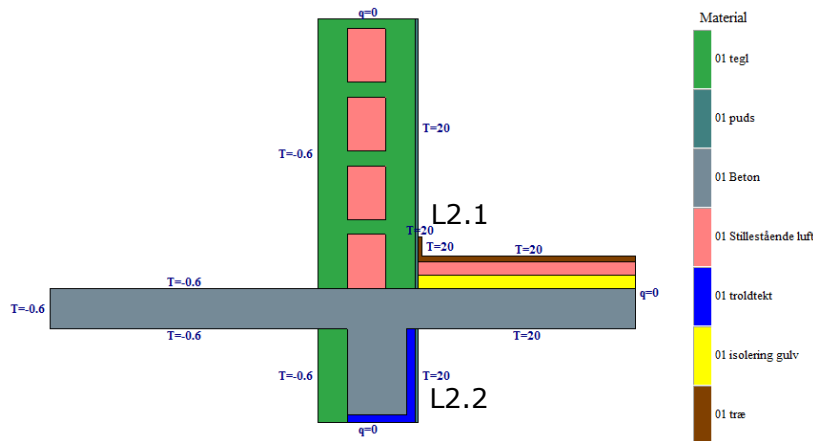
Opbygningen består af en 150 mm betonaltan udført med et massivt nedstik i beton.

Ydervæggen omkring nedstikket består af 108 mm tegl, 222 mm beton nedstik, 30 mm troltekt afsluttet med 10 mm puds.

Teglvæggen over altanen består af en 360 mm hulmur med faste bindere for hver 4. skifte, væggen er indvendig pudset med 10 mm puds.

Etagedæk konstruktionen er opbygget med 150 mm etagebetondæk, 50 mm isolering, 50 mm luftspalte og 22 mm gulvplanker. Strøerne er ikke indtegnet.

Opbygningen af HEAT2 modellen ses i Figur 23. I Figur 23 tv. er angivet to målepunkter, målepunkterne L2.1 og L2.2, som angiver overfladepunkter som aflæses. I Figur 23 th. ses materialebeskrivelsen af de i konstruktionen benyttede materialer.



Figur 23. Opbygning af konstruktionen L2 i HEAT2, sammenbygning mellem tegl og altan som gennembyrder facaden. Målepunkterne L2.1 og L2.2 er angivet. Th. ses de materialer som indgår i konstruktionen.

Temperaturlæsningen inkl. punkternes koordinater i HEAT2 for målepunkterne L2.1 og L2.2 ses i Tabel 27.

Tabel 27. Temperaturer for målepunkterne L2.1 og L2.2 i konstruktionen L2

Målepunkt	Koordinat angivet i m.		Beskrivelse af målepunkt	Temperatur °C
	x	y		
L2.1	1,37	0,6	Overgang mellem puds og træ-fodliste/gulv	14,5
L2.2	1,37	0,30	Vægoverflade ud for beton nedstikket. Ca. 50 mm under loftet	16,8

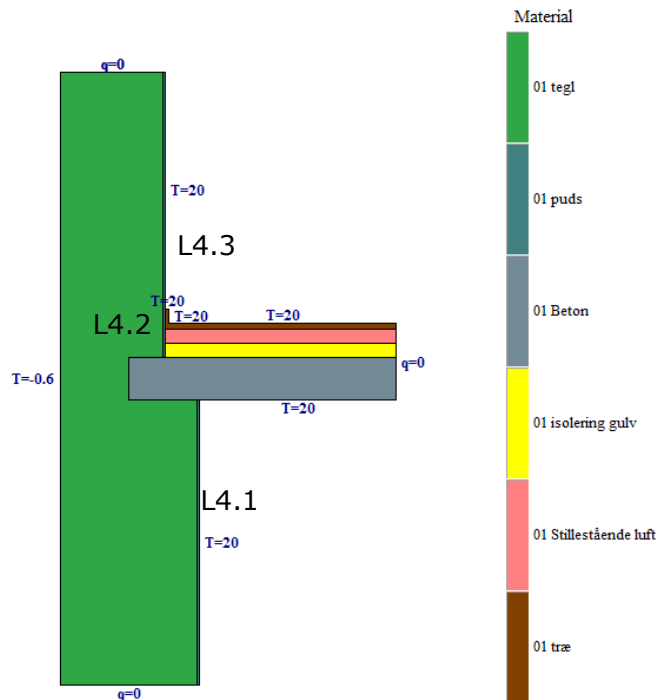
- Konstruktion L4

Bestående af en 480 mm massiv teglvæg op til underkant etagedæk, samt en 360 mm massiv teglvæg over etagedækket, væggene er indvendigt afsluttet med 10 mm puds.

Etagedæk konstruktionen er opbygget med 150 mm etagebetondæk, 50 mm isolering, 50 mm luftspalte og 22 mm gulvplanker. Strøerne er ikke indtegnet.

Etagedækket er udført med 120 mm indstik i facaden.

Opbygningen af HEAT2 modellen ses i Figur 24. I figuren tv. er angivet tre målepunkter, målepunkterne L4.1, L4.2 og L4.3, som angiver overfladepunkter som aflæses. I Figur 24 th. ses materialebeskrivelsen af de i konstruktionen benyttede materialer.



Figur 24. Opbygning af konstruktionen L3 i HEAT2, sammenbygning mellem massiv teglfacade og etagedækket. Målepunkterne L4.1, L4.2 og L4.3 er angivet. Th. ses de materialer som indgår i konstruktionen.

Temperaturlæsningen inkl. målepunkternes koordinater i HEAT2 for L4.1, L4.2 og L4.3 ses i Tabel 28.

Tabel 28. Temperaturer for målepunkterne L4.1, L4.2 og L4.3 i konstruktionen L4

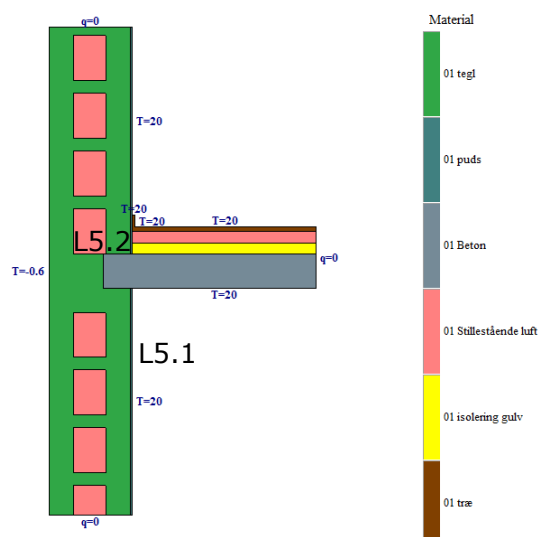
Punkt	Koordinat angivet i m.		Beskrivelse af målepunkt	Temperatur °C
	x	y		
L4.1	0,49	0,95	Vægoverflade ca. 50 mm under etagedækket	16,7
L4.2	0,37	1,27	Overgang mellem puds og træfodliste/gulv	13,6
L4.3	0,37	1,35	Vægoverflade ca. 200 mm over etagedækket	15,4

- Konstruktion L5.

Bestående af en 360 mm hulmur i tegl med faste bindere for hvert 4. skifte, væggen er indvendigt afsluttet med 10 mm puds.

Strøgulvkonstruktionen er opbygget med 150 mm etagebetondæk, 50 mm isolering, 50 mm luftspalte og 22 mm gulvplanker. Strøerne er ikke indtegnet. Etagedækket er udført med 120 mm indstik i facaden.

Opbygningen af HEAT2 modellen ses i Figur 25. I Figur 25 tv. er angivet to målepunkter, målepunkterne L5.1 og L5.2, som angiver overfladepunkter som aflæses. I Figur 25 th. ses materialebeskrivelsen af de i konstruktionen benyttede materialer.



Figur 25. Opbygning af konstruktionen L5 i HEAT5, sammenbygning mellem hulmur i tegl og etagedækket. Målepunkterne L5.1 og L5.2 er angivet. Th. ses de materialer som indgår i konstruktionen.

Temperaturlæsningen inkl. målepunkternes koordinater i HEAT2 for L5.1 og L5.2 ses i Tabel 29.

Tabel 29. Temperaturer for målepunkterne L5.1 og L5.2 i konstruktionen L5

Målepunkt	Koordinat angivet i m.		Beskrivelse af målepunkt	Temperatur °C
	x	y		
L5.1	0,37	0,95	Vægoverflade ca. 50 mm under etagedækket	17,0
L5.2	0,37	1,27	Overgang mellem puds og træfodliste/gulv	16,8

4.9.3 Case 2, overflade temperaturer på konstruktionerne.

Som beskrevet i afsnit 3.3, efterisoleres de oprindelige konstruktioner i Case 2. Efterisoleringen udføres med forsatsvæg isoleret med 50 mm isolering λ 0,030 W/mK, afsluttet med to lag gips. Mellem de 2 lag gips monteres en dampspærre, men da dampspærren ikke har nogen varmeisolerende funktion, indgår dampspærren ikke i HEAT2 beregningerne.

Forsatsvæggen monteres fra overkant etagebetondæk til underkant etagebetondæk.

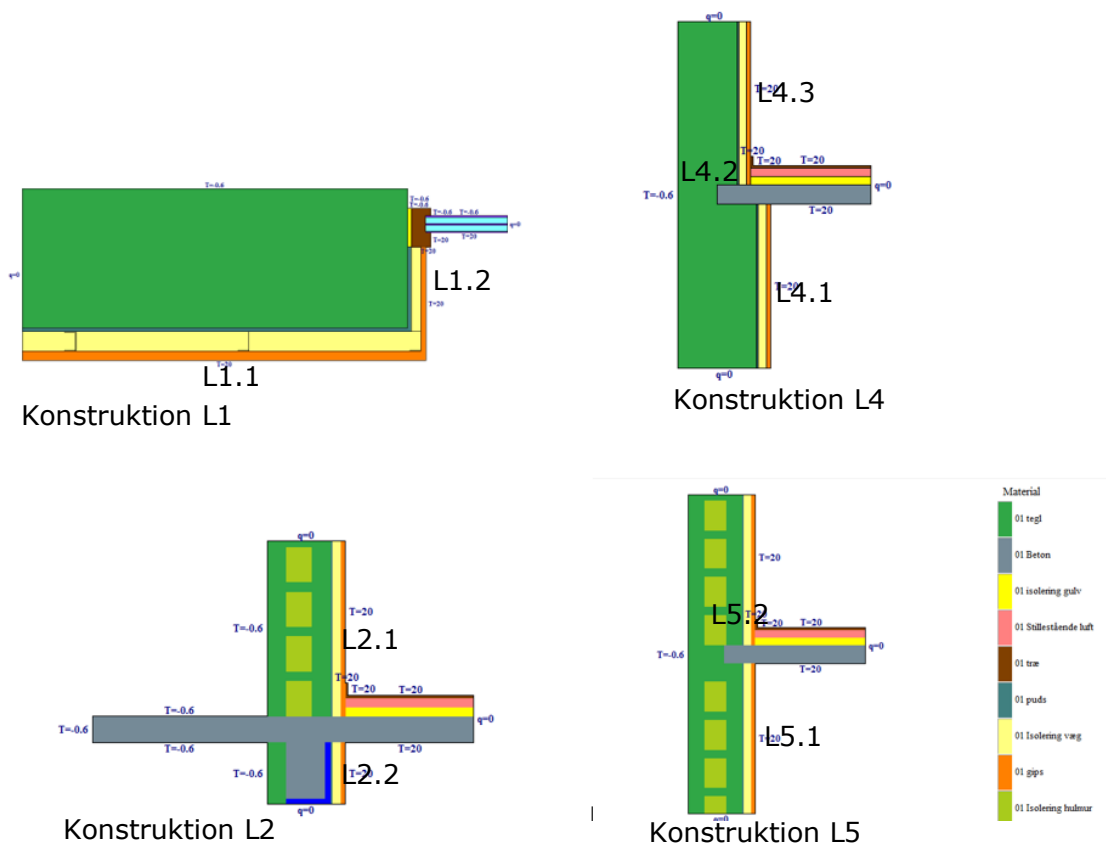
Udover forsatsvæggen hulmurs isoleres konstruktionen L5 med isoleringsgranulat λ 0,038 W/mK.

Vinduet opbygges som en 3 lags rude med Argon som isolerende luftlag mellem glasset.

Vindueslysningen i konstruktionen L1 efterisoleres med 25 isolering λ 0,030 W/mK, en dampspærre og et lag gips, som beskrevet ovenfor indgår dampspærren ikke i HEAT2 beregningerne.

Målepunkterne er på baggrund af isoleringen flyttet, så der nu måles på gipsoverfladen.

De fire konstruktionsopbygninger inkl. angivelse af målepunkterne fremgår af Figur 26, nederst th. ses de materialer som indgår i konstruktionerne.



Figur 26. Konstruktionerne L1, L2, L4 og L5 efterisoleret med 50 mm isolering, hulmuren er udfyldt med granulat. Målepunkterne for de enkelte konstruktioner fremgår af figurene. Nederst th. ses de materialer som indgår i konstruktionerne.

Temperaturlæsningen inkl. koordinater for målepunkterne i Case 2, angivet i Figur 26 fremgår af Tabel 30.

Tabel 30. Temperaturer for målepunkterne Case 2, målepunkterne ses i Figur 26

Målepunkt	Koordinat angivet i m.		Beskrivelse af målepunkt	Temperatur °C
	x	y		
L1.1	0,5	0,0	Overflade på væggen.	18,7
L1.2	1,045	0,27	Overfladen på væggen, ved overgang til vinduet.	17,7
L2.1	1,445	0,6	Overgang mellem puds og træfodliste/gulv.	16,3
L2.2	1,445	0,30	Vægoverflade ud for beton nedstikket. Ca. 50 mm under loftet.	18,0
L4.1	0,565	0,95	Vægoverflade ca. 50 mm under etagedækket.	18,4
L4.2	0,445	1,27	Overgang mellem puds og træfodliste/gulv.	17,3
L4.3	0,445	1,35	Vægoverflade ca. 200 mm over etagedækket.	18,8
L5.1	0,445	0,95	Vægoverflade ca. 50 mm under etagedækket.	18,6
L5.2	0,445	1,27	Overgang mellem puds og træfodliste/gulv.	18,5

4.9.4 Case 3, overflade temperaturer på konstruktionerne.

Case 3 er en efterisolering, som beskrevet i Case 2, eneste forskel er at isoleringstykkelsen øges til 100 mm, ved at forsatsvæggen forskydes 50 mm længere ud, hvorved der etableres plads til 50 mm ekstra isolering i $\lambda 0,030$ W/mK.

Målepunkterne og grafisk opbygning er lig det, der fremgår af Figur 26. Eneste forskel er at isoleringstykkelsen er øget, og målepunkterne er flyttet 50 mm længere ud, så det stadig er gipsoverflader der måles på.

Temperaturlæsningen inkl. koordinater for målepunkterne i Case 3 fremgår af Tabel 31.

Tabel 31. Temperaturer for målepunkterne Case 3, målepunkterne ses i Figur 26

Målepunkt	Koordinat angivet i m.		Beskrivelse af målepunkt	Temperatur °C
	x	y		
L1.1	0,5	0,0	Overflade på væggen	19,3
L1.2	1,045	0,32	Overfladen på væggen, ved overgang til vinduet.	17,5
L2.1	1,495	0,6	Overgang mellem puds og træfodliste/gulv	16,9
L2.2	1,495	0,30	Vægoverflade ud for beton nedstikket. Ca. 50 mm under loftet	18,3
L4.1	0,615	0,95	Vægoverflade ca. 50 mm under etagedækket	18,6
L4.2	0,495	1,27	Overgang mellem puds og træfodliste/gulv	18,3
L4.3	0,495	1,35	Vægoverflade ca. 200 mm over etagedækket	19,3
L5.1	0,495	0,95	Vægoverflade ca. 50 mm under etagedækket	18,8
L5.2	0,495	1,27	Overgang mellem puds og træfodliste/gulv	18,8

4.9.5 Simulering af fugtforholdene i konstruktionerne.

Ejendommen er opført med forskellige ydervægskonstruktioner. Konstruktionerne er opført uden varmesisolering, på nær de 30 mm træbeton ved betonbjælken over de enkelte åbninger i facaden.

I de kommende beregninger, undersøges fugtforholdene i fire forskellige ydervægskonstruktioner K3, K4, K5 og K6, konstruktionerne er beskrevet i afsnit 3.2.1 Ydervægge.

Der udføres beregninger for de fire konstruktioner i hver af de tre Cases.

Til at beregne fugtforholdene i konstruktionerne benyttes programmet WUFI Light, som beskrives nedenfor.

- Programmet WUFI Light

WUFI light ("Wärme und Feuchte Instationär"), er et program til beregning af fugt og temperaturforhold i en konstruktion over en given periode. Beregningerne foretages på baggrund af bestemte klimabetingelser.

Programmet giver en indikation af fugtforholdene, visende udtørningstid, fugtophobning, kondensfare og risiko for fugtskader i bestemte områder af en konstruktion. Resultater som har indflydelse på hinanden, da varme og fugttransporten påvirker hinanden. Højt fugtindhold giver et større varmetab (højere varmeledning). Er der kondens eller fordampning i materialet indvirker det på temperaturfordelingen. Så derfor må der regnes på både varme og fugttransport samtidigt.

Til simuleringerne i WUFI Light benyttes standard klimabetingelser og materialeparametre, som findes i databasen i selve programmet. Det er i WUFI Light ikke muligt at oprette specifikke klimadata og materialer, hvorfor der kan forekomme mindre materiale variant mellem materialer benyttet i WUFI Light og de andre beregningsprogrammer, som benyttes i nærværende rapport.

For at simuleringerne kan udføres skal der som tidligere beskrevet benyttes forskellige materialedata. I Tabel 32 ses de materialer som er benyttet til simuleringerne.

Tabel 32. Materialebetegnelse, som benyttes i rapporten, samt materialenavnet i WUFI Light, inkl. densitet som er i programmet samt hvilken undermappe materialet er taget fra.

Materiale	Materialenavn WUFI Light	Densitet Kg/m ³	Materialemappe WUFI
Etagedæk	Beton	2200	Frauenhofer-IBP
Tegl	Massiv tegl	1900	Frauenhofer-IBP
Puds	Kalkcementmørtel fin	1880	Østerrike – TU Wien
Træbeton	Treullplate	450	Frauenhofer-IBP
Siporex	Porebeton	600	Frauenhofer-IBP

I Tabel 33 ses de klimabetingelser som er benyttet til simuleringerne. Som det fremgår af Tabel 33, benyttes klimadata for Lund i Sverige, da der i programmet ikke findes klimadata for Danmark. Klimadata for Lund er det tættest man kommer det Danske klima i beregningsprogrammet.

Tabel 33. Klimadata til WUFI Light simuleringerne.

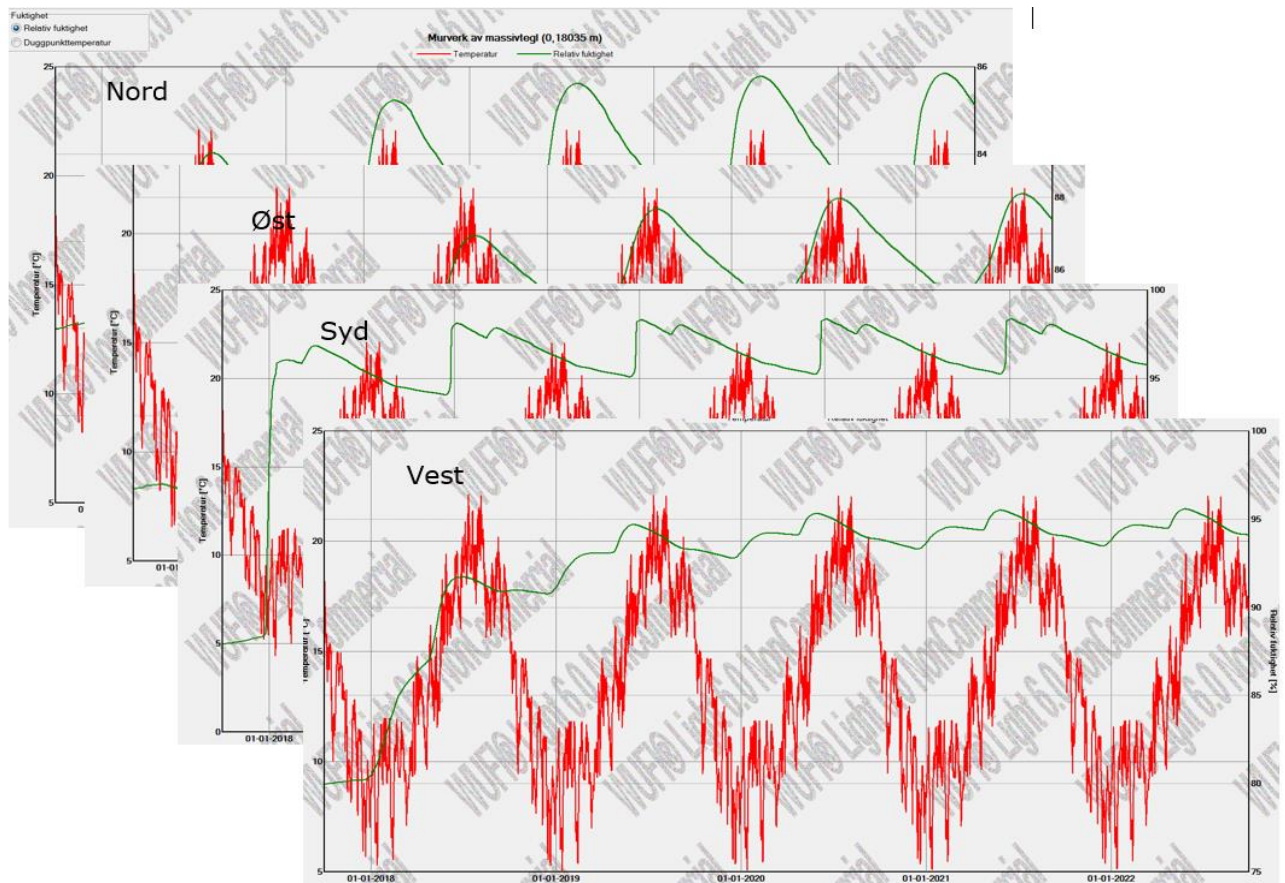
Benævnelse	Data
Outdoor Climate	Lund; LTH Data
Indoor klimate	Normal fugtbelastningsklasse
Indoor temperature	Mean= 21°C; Amplitude=1°C
Indoor Humidity	Mean= 50°C; Amplitude=10°C

- Facade orientering og facadehøjde.

I programmet indtastes hvilken facadeorientering der ønskes simuleret. Beregnes den samme konstruktion orienteret mod alle verdenshjørner, viser beregningerne at den mest udsatte facade, med klimadata fra Lund, er syd facaden. Simuleringen viser en RF niveau på ca. 97%, se Figur 27.

Taget ud fra ejendommens rette placering i Horsens, ville det formegentligt være vest facaden som vil være mest udsat. Men for, at synliggøre det værste scenarie med de klimadata der er tilgængelig, regnes der på baggrund af graferne i Figur 27 på syd facaden.

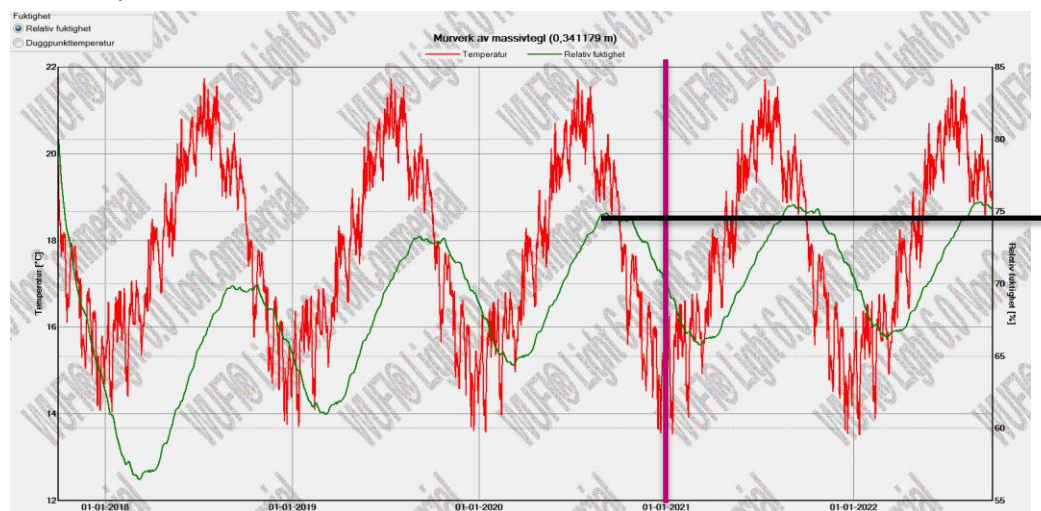
I programmet angives facadehøjden til værdien, op til 10 m. Ligeledes sættes overflade koefficienter på konstruktionen og startbetingelserne til programmets standarder.



Figur 27. Simulering af en facade, vendende henholdsvis mod nord, øst, syd og vest. Den relative fugtighed viser sig at nå det højeste niveau mod syd. Den grønne linje = RF %, de røde linjer = temperaturer i °C.

- Output af simuleringerne.

Simuleringen udføres normalt over en 3-årig periode. Stabiliseres forholdene ikke inden for de første 3 år, udvides beregningsperioden så man i graferne kan se en stabilisering af forholdene. Figur 28 viser en beregning, som ikke opnår et stabilt leje inde for 3 år, hvorfor perioden udvides.



Figur 28. Grafisk visning af en WUFI Light simulering. Fugtforholdene har ikke opnået et stabilt niveau inde for de første 3 år. 3 års grænsen ses ved den lille lodrette markering. Den sorte vandrette markering viser, at fugtniveauet er stigende også efter de første 3 år. Simulerings perioden udvides derfor, så det maksimale fugtniveau kan fastsættes.

For at få et grafiske billede af forholdene som vist i Figur 28, indsættes de såkaldte monitors, angivet ved et lille kamera eller cirkel, se Figur 29. Monitors indsættes i konstruktionen de steder som ønskes undersøgt.



Figur 29. Angivelse af monitors placering i en given konstruktion. Monitors afføder et grafisk billede som ses i Figur 28.

I de efterfølgende simuleringerne er der indsat monitors ca. 50 og 180 mm inde i de eksisterende konstruktionen fra udvendig side, samt ca. 50 mm fra indvendig side. Placeringen er valgt for, at kunne følge/sammenholde udviklingen i fugtniveaue i væggen ved en kommende efterisolering i Case 2 og Case 3.

I Case 2 og Case 3 indsættes yderligere en monitor i isoleringslaget, for at kunne vurdere på forholdene i isoleringen tæt ved gipsoverfladen.

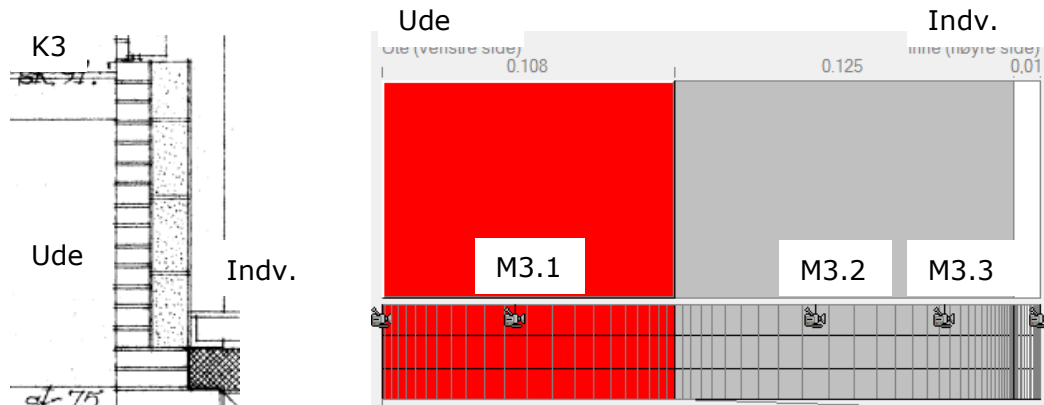
I de efterfølgende afsnit beskrives, vises og simuleres de fire forskellige ydervægskonstruktionerne K3, K4, K5 og K6, for henholdsvis Case 1, Case 2 og Case 3.

4.9.6 Simuleringer Case 1.

På baggrund af de forgående beskrivelser omkring WUFI Light, beregnes fugtforhold og temperaturforhold for de oprindelige konstruktioner K3, K4, K5 og K6 inden de efterisoleres.

- Fugtsimulering af konstruktionen K3

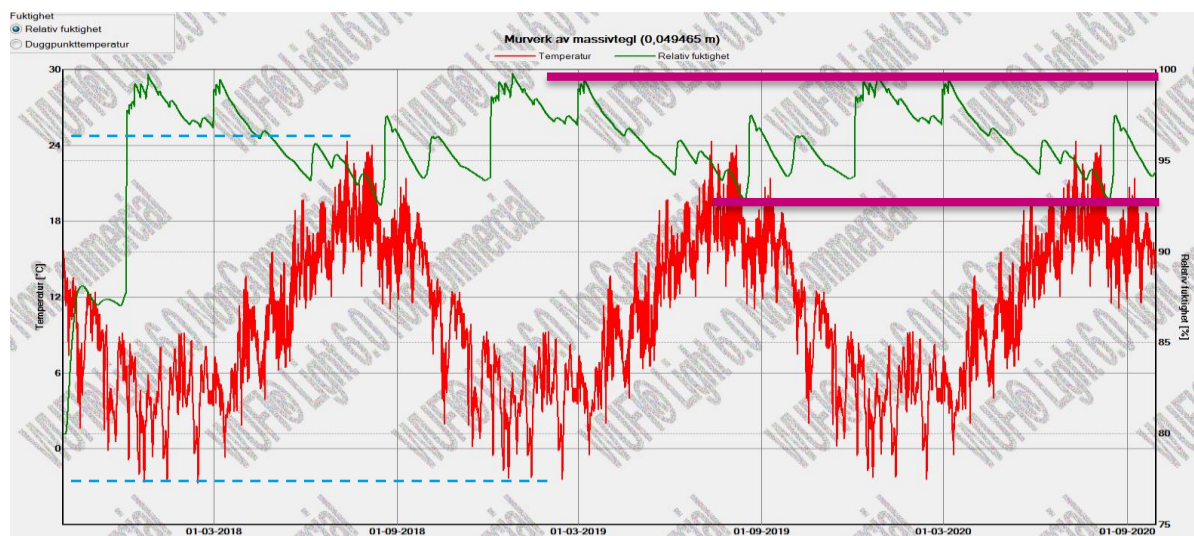
Ydervæggen som danner brystning under vinduer ved altaner og i gavlene er opbygget af 108 mm tegl, 125 mm siporex og 10 mm finpuds. I Figur 30 til venstre [tv] ses henholdsvis væggen som den fremgår af tegningsmaterialet og til højre [th] opbygningen i WUFI Light inkl. monitors placeringer. M3.1, M3.2 og M3.3 angiver et reference navn til de enkelte simuleringsområder, som kan afbilledes grafisk som vist i Figur 31.



Figur 30. Konstruktionen K3. Tv. ses opbygningen som angivet i tegningsmaterialet. Th. ses konstruktionen optegnet i WUFI Light inkl. placering af monitors, angivet ved et kamera. Målepunkterne er angivet ved tallene M3.1, M3.2 og M3.3.

- Målepunkt M3.1.

Målepunkt M3.1 er placeret ca. 50 mm inde i teglvæggen, simuleringens resultat ses i Figur 31, yderpunkterne for RF er markeret med lilla, mens temperatur yderpunkter er markeret med en stiplede blå linje. Simuleringen viser, at fugtigheden stabiliserer sig mellem ca. 92% RF og ca. 99% RF, mens temperaturen spænder fra ca. -3 °C til ca. 24°C alt efter årstid.



Figur 31. Simuleringsresultat af målepunkt M3.1 i konstruktionen K3. Lilla markering angiver max. og min. for RF i konstruktionen for målepunktet M3.1. Den stiplede blå markering angiver max. og min. temperaturer i konstruktionen for målepunktet M3.1

- Målepunkt M3.2.

Målepunkt M3.2 er placeret ca. 180 mm inde i konstruktionen, simuleringerne viser at fugtigheden stabiliserer sig mellem ca. 92% RF og ca. 95% RF, mens temperaturen spænder fra ca. 4 °C til ca. 22 °C alt efter årstid. Grafen fremgår af Bilag 7.

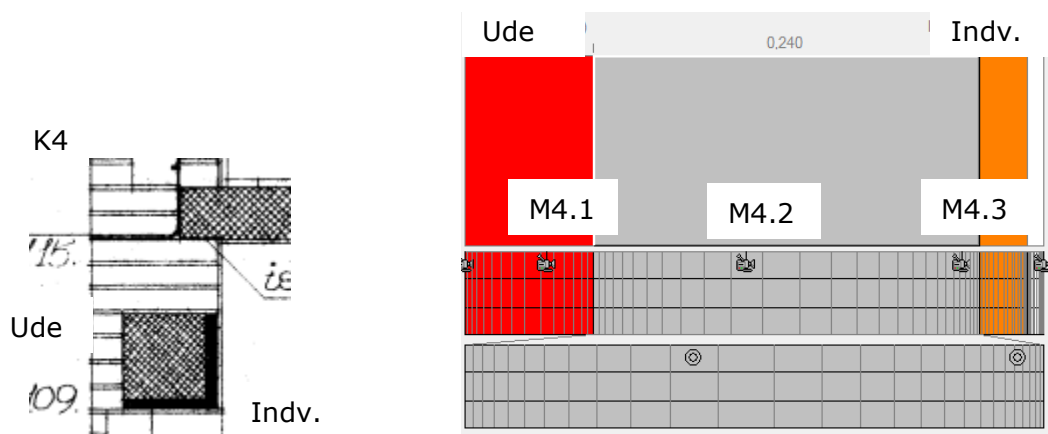
- Målepunkt M3.3.

Målepunkt M3.3 er placeret ca. 50 mm inde i konstruktionen fra indvendig side, simuleringen viser at fugtigheden stabiliserer sig mellem ca. 88% RF og ca. 92% RF, mens

temperaturen spænder fra ca. 11 °C til ca. 22 °C alt efter årstid. Grafen fremgår af Bilag 7.

- Fugtsimulering af konstruktionen K4

Konstruktionen K4 danner overligger over vinduespartier er opbygget af 80 mm tegl, sammenstøbt med en massiv 240 mm betonoverligger, som på indvendig side er isoleret med 30 mm træbeton og 10 mm puds. I Figur 32 tv. ses henholdsvis væggen som den fremgår af tegningsmaterialet og th. opbygningen i WUFI Light inkl. monitors placeringer. M4.1, M4.2 og M4.3 angiver et reference navn til de enkelte simuleringsområder, som kan afbilledes grafisk som vist i Bilag 7.



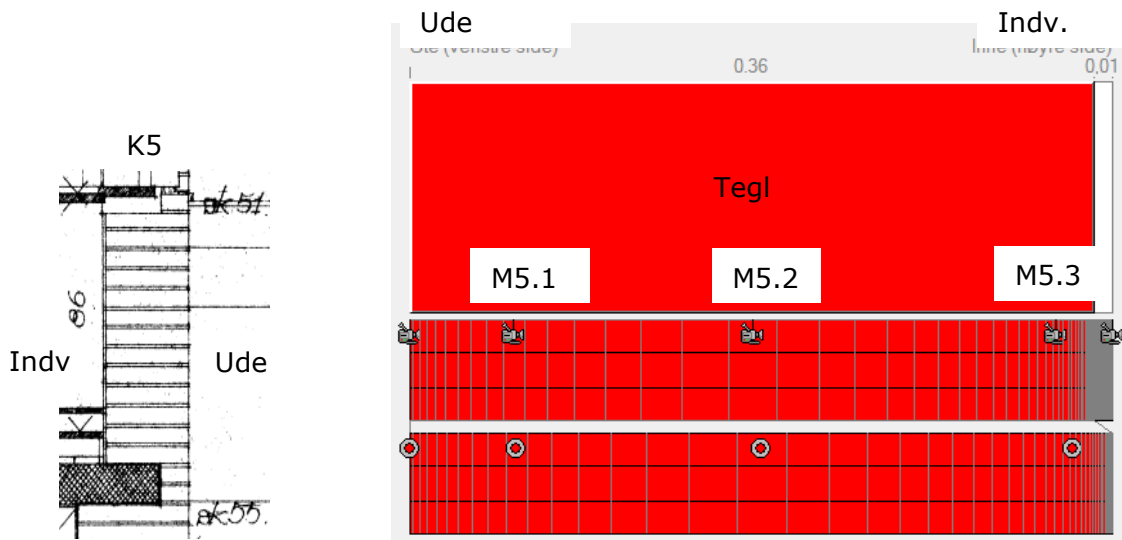
Figur 32. Konstruktionen K4. Tv. ses opbygningen som angivet i tegningsmaterialet. Th. ses konstruktionen optegnet i WUFI inkl. placering af monitors, angivet ved et kamera. Målepunkterne er angivet ved tallene M4.1, M4.2 og M4.3.

- Målepunkt M4.1 – M4.3 for konstruktionen K4

Simuleringen udføres på samme måde som angivet under konstruktionen K3. De grafiske simuleringer ses i Bilag 7, og resultaterne er angivet i resultatafsnittet Kap. 5 resultater, afsnit 5.6 WUFI Light simuleringer Tabel 44.

- Fugtsimulering af konstruktionen K5

Konstruktionen K5 er udført som en massiv 360 mm teglvæg, som på indvendig side er afsluttet med 10 mm puds. I Figur 33 tv. ses henholdsvis væggen som den fremgår af tegningsmaterialet og th. opbygningen i WUFI Light inkl. monitors placeringer. M5.1, M5.2 og M5.3 angiver et reference navn til de enkelte simuleringssområder, som kan afbilledes grafisk som vist i Bilag 7.



Figur 33. Konstruktionen K5. Tv. ses opbygningen som angivet i tegningsmaterialet. Th. ses konstruktionen optegnet i WUFI inkl. placering af monitors, angivet ved et kamera. Målepunkterne er angivet ved tallene M5.1, M5.2 og M5.3.

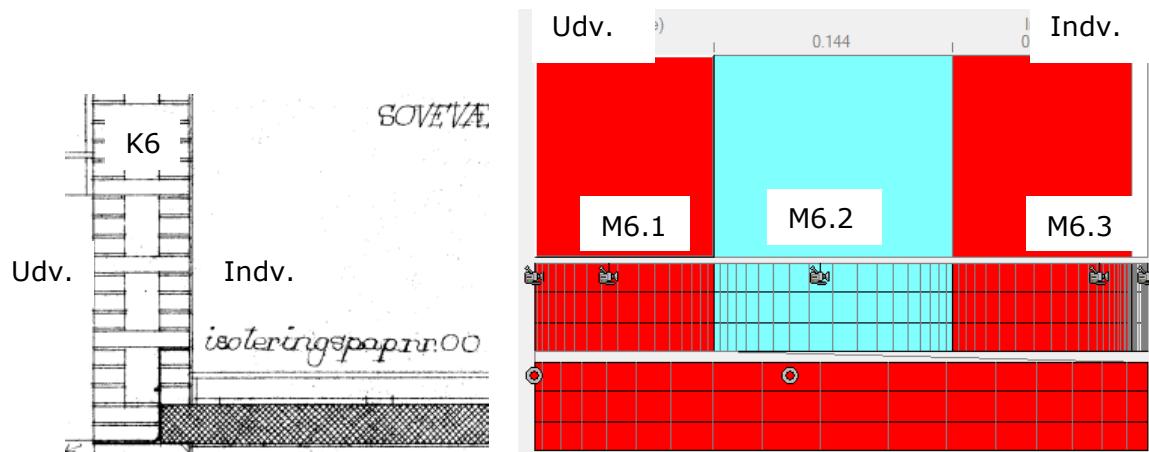
- Målepunkt M5.1 – M5.3 for konstruktionen K5

Simuleringen udføres på samme måde, som angivet under konstruktionen K3. De grafiske simuleringer ses i Bilag 7, og resultaterne er angivet i resultatafsnittet Kap. 5 resultater, afsnit 5.6 WUFI Light simuleringer Tabel 44.

- Fugtsimulering af konstruktionen K6

Konstruktionen K6 er udført som en massiv 360 mm hulmur, bestående af 108 mm tegl, 144 mm luft og 108 mm tegl, væggen er opbygget med massive bindere. Væggen er på indvendig side afsluttet med 10 mm puds. I Figur 34 tv. ses henholdsvis væggen som den fremgår af tegningsmaterialet og th. opbygningen i WUFI Light inkl. monitors placeringer. M6.1, M6.2 og M6.3 angiver et reference navn til de enkelte simuleringsområder, som kan afbilledes grafisk som vist i Bilag 7.

I WUFI Light er det ikke muligt, at indbygge forskellige materialer i samme lag, derfor er opbygningen hvor i der både er murbindere og luft, angivet som et luftlag.



Figur 34. Konstruktionen K6. Tv. ses opbygningen som angivet i tegningsmaterialet. Th. ses konstruktionen optegnet i WUFI inkl. placering af monitors, angivet ved et kamera. Målepunkterne er angivet ved tallene M6.1, M6.2 og M6.3.

- Målepunkt M6.1 – M6.3 for konstruktionen K6

Simuleringen udføres på samme måde, som angivet under konstruktionen K3. De grafiske simuleringer ses i Bilag 7, og resultaterne er angivet i resultatafsnittet Kap. 5 resultater, afsnit 5.6 WUFI Light simuleringer Tabel 44.

4.9.7 Simuleringer CASE 2.

Konstruktionerne som er beskrevet under CASE 1, efterisoleres indvendig med en forsatsvæg opbygget af stållægter, udfyldt med 50 mm isolering. Afsluttet med 12,5 mm gips, 0,2 mm PE-folie som dampspærre og derpå et lag 12,5 mm gips. Opbygningerne ses i Figur 35. I WUFI Light er det ikke muligt, at indbygge forskellige materialer i samme lag, derfor er isoleringslaget hvor i der både er stållægter og isolering, angivet som isolering.



Figur 35. Opbygning af de 4 efterisolerede konstruktioner i WUFI Light, inkl. de enkelte målepunkter

Udover inddata angivet i afsnit 4.9.5, som ligeledes benyttes i Case 2, tilføjes nu materialer til forsatsvæggen, se Tabel 34.

Tabel 34. Materialenavn til de forskellige materialer til forsatsvæggen som benyttes i WUFI simuleringen.

Materiale	Materialenavn WUFI	Densitet Kg/m ³	Materialemappe WUFI
Isolering lambada 0,032	Isover ultimate kontur FSP	32,5	Frauenhofer-IBP
Isolerings granulat i hulmur	Isocell Zellulose-dämmstoff	50	Frauenhofer-IBP
Dampspærre	PE-folie 0,2mm		NTNU Norges tekniske-naturvidenskabeligt universi-
Gips	Knauf Diamant	1009	Frauenhofer-IBP

Målepunkter som angivet i Case 1 videreføres til Case 2. Derudover tilføjes et ekstra målepunkt i isoleringslaget benævnt målepunkt 4 (M.4). Målepunkter ses i Figur 35.

- Beregninger og resultater Case 2

Beregningerne udføres som Case 1. De grafiske simuleringresultater fremgår af BILAG 8, mens resultaterne fremgår af Kap. 5 resultater, afsnit 5.6 WUFI Light simuleringer Tabel 44.

4.9.8 Simuleringer CASE 3.

Case 3 er en efterisolering, som beskrevet i Case 2, eneste forskel er, at isoleringstykkelsen øges til 100 mm.

Målepunkter, grafisk opbygning og beregninger er som Case 2. De grafiske simuleringresultater fremgår af Bilag 9, mens resultaterne fremgår af Kap. 5 resultater, afsnit 5.6 WUFI Light simuleringer Tabel 44.

5. RESULTATER

I de følgende afsnit er resultaterne fra de forskellige beregninger, som er udført i kapitel 4, for henholdsvis Case 1, Case 2 og Case 3 oplistet.

5.1 Energiberegninger i Be15

I Tabel 35, ses energirammen for de fire energiklasser iht. BR15

Tabel 35. Energirammer for ejendommen, alt efter hvilken af de fire energiklasser der skal opfyldes

Energiklasser	Energiramme
	kWh/m ² pr. år.
Lavenergi klasse 2015	30,9
Bygningsklasse 2020	20
Renoveringsklasse 1	53,9
Renoveringsklasse 2	112,8

I Tabel 36, ses energibehovet og varmebehovet for henholdsvis Case 1, 2 og 3.

I Tabel 36 fremgår ligeledes energibesparelserne samt reduktionerne i varmebehovet. Besparelserne og reduktionerne er opstillet for de enkelte tiltag alene, samt afslutningsvis en beregning af den samlede reduktion, hvis alle tiltag gennemføres, både med og uden vedvarende energikilder.

Tabel 36. Det fremtidige energibehov og varmebehovet for henholdsvis Case 1, 2 og 3, både med og uden brug af VE. I Tabellen fremgår ligeledes besparelsen i energibehovet og varmebehovet for de enkelte energioptimeringer samt ved brugen af VE-kilder.

Emne	Case 1		Case 2		Case3	
	Energi behov kWh/m ² pr. år	Varme behov MWh	Energi behov kWh/m ² pr. år	Varme behov MWh	Energi behov kWh/m ² pr. år	Varme behov MWh
Oprindeligt energibehov.	196,6	256	196,6	256	196,6	256
Besparelse ved efterisolering af tagkonstruktionen.	-		42,2	55	42,2	55
Besparelse ved udskiftning af vinduer og døre.	-		11,6	15	11,6	15
Besparelse ved efterisolering af ydervægge.	-		62,8	82	71,7	92
Samlet energibesparelse uden vedvarende energi	-		116,6	152	125,5	162
Energi behov uden brug af vedvarende energi	-		80	104	71,1	94
Besparelse ved brug af et solcelleanlæg.	-		8,9	12	8,9	12
Besparelse ved brug af et solfanger anlæg.	-		8,4	11	8,4	11
Energi behov ved udførelse af samtlige energiltag	196,6	256	62,7	77	53,8	71

I Tabel 37 ses transmissionstabet ekskl. vinduer og døre. Transmissionstabet er oplyst for henholdsvis Case1, Case 2 og Case 3.

Tabel 37. Transmissionstabet for henholdsvis Case 1, Case 2 og Case 3

Emne	Case 1	Case 2	Case 3
	W/m ²	W/m ²	W/m ²
Transmissionstab for klimaskærmen, ekskl. vinduer og døre.	42,8	13,1	10,2

I Tabel 38 ses resultaterne af antallet af timer over henholdsvis 27 °C og 28 °C, også kaldet sommerkomfort.

Tabel 38. Antallet af timer over henholdsvis 27 °C og 28 °C i Case 1, Case 2 og Case 3

Emne	Case1		Case 2		Case3	
	27 °C	28 °C	27 °C	28 °C	27 °C	28 °C
Antallet af timer	293	182	696	383	917	503

5.2 Fjernvarmeudgifter

I Tabel 39 ses den nuværende varmeudgift samt besparelsen i varmeudgiften, angivet både for de enkelte tiltag og som en samlet besparelse, hvis alle tiltag gennemføres.

Tabel 39. Nuværende og fremtidig varmeudgift for henholdsvis Case 1, 2 og 3. Ligeledes ses besparelsen i varmeudgiften for de enkelte energioptimeringer

Emne	Case 1	Case 2 Besparelse pr. år inkl. moms	Case 3 Besparelse pr. år inkl. moms
	Kr.	Kr.	Kr.
Varmeudgift	159.816,63		
Besparelse ved efterisolering af tagkonstruktionen.		28.435,-	28.435,-
Besparelse ved udskiftning af vinduer og døre.		7.755,-	7.755,-
Besparelse ved efterisolering af ydervægge.		42.394,-	47.564,-
Besparelse ved brug af et solcelleanlæg.		6.204,-	6.204,-
Besparelse ved brug af et solfanger anlæg.		5.687,-	5.687,-
Besparelser i alt		90.475,-	95.645,-
Fremtidig varmeudgift		69.341,63	64.171,63

5.3 Rentabilitet

I Tabel 40 ses de maximale investeringer som kan foretages i Case 2 og Case 3, både som enkelt investeringer alt efter energitiltag samt en samlet investering, hvis alle tiltag gennemføres.

Tabel 40. Den maximale investeringer som kan foretages i Case 2 og Case 3, både for de enkelte energitiltag samt den samlede maximale investering hvis alle tiltag gennemføres på en rentabel måde iht. BR15.

Emne	Maximal investing inkl. moms Case 2 Se Tabel 17	Maximal investing inkl. moms Case 3 Se Tabel 18
	Kr.	Kr.
Investering ved efterisolering af tagkonstruktionen.	855.188,-	855.188,-
Investering ved udskiftning af vinduer og døre.	174.925,-	174.925,-
Investering ved efterisolering af ydervægge.	1.275.008,-	1.430.496,-
Investering ved brug af et solcelleanlæg.	89.406,-	93.293,-
Investering ved brug af et solvarme anlæg.	85.519,-	85.519,-
Maximale investering ved alle energitiltag i henholdsvis Case 2 og Case 3	2.417.850,-	2.639.421,-

5.3.1 Økonomisk overslag

I Tabel 41 ses et økonomisk overslag, hvis alle tiltag gennemføres. I overslaget er ikke medtaget omkostninger til byggepladsforanstaltninger, bortskaffelse af byggeaffald, lift, stilladsleje, terrænbelægningsarbejde og evt. omlægning af kloak, eventuel genhusning, rådgivning, forsikringer og låneomkostninger.

Tabel 41. Økonomisk overslag for de enkelte tiltag. *100 mm isolering

Emne	Økonomisk overslag inkl. moms
	Kr.
Efterisolering af tagkonstruktionen.	719.925,-
Udskiftning af vinduer og døre.	803.600,-
Efterisolering af ydervægge*.	1.855.925,-
Solcelleanlæg.	100.000,-
Solvarmeanlæg.	175.000,-
Samlet økonomisk overslag	3.654.450,-

5.4 Brugsarealer

I Tabel 42 ses opstillingen af brugsarealerne, som de var oprindelige i Case 1 og efter en efterisolering i Case 2 eller Case 3.

Tabel 42. Sammenstilling af netto brugsarealer i de henholdsvis Case 1, Case 2 og Case 3

Etage plan	Case 1	Case 2	Case 3
	Ca. Nettoareal m ²	Ca. Nettoareal m ²	Ca. Nettoareal m ²
Kælder	282	282	282
Stue	293	286	281
1. sal	293	286	281
2. sal	293	286	281

5.5 HEAT2 simuleringer

I Tabel 43 ses temperaturberegningerne i HEAT2 for de fire forskellige konstruktioner L1, L2, L4 og L5. Konstruktionerne er beregnet for Case 1, 2 og 3.

Tabel 43. Resultater af HEAT2 beregninger af overflade temperaturer, for henholdsvis Case1, 2 og 3.

Punkt	Beskrivelses af målepunkt	Case 1	Case 2	Case 3
		Temperatur °C	Temperatur °C	Temperatur °C
L1.1	Overflade på væggen.	16,0	18,7	19,3
L1.2	Overfladen på væggen, ved overgang til vinduet.	13,6	17,7	17,5
L2.1	Overgang mellem puds og træ-fodliste/gulv.	14,5	16,3	16,9
L2.2	Vægoverflade ud for beton nedstikket. Ca. 50 mm un- der loftet.	16,8	18,0	18,3
L4.1	Vægoverflade ca. 50 mm under etagedækket.	16,7	18,4	18,6
L4.2	Overgang mellem puds og træ-fodliste/gulv.	13,6	17,3	18,3
L4.3	Vægoverflade ca. 200 mm over etagedækket.	15,4	18,8	19,3
L5.1	Vægoverflade ca. 50 mm under etagedækket.	17,0	18,6	18,8
L5.2	Overgang mellem puds og træ-fodliste/gulv.	16,8	18,5	18,8

5.6 WUFI simuleringer

I Tabel 44 ses WUFI Light simuleringerne for de fire forskellige konstruktioner K3, K4, K5 og K6 simuleret i henholdsvis Case 1, 2 og 3. I tabellen er oplystet min. og max. værdier for henholdsvis relativ fugtighed RF% og temperaturer i °C.

Table 44. Results of WUFI Light simulations. In the table are given calculations for min. and max. values for relative humidity in % and temperatures in °C, in all three Cases and for the individual construction's measurement points.

Type	Målepunkt	Case 1				Case 2				Case 3			
		Relativ fugtighed RF %		Temperatur °C		Relativ fugtighed RF %		Temperatur °C		Relativ fugtighed RF %		Temperatur °C	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
K3 Stueplan, 1. og 2. sal. Ydervæg under vinduer, ved altaner og gavlvinduer.	M3.1	92	99	-3	24	96	100	-3	24	97	100	-3	24
	M3.2	92	95	4	22	97	98	-1	22	97	98	-1	22
	M3.3	88	92	11	22	99	99	2	22	97	98	0	21
	M3.4					60	95	10	22	50	95	10	22
K4 Stueplan, 1. og 2. sal. Ydervæg over vinduer	M4.1	94	100	-1	22	96	100	-2	22	96	100	-3	22
	M4.2	96	98	3	22	96	99	-2	21	97	99	-2	21
	M4.3	96	98	5	21	97	99	-1	21	97	99	-2	21
	M4.4					52	90	9	21	50	90	9	21
K5 Stueplan, Ydervæg generelt	M5.1	94	99	-1	23	97	100	-3	23	96	100	-3	23
	M5.2	95	98	5	22	97	99	-1	21	97	99	-2	21
	M5.3	77	86	13	21	97	99	1	21	97	99	0	21
	M5.4					55	95	10	22	55	90	9	21
K6 1. og 2. sal. Ydervæg generelt	M6.1	92	100	-1	24	92	100	-3	24	97	100	-3	24
	M6.2	78	97	3	22	73	87	5	23	82	90	2	23
	M6.3	57	72	13	22	53	73	13	22	64	76	11	21
	M6.4					46	69	16	22	52	71	15	21

6. DISKUSSION

6.1 Formål med energioptimering

Inden for byggeri benyttes ordet bæredygtighed som aldrig før. Det er efterhånden opfattelsen, at hvis blot ordet bæredygtigt indgår i drøftelsen, så er det positivt og påvirker dermed energiforbruget og klimaforandringerne i en positiv retning. Men selve ordet bæredygtigt flytter hverken på energiforbruget eller klimaforandringer, hvis ikke der er handling bag.

Derfor er der på internationalt og nationalt plan drøftet klimaforandringer og tiltag for, at minimerer klimaforandringerne i mange år. Drøftelserne føre indimellem til aftaler, der skal hjælpe til med at begrænse klimaforandringerne. Men omsættes disse aftaler ikke til krav i de enkelte landes lovgivning, bliver det svært at bremse de klimaforandringer som ses i dag, og som beregninger viser vil komme i fremtiden.

Danmark kan alene ikke bremse klimaforandringerne, men kan som videnssamfund bidrage med løsninger som kan hjælpe med til, at nedbringe energiforbruget og dermed bringe os nærmere et ønsket om, senest i 2050, at være uafhængig af fossile brændsler.

Det danske bygningsreglement er siden slutningen af 1970-erne på energisiden blevet skærpet, hvilket har medført, at Danmark i dag har de skrappeste krav til et nybyggeris energibehov. Krav som kan blive svære, at skærpe yderligere, når den nuværende frivillige bygningsklasse 2020 bliver til mindste krav, hvilket formegentligt bliver tilfælde senest i 2020. Det er positivt, at Danmark har så høje krav til nybyggeri, men da nybyggeri i Danmark udgør få procent af den samlede boligmasse, bør der i stedet fokuseres på den eksisterende bygningsmasse. En bygningsmasse, hvis energiforbrug er alt for højt, hvis målet om, at være uafhængig af fossile brændsler i 2050 skal opfyldes.

Bygningsreglementet stiller krav om, at rentabel varmeisolering skal foretages i forbindelse med ombygning og ændringer af bygningsdele. Dog skal ændringer der ikke kan udføres fugtteknisk forsvarligt ikke gennemføres. For at få sat skub i efterisoleringen af den eksisterende bygningsmasse kunne det være, at rentabilitet skulle udgå, og i stedet indfører, at konstruktioner i forbindelse med ombygninger og ændringer skulle opfylde minimums U-værdi krav til ombygning iht. BR15 så længe det er fugtteknisk forsvarligt. Det pålægger bygningsejer nogle udgifter, men som compensation herfor kunne det være, der skulle indføres nogle favorable lånemuligheder eller tilskudsordninger til, at finansierer investeringen. I sidste ende skulle efterisoleringen gerne komme alle til gode, ved hjælp af et mindre CO₂ udslip og dermed et bedre klima.

6.2 Ejendommens historik

Ejendommen som er bearbejdet i rapporten, er en tidstypisk etageejendom opført i efterkrigstiden. Ejendommen er opført i konstruktioner udført efter datidens byggeskik samt i gode gedigne materialer som tegl og beton. Materialer som den dag i dag stadig benyttes i stor udstrækning og som anses for yderst modstandsdygtig over for de klimatiske forhold vi har i Danmark.

Ejendommen har gennemgået en lejlighedssammenlægning i midt 90-erne inkl. en vinduesudskiftning. Ejendommen fungerer som ældreboliger, en boligform hvortil der sættes større og større krav til tilgængelighed og pladsforhold i henholdsvis køkken, bad og soveværelse alt efter plejebehov, beboersammensætning etc. Man kan derfor sætte spørgsmålstegn ved, om en ejendom opført i efterkrigstiden kan blive ved med, at rumme mulighederne for de forandringer der kommer i fremtiden.

Derfor er en tilbagevendende diskussion i byggebranchen også, hvorfor har bygherren ikke valgt at rive ned og bygge nyt? Nybyggeri som er både tidsvarende og energimæssigt i orden.

Men der kan være flere grunde til ikke, at rive den eksisterende ejendom ned, som f.eks.

- Restlån.
- Kan der opføres tilsvarende type boliger. Må der bygges med samme (høje) bebyggelsesprocent.
- Lejlighederne er pt. lette at leje ud, derved er incitamentet hos bygherren til at bygge nyt ikke så stort.
- Den energimæssige gevinst tilkommer lejereren og ikke ejeren, men da ejendommen er let at udleje, hvorfor så investerer en stor sum penge i et nybyggeri.

Der kan som ovenstående viser være flere grunde til, at ejendomme ikke rives ned, og argumenterne vil formegentlig variere, alt efter hvem der ser på ejendommen.

Udover energi, funktion og økonomi kan spørgsmålet om kulturarv og bevaringsværdien af tidstypiske ejendomme også komme i spil.

Vælger ejeren at bevarer ejendommen, bør ejeren overveje hvad der skal til for, at sikre at ejendommen forbliver attraktiv i fremtiden.

6.3 Vurdering af ejendommens energiforbrug

Ejendommen har ifølge beregningerne et energiforbrug på 196,6 kWh/m². Et niveau svarende til det man ser for ældre etageejendomme, som erfaringsmæssigt ligger på ca. 200 kWh/m². Et energiforbrug på 196,6 kWh/m² er væsentligt højere, end tilsvarende nye ejendomme må bruge, hvis det skal opfylde de nyeste krav i BR15.

Energirammen for nærværende ejendom opfyldende de fire energiklasser fremgår af kap. 5 resultater Tabel 35.

Var det så muligt, at nedbringe energiforbruget, til et niveau svarende til en af de fire energiklasser? Svaret er både ja og nej.

Efterisoleringen udført i Case 2 og 3, medfører ikke en reduktion i energibehovet så lavenergi klasse 2015 og bygningsklasse 2020 vil ikke kunne opfyldes.

Derimod opnås der en reduktion i energibehovet, så renoveringsklasse 2's energiramme på 112,8 kWh/m² kan overholdes, også uden brug af VE-kilder. Efterisoleringen fører til et fremtidigt energibehov som angivet i Tabel 45. Iht. Tabel 45, så er behovet for tilført energi reduceret væsentligt mere end de 30 kWh/m² pr. år, som BR15 stiller krav om ved opfyldelse af renoveringsklasserne.

Tabel 45. Henholdsvis reduktionen i energibehovet i Case 2 og 3 uden brug af VE. Derudover ses det fremtidige energibehov for ejendommen, alt efter om ejendommen efterisoleres som Case 2 eller Case 3.

Emne	Case 2	Case3
	Energibehov kWh/m ² pr. år	Energibehov kWh/m ² pr. år
Oprindeligt energibehov	196,6	196,6
Samlet energibesparelse uden VE.	116,6	125,5
Fremtidig energibehov uden brug af VE.	80	71,1

Case 3 vil udover opfyldelsen af renoveringsklasse 2, energimæssigt opfylde renoveringsklasse 1's energiramme på 53,9 kWh/m² pr. år, hvis efterisoleringen kombineres med solceller og solvarme anlæg. Energibehovet vil i så fald være på 53,8 kWh/m² pr.

år. Udover energibehovet stilles der i BR15 en række yderligere krav for opfyldelse af renoveringsklasse 1.

Som i renoveringsklasse 2 skal tilført energi reduceres med minimum 30 kWh/m² pr. år, hvilket efterisoleringen i Case 2 og 3 som tidligere beskrevet opfylder. Et andet krav er til overophedningstimer, hvor der maksimalt tillades 100 timer over 27 °C og 25 timer over 28 °C. Sommerkomfortberegningen i Be15 for Case 3 viser, at der opstår henholdsvis 917 timer over 27 °C og 503 timer over 28 °C, hvilket betyder at temperaturen i ca. 10% af brugstiden er over det tilladelige. Det betyder altså, at bygningsreglementets krav vedr. overophedning ikke kan overholdes. Derudover stilles der i renoveringsklasse 1 yderligere to krav, henholdsvis minimum luftskifte og brugen af VE i energiforsyningen, hvilket er opfyldt Case 2 og 3.

Så ud af de fire energiklasser vil efterisoleringen i Case 2 og 3 alene medfører en opfyldelse af renoveringsklasse 2. Men at ejendommen energimæssigt kan optimeres til opfyldelse af renoveringsklasse 1 er positivt. En energiramme som er lig det der var mindstekravet til nybyggeri BR10, et bygningsreglement som udløb 1. juli 2016 altså mindre end et år siden.

6.4 Rentabilitet

På baggrund af de i Case 2 og 3 opsatte efterisoleringsløsninger, er der regnet på hvor stor en investering der kan tillades hvis investeringen iht. BR15 skal være rentabel. I rapporten er investeringen for hvert enkelt tiltag beregnet, samt den samlede investering hvis alle tiltage gennemføres. Derved får ejeren mulighed for, at indhente tilbud etapevis og stadig bevarer overblikket over, om det enkelte tiltag er rentabel. Overslagsberegningerne viste dog, at efterisolering af tagkonstruktionen var eneste rentable løsning.

Bygningsejeren bør for, at få den rette økonomi at forholde sig til, indhente tilbud fra entreprenører, da det til tider ses meget lave håndværker tilbud. Et billigt tilbud kan betyde, at andre tiltag kan tilføres ekstra penge, og dermed gøre den samlede investering rentabel. Men ud fra de beregnede besparelser og anlægsøkonomien i rapporten, skal det være meget favorable tilbud, hvis økonomien skal hænge sammen uden ekstra investering.

Et regnestykke er investeringen her og nu og om den er rentabel, men når bygnings-ejeren præsenteres for regnestykket, skal ejeren være opmærksom på, at der i regnestykket som bygningsreglementet har opsat, ikke skeles til bygningsdelens drifts- og vedligeholdelsesudgift. Bygningsreglementet giver alle efterisolerede bygningsdele en levetid på 40 år uanset materiale og vedligeholdelses interval. Det kan føre til, at der vælges nogle billigere materiale, som gør løsningen rentabel i udførelsestidspunktet, men formegentligt er dyrere i drift og vedligehold. Så set over en periode på 40 år, bliver løsningen med de billigere materialer måske dyrere, end hvis man havde valgt et dyrere materiale i starten. Det betyder så, at ingen af løsningen er rentabel, hvis drifts-omkostningerne skulle indregnes i bygningsreglementets beregningsmodel.

6.5 Brugsarealer

Den indvendige efterisolering i Case 2 og 3 medfører naturligvis en reduktion i nettoarealet. Efterisoleringen i Case 2 medfører en samlet reduktion på ca. 7 m² pr. etage omregnet til ca. 2 m² pr. lejlighed. Efterisoleringen i Case 3 medfører en reduktion på ca. 12 m² pr. etage svarende til ca. 3 m² pr. lejlighed. Funktionsmæssigt er det generelt ikke ønskeligt, at reducerer brugsarealet. Men som beregningerne viser medfører efterisoleringen en øget overflade temperatur, hvorved rummets yderzoner langs væg-

gene bedre kan udnyttes til møblering og ophold uden, at der opleves trækgener. Derfor er det ikke sikkert, at reduktionen i nettoarealet medfører en oplevelse af, at brugsarealet er blevet reduceret, da alle gulv m² nu bedre kan udnyttes uden, at skulle sidde op af kolde overflader.

6.6 Fugttechniske løsninger baseret på HEAT beregninger

Efterisoleringen af ydervæggene medfører en hurtig forbedring af de indvendige overfladetemperaturer.

Som beskrevet tidligere er beboelsestætheden ukendt, hvorfor ejendommen rent fugttechniske iht. SBI-anvisning 224, tabel 3 er placeret i fugtbelastningsklasse 3. Sammenlignes de beregnede temperaturer, med de kritiske overflade temperaturer i fugtbelastningsklasse 3 i SBI-anvisning 224, tabel 10. Er den kritiske temperatur for kondens svarende til 100 % RF, 11,5 °C, og for skimmelvækst svarende til 75 % RF, 15,9 °C. Det betyder, at flere af de oprindelige overflader på konstruktionerne L1 til L5 har temperaturer, der vil være kritiske hvad angår skimmelvækst, se de røde markeringer i Tabel 46.

Beregningerne viser ligeledes at, efterisoleringen udført i Case 2, hæver temperaturen så alle ligger over de kritiske temperaturer. Efterisoleringen medfører en temperaturstigning på næsten 4 °C i målepunkterne L1.2 og L4.2. Efterisoleringen fører også til en mere ensartet overfladetemperatur, hvor der i Case 1 var 3,5 °C mellem laveste og højeste temperatur, modsat Case 2 og 3 som har et temperaturspænd på henholdsvis 2,5 °C og 2,4 °C.

Tabel 46. Overflade temperaturer beregnet i HEAT2. den røde markering angiver temperaturer som iht. SBI-anvisning 224, tabel 10, vurderes værende kritiske med hensyn til skimmelvækst.

Punkt	Beskrivelses af målepunkt	Case 1	Case 2	Case 3
		Temperatur °C	Temperatur °C	Temperatur °C
L1.1	Overflade på væggen	16,0	18,7	19,3
L1.2	Overfladen på væggen, ved overgang til vinduet.	13,6	17,7	17,5
L2.1	Overgang mellem puds og træ-fodliste/gulv	14,5	16,3	16,9
L2.2	Vægoverflade ud for beton nedstikket. Ca. 50 mm under loftet	16,8	18,0	18,3
L4.1	Vægoverflade ca. 50 mm under etagedækket	16,7	18,4	18,6
L4.2	Overgang mellem puds og træ-fodliste/gulv	13,6	17,3	18,3
L4.3	Vægoverflade ca. 200 mm over etagedækket	15,4	18,8	19,3
L5.1	Vægoverflade ca. 50 mm under etagedækket	17,0	18,6	18,8
L5.2	Overgang mellem puds og træ-fodliste/gulv	16,8	18,5	18,8

6.7 Fugttekniske løsninger baseret på WUFI beregninger

Fugtforholdene blev simuleret for en sydvendt facade, som i de indledende simuleringer viste sig værende den facade, hvor den relative fugtighed blev højest.

Ser man på de fire konstruktioner K3 til K6, så viser simuleringerne, at den relative fugtighed i den eksisterende teglvæg stiger jo mere isolering der indbygges i forsatsvæggen, se målepunkterne sluttende på 1, 2 eller 3, for eksempel M.3.1, i Tabel 44. Langt størstedelen, af simuleringerne resulterer i fugtighedsniveauer over 90 % RF, hvoraf nogle topper ved 100 % RF, altså kondens. Simuleringerne viser at væggene forbliver opfugtet, hvilket i kombination med periode med minustemperaturer, som simuleringerne indikerer kan være tilstede, kan føre til frostspringninger, og dermed mulighed for øget vandindtrængning.

Ser man isoleret på målepunkterne placeret i isoleringslaget i forsatsvæggen, målepunkter som i Tabel 44, slutter på 4, for eksempel M.3.4, så ses her også høje RF værdier.

SBi-anvisninger og BYG-ERFA blade anbefaler, at der ved indvendig efterisolering maksimalt efterisoleres med 100 mm isolering λ 0,037 W/mK, da det fugtteknisk skulle være på den sikre side. Simuleringer i rapporten viser dog, at der i isoleringslaget vil forekomme fugtniveauer op til 95 % RF, se Tabel 47. Niveauer som iht. SBi-anvisning 224, tabel 9, kan være kritiske hvis forholdene optræder over længere perioden og med rette temperaturforhold omkring 20 °C. Usikkerheden ligger i, at de kritiske niveauer i tabellen er for rene materialer. Men da det er byggematerialer vil støv formegentlig være uundgåelig. Den sikre løsning er derfor, at holde RF-værdierne under 75 %. Det betyder at konstruktionen K6 er eneste sikre løsning. En konstruktionsløsning der udover isoleringen i forsatsvæggen også indeholder isolering i hulmuren. Altså en hulmursisolering som benyttes i dag.

Tabel 47. Udklip af Tabel 44, visende aflæsninger for målepunkterne i isoleringslaget.

Type	Målepunkt	Case 2				Case 3			
		Relativ fugtighed RF %		Temperatur °C		Relativ fugtighed RF %		Temperatur °C	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
K3	M3.4	60	95	10	22	50	95	10	22
K4	M4.4	52	90	9	21	50	90	9	21
K5	M5.4	55	95	10	22	55	90	9	21
K6	M6.4	46	69	16	22	52	71	15	21

Hvis man skal vurdere på det mest kritiske materiale i forsatsvæggen, er det gipspladens karton, iht. SBi 224 tabel 9, er 80-85 % RF nok til skimmelvækst på gipskarton, hvis de rette forhold både hvad angår temperatur og RF er tilstede over en længere periode. Vurderet på baggrund af simuleringerne i rapporten vil de forhold være tilstede 15-20 % af tiden. Om 15 - 20 % er nok til at det bliver kritisk, kan være svært at sige. Da tidsintervallet kan variere fra dage til måneder alt efter hvor optimale vækstbetingelserne er.

Sammenlignes tallene ligeledes med tabel 6 i By og Byg Anvisning 204 *Undersøgelse og vurdering af fugt og skimmelsvampe i bygninger*, så vil der ved gipsplader være risiko

for svag vækst når temperaturen ligger mellem 15 – 30 °C og en RF på 85 – 90 %. Så på baggrund af de beregnede værdier sammenholdt med de to anvisninger, så kan risikoen for skimmelvækst ikke udelukkes.

Sammenholder man de simuleringer som er foretaget i nærværende rapport, som indikerer meget høje fugtighedsniveauer, med anbefalingerne fra henholdsvis SBI-anvisninger og BYG-ERFA blade om, at 100 mm indvendig efterisolering er OK. Ville anbefalingerne så være de samme hvis man alene brugte beregningerne i nærværende rapport som vurderings parametre, muligvis ikke. Men hvor i kan forskellen ligge. I WUFI Light simuleringerne tages slagregns påvirkningerne med i beregningerne. Foretages der en beregning af for eksempel konstruktionen K5, en 360 mm massiv teglydervæg efterisoleret som beskrevet i Case 3 og fjerne slagregns påvirkningen så opnås et maximalt relativt fugtighedsniveau på ca. 73% i modsætning til de 90 % RF med slagregns påvirkningen, se Tabel 44. Det vil betyde at konstruktionen er fugtteknisk forsvarlig, hvis der ses bort fra slagregns påvirkning.

Det tyder derfor på, at slagregnen har større indflydelse på klimaskærmen end man regner med.

Så på baggrund af WUFI Light simuleringerne bør man overveje om det er det rigtige valg, at efterisolere indvendig med en traditionel forsatsvæg, selv om SBI-anvisninger og BYG-ERFA blade skriver, at det er OK når konstruktionen udføres håndværksmæssigt korrekt.

6.8 Vurdering af ejendommens fremtid

Ejendommen er som beskrevet tidligere opført senest i år 1955, ejendommen har i så fald været i brug i 62 år. Sammenholdes det med en forventelig levetid beregnet ud fra hjemmesiden www.Levtider.dk, se afsnit 3.2.3. Giver det restlevetider som angivet i Tabel 48.

Tabel 48. Forventede levetider samt rest levetider for tre bygningsdele. Levetiderne er beregnet ved hjælp af Levtider.dk.

Bygningsdel	Indbygnings år	Levetider	Rest levetider
	Ca. årstal	Antal år	Antal år
Tag	1955	55	0
Facader	1955	75	13
Vinduer	1995	55	33

Levetiderne vil altid være et skøn, baseret på erfaringer fra lignede bygningskonstruktioner og materialer. Konstruktionens levetid vil kunne variere, alt efter hvordan og hvor godt en konstruktion er blevet vedligeholdt. Vind, vejr og placering påvirker også en konstruktions levetid. For eksempel vil en konstruktion opført ved den Danske vestkyst, blive udsat for stærkere vinde og saltholdigere luft, end en konstruktion beliggende beskyttet i en Østjysk by eller lignende. De påvirkninger vil højst sandsynligt føre til kortere levetid for konstruktionen ved vestkysten. Men uanset beliggenhed så giver levetidsberegningerne, bygningsejeren et kvalificeret bud på en klimaskærmskonstruktionens funktionsduelighed, hvis den vedligeholdes.

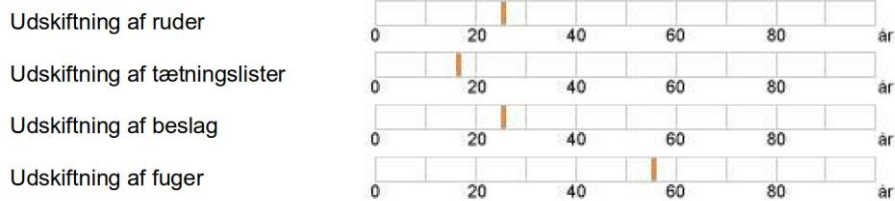
Ser man på de tre konstruktioner enkeltvis, så står taget overfor en snarlig udskiftning. Selve tagstenen vil formegentlig kunne holde længere, men understrykning som er udført for at tætte taget, kan have løsnet sig på grund af diverse storme etc. Hvis understrykningen ikke er intakt, vil indtrængning af vand være svært at undgå, hvilket vil føre til opfugtning af tagkonstruktionen og dermed risiko for skimmelvækst, råd og

svamp angreb som kan medføre svigt i tagkonstruktionen. Ydermere kan det føre til vandskader på loftkonstruktioner. På baggrund af levetiden, må det derfor forventes en snarlig udskiftning af tagbeklædningen og i den forbindelse bør der efterisoleres, uanset om det er rentabelt eller ej.

Restlevetiden for facaden er iht. Tabel 48 begrænset. For selve teglstenen er der set utallige eksempler på en længere levetid end de 75 år. I facaden er det mørtelfugen som er udfordringen, den har en forventelig levetid på ca. 40 år, se Bilag 5. Hvis mørtelfugen holdes intakt, kan følgeskader som øget vandindtrængning i facaden og dermed øget risiko for frostspringninger reduceres. Fugerne bør under alle omstændigheder gennemgås før en indvendig efterisolering, så der opnås en så tæt klimaskærm så muligt, da opfugtning af facaden bør minimeres. Som WUFI Light beregningerne viste, medfører en indvendig efterisolering en yderligere opfugtning af facaden, langt ind i konstruktionen, og den vil ikke blive mindre hvis, klimaskærmen er utæt. Tværtimod, vil den indvendige efterisolering som forventet medfører, at det bliver svære at få varmen indefra ud i facaden, hvilket mindsker udtørringen.

Vinduerne er udskiftet omkring 1995. Iht. www.Levetider.dk's beregninger har et vindue en levetid på 55 år, i løbet af de 55 år skal der ske en udskiftning af flere komponenter for at opnå levetiden, se Figur 36, samt Bilag 5.

DRIFT OG VEDLIGEHOLD



Figur 36. Oplisting af komponenter som skal udskiftes, for at opnå en levetid på 55 år for vinduet.

Inden der påbegyndes en udskiftning af ruder, beslag og tætningslister, bør det overvejes om det er rentabelt, eller om det rent økonomisk bedre kan gå, at udskifte hele vinduet og dermed få et vindue der opfylder nyeste krav. Vælger man derfor, at sætter de tre komponenter som indikator for vinduets levetid, giver det en levetid på 20 – 25 år. Dermed reduceres restlevetiden til maksimalt 3 år, da vinderne er udskiftet i 1995.

6.8.1 Business case og fremtiden.

Inden man som bygningsejer påbegynder en energioptimering som gennemgås i nærværende rapport og deraf en større investering. Bør der overvejes en langt række spørgsmål:

- Medfører energioptimeringen, en fremtidssikker ejendom, som
 - Energimæssigt er fornuftig.
 - Konstruktionsmæssigt er modstandsdygtig over for de fremtidige klimatiske forhold, som på grund af klimaforandringerne vil ændres.
- Er nuværende lejlighedsindretning tidssvarende i fremtiden?
- Holdt op i mod nybyggeri, er ejendommen da attraktiv at bo i, indeklimatekologisk, udgifter til varmekonsum etc.
- Hvordan kan renoveringen finansieres?
 - Vil lejer acceptere en evt. huslejestigninger?
 - Er der mulighed for tilskud til energioptimeringen?

- Er der hensatte midler til f.eks. vedligeholdelse og opsparring til modernisering som kan anvendes i forbindelse med energioptimeringen?

Spørgsmålene kan inddeles i to kategorier, henholdsvis det bygningsmæssige og det økonomiske, men ingen af delene kan stå alene.

- Bygningsmæssig

Bygningen vil uanset, hvor mange af de i rapporten beskrevne tiltag der gennemføres have en alder 60-65 år, hvis man ser bort fra vinduerne. Energimæssigt opnås et rimeligt niveau, men det vil stadig være højere end et nybyggeri. Energoptimeringen vil medføre et bedre indeklima end tidligere, hvad angår overfladetemperaturer, men vil derimod også have mange overophedningstimer. Der er flere positive ting i forhold til det oprindelige byggeri, men ejeren vil ikke stå med et nyt hus, så der må i den nærmeste fremtid, forventes større udgifter til drift og vedligehold end ved et nybyggeri.

Et nybyggeri hvor det er muligt, at indarbejde en hvis fleksibilitet i indretningen, så ejendommens funktionalitet fremtidssikres. Et nybyggeri hvor materialer og konstruktioner må forventes værende, mere robuste over for de klimatiske udfordringer klimaforandringerne vil medføre, end konstruktioner der er opført for ca. 60 år siden.

- Økonomi

Som beregnet og beskrevet tidligere i rapporten, vil de fleste energioptimerings tiltag ikke være rentable. Med udgangspunkt i restlevetiderne, vil der inden for den nærmeste fremtid, skulle foretages investeringer i ejendommen som en naturlig del af driften. En investering som kan kombineres med energioptimeringen. Denne investering kan føre til en huslejestigning, alt efter hvor meget støtte der kan hentes fra Landsbyggefonden og eventuelle opsparring i foreningen.

Huslejestigningen kan føre til, at en lejer ser sig om efter en anden lejlighed. En lejlighed som måske er både nyere og billigere. En huslejestigning kan føre til, at det bliver svære at udleje lejlighederne i fremtiden, da det som beskrevet ovenfor, måske er muligt, at finde noget nyere og mere tidsvarende byggeri til samme husleje. Svigtende udlejning og dermed mindre indtægter, kan fjerne det økonomiske grundlag for hele investeringen i renoveringen, denne økonomiske risiko vil også være tilstede ved et nybyggeri.

Mange spørgsmål, som kræver en yderligere bearbejdning, både tegningsmæssig og økonomisk, og i et samarbejde mellem rådgiver og bygherre. Så det kan belyses om et nybyggeri eventuelt er en bedre forretning.

7. KONKLUSION

Den Danske husholdning bruger i dag ca. 30% af det samlede energiforbrug i Danmark, hvoraf 83 % går til rumopvarmning og varmt vand. Et niveau som skal reduceres hvis målet i 2050 om udfasning af de fossile brændsler skal nås. Derfor blev det i nærværende rapport undersøgt om efterkrigstidens etageboliger opført i perioden 1945- 1955, kunne energioptimeres på en fugtteknisk forsvarlig måde.

Var det så muligt, at opfylde en eller flere af de fire energirammer ved, at optimerer på klimaskærmen?

Både ja og nej. Energiberegningerne viste, at det energimæssigt ville være muligt, at opfylde renoveringsklasse 2 både i Case 2 og 3 uden ekstra tiltag, og renoveringsklasse 1, når efterisoleringen i Case 3 kombineres med VE. Beregningerne viste ligeledes, at det ikke var muligt at opfylde energibehovet til lavenergiklasse 2015 og bygningsklasse 2020, hverken i Case 2 eller 3. Se man på baggrund af det, bort fra lavenergiklasse 2015 og bygningsklasse 2020 og retter fokus på renoveringsklasse 1 og 2. Så stiller BR15 nogle tillægskrav for opfyldelsen af renoveringsklasserne.

Fælles for renoveringsklasserne er, at behovet for tilført energi skal forbedres med minimum 30 kWh/m² pr. år, hvilket kan konkluderes værende opfyldt.

Til renoveringsklasse 1 stilles der derudover krav til VE, ventilation og et maksimalt antal timer over 27 °C og 28 °C (Sommerkomfort). VE og ventilation er opfyldt i de beregninger som er udført. Men hvad angår sommerkomfort, viste beregningerne, at der ca. 10 % af brugstiden vil forekomme temperaturer over det tilladte.

Så hvad angår opfyldelsen af energirammerne er konklusionen, at det alene vil være muligt at opfylde renoveringsklasse 2.

Det er positivt at energibehovet kan reduceres til de niveauer som beregningsresultaterne viser, men er den indvendige efterisolering fugtteknisk forsvarligt?

Ser man på HEAT2 beregningerne, så medføre efterisoleringen en væsentlig højere indvendig overfladetemperaturer, end på de oprindelige konstruktioner der var uden isolering. Ovenikøbet temperaturer som ikke længere befinder sig i risikozonen for dannelse af skimmelvækst og kondens. Med hensyn til overflade temperaturer kan det konkluderes at efterisoleringen medfører en klar forbedring.

Udover HEAT2 beregningerne blev der ved hjælp af WUFI Light, simuleret på fugtforholdende i den eksisterende teglvæg og forsatsvæggen. Beregningerne viste, at den indvendige efterisolering får fugtigheden i teglvæggen til at stige, jo mere isolering der indbygges i forsatsvæggen. Fugtniveauer som i nogle tilfælde rammer 100 % RF. Tydelige indikation på, at væggen har svære ved at tørre ud, da den indefra kommende varme begrænses på grund af efterisoleringen.

Beregningerne viste derudover, at ved tre ud af fire konstruktioner, opnås der fugtighedsniveauer i isoleringslaget i forsatsvæggen på ca. 90 % RF. Et niveau noget over anbefaling på maksimalt 75 % RF, som anses for grænsen mellem det sikre og usikre niveau. Selvom forsatsvæggen består af mindre fugtfølsomme materialer, så medfører en 90 % RF, også for de materialer en risiko for skimmelvækst.

SBI-anvisninger og BYG-ERFA blade anbefaler, at der ved indvendig efterisolering maksimalt indbygges 100 mm isolering i en forsatsvæg, da det vurderes fugtteknisk værende på den sikre side hvad angår fugt. Men hvorfor peaker fugtighedsniveauerne i beregningerne så højt? En enkelt beregning viste, at hvis der se bort fra slagregn i simuleringerne, kommer den relative fugtighed ikke over 75 % RF. Så noget kunne tyde på, at

slagregnen påvirker facaderne og dennes fugtighed mere en man regner med. Med baggrund i WUFI Light simuleringer og de opnåede relative fugtigheds niveauer i nærværende rapport, bør det overvejes om en indvendig efterisolering er det rigtige valg, også selv om man holder sig under der 100 mm isolering.

De i rapporten bearbejdede efterisoleringsløsninger viste sig på nær efterisolering af taget, ikke at være rentable.

Reduktionen i energiudgiften medfører altså ikke, et tilstrækkelig økonomisk råderum til, at energioptimeringen kan gennemføres uden en ekstra investering. En investering som ikke kan betales tilbage over de 40 år ved hjælp af energibesparelser. Endvidere viste levetidsberegningerne, at ejendommen formegentlig stå over for en snarlig renovering af klimaskærmen. Det vil medføre en ekstra investering, som formegentligt føre til en huslejestigning hvis ikke der kan opnås tilskud til projektet fra for eksempel Landsbyggefonden eller opsparinger i ejendommen etc.

Samlet set viser de beregninger og betragtninger der er foretaget i rapporten, at det energimæssigt er muligt, at nedbringe energibehovet. Energireduktionen opnås dog, på bekostning af ikke fugtsikre og ikke rentable løsninger. Løsningerne har ikke medført, en forøget robusthed i forhold klimaforandringer, ej heller forbedret ejendommens funktion i fremtiden.

Så med baggrund i ovenstående, vurderes det, at den i rapporten bearbejdede energioptimeringsløsning, ikke er den rigtige for nærværende ejendom.

8. PERSPEKTIVERING

WUFI Light simuleringerne udarbejdet i rapporten gav nogle overraskende høje relative fugtigheder, også selvom anbefalingerne om maksimalt, at indbygge 100 mm isolering i en indvendig forsatsvæg var fulgt. I nærværende rapport blev to ens vægge simuleret. En væg blev simuleret med slagregnspåvirkning og en uden. Simuleringerne viste vidt forskellige resultater. Væggen uden slagregnspåvirkning kunne holdes under 75 % RF, som anses for at være på den sikre side rent fugtteknisk, modsat væggen med påvirkning af slagregn som endte med ca. 90 % RF. Det kunne derfor være interessant, at få undersøgt slagregnes indflydelse på fugtophobningen i en facadevæg. Har det større indflydelse end man regner med? Ville det i så fald ændre på anbefalingerne omkring indvendig efterisolering, og er der måske materialer som derfor ikke bør benyttes?

Rapporten viste også, at de i rapporten udvalgte efterisoleringsløsninger ikke var rentable. For at give bygningsejeren et endnu bedre beslutningsgrundlag, at tage beslutningen omkring energioptimering ud fra. Burde der udarbejdes en rapport, hvor det skulle undersøges om det var muligt, at udfører en udvendig efterisolering, med samme forudsætninger, som med den indvendig efterisolering, stadig med øje for bygnings udsende. Findes der løsninger så det kan bevares? Vil beregninger som foretaget i nærværende rapport, blot med en udvendig efterisolering, føre til samme konklusion som i nærværende rapport?

For at give det komplette beslutningsgrundlag, kunne det være interessant at undersøge, hvad det ville koste at rive den eksisterende ejendom ned og bygge nyt, hvordan ville denne Business case se ud i forhold til energirenoveringen. I den forbindelse skal drift og vedlige holdses udgiften indregnes, både for nybyggeriet og den energirenoverede etageejendom, så bygningsejer får det fulde overblik over økonomien i bygningens levetid.

9. LITTERATURLISTE

Litteratur, der er henvist til i rapporten. Enten via fodnoter eller ved angivelse af navn og nr. på anvisningen, reglement etc.

SBI-anvisninger
SBI-anvisning 213, Bygningers energibehov. 3. udgave. Forfatter, Søren Aggerholm, Karl Grau. Statens Byggeforskningsinstitut-Aalborg Universitet. (2014).
SBI-anvisning 221, Efterisolering af etageboliger. 1. udgave. Forfatter, Jørgen Munch-Andersen. Statens Byggeforskningsinstitut-Aalborg Universitet. (2008).
SBI-anvisning 224, Fugt i bygninger. 2. udgave. Forfatter, Erik Brandt m.fl. Statens Byggeforskningsinstitut-Aalborg Universitet. (2013).
SBI-anvisning 240, Efterisolering af småhuse – byggetekniske løsninger. 1. udgave. Forfatter, Eva B. Møller. Statens Byggeforskningsinstitut-Aalborg Universitet. (2012).
By og Byg Anvisning 204, Undersøgelse og vurdering af fugt og skimmelsvampe i bygninger. 1. udgave. Forfatter, Ole Valbjørn. By og Byg Statens Byggeforskningsinstitut. (2003)
BYG-ERFA erfaringsblade
Energi og indeklimaforbedringer – ældre etageboliger BYG-ERFA erfaringsblad nr. (99) 081228. Forfattere Tove Lading, Jørgen Munch-Andersen. BYG-ERFA, 2750 Ballerup
Indvendig efterisolering – ældre ydervægge af murværk BYG-ERFA erfaringsblad nr. (31) 151115, Forfattere Georg Christensen, Anne Pia Koch, Eva B. Møller. BYG-ERFA, 2750 Ballerup
Øvrig litteratur
Fremtidige klimaforandringer i Danmark , Danmarks Klimacenter rapport nr. 6 2014. Forfattere Martin Olesen, Kristine Skovgaard Madsen, Carsten Ankjær Ludwigsen, Fredrik Boberg, Tina Christensen, John Cappelen, Ole Bøssing Christensen, Katrine Krogh Andersen, Jens Hesselbjerg Christensen. Danmarks Meteorologiske Institut
Nøglen til et omkostningseffektivt og bæredygtigt energisystem. 2. udgave. Forfatter Brian Vad Mathiesen, David Drysdale, Henrik Lund, Susana Paardekooper, Iva Ridjan, David Connolly Jakob Zinck Thellufsen Jens Stissing Jensen. Institut for Planlægning Aalborg Universitet (2016)
DANMARKS ENERGI- OG KLIMAFREMSKRIVNING 2015. Udgivet af Energistyrelsen. December 2015.
Håndbog for energikonsulenter 2016 (HB2016). Energistyrelsen 15. december 2015
Statistisk årbog 2016. Redaktion, Ulla Agerskov, Margrethe Pihl Bisgaard og Pia Dyrby Poulin. Danmarks Statistik, Juni 2016, 120. årgang
Håndbog for energikonsulenter Version 2012, flerfamiliehuse Oplyst forbrug - 2012. Udgivet 1. juli 2012
Byggelovgivning
Byggelov af 29. marts 1939. Forfatter Eyvind Sivertsen. Københavns Kommunalbestyrelse.

Bygningsreglement for købstæderne og landet af 1. marts 1961. Boligministeriet.
BR95 , Bygningsreglementet 1995, Bygningsreglement for erhvervs- og etagebyggeri. Bygge- og Boligstyrelsen.
BR15 , Bygningsreglementet 2015. Trafik- Bygge og Boligstyrelsen
Danske Standarder
DS 418 - Beregning af bygningers varmetab , 7. udgave 2011. DANSK STANDARD, DK-2920 Charlottenlund.
DS 469 – Varme- og køleanlæg i bygninger , 2. udgave 2013. DANSK STANDARD, DK-2920 Charlottenlund.
Hjemmesider / Artikler
https://ens.dk/ansvarsomraader/energi-klimapolitik/fakta-om-dansk-energi-klimapolitik/dansk-energi-politik
http://old.efkm.dk/energi-forsynings-klimapolitik/eus-klima-energi-politik
http://www.climateminds.dk
Artiklen " Verdens mest ambitiøse energipolitik " 22. marts 2012 af Gustav Bech
http://www.knauf.dk/prof/arkitekt.html
https://www.isover.dk/
http://www.volundvt.dk/Documents/volund/Dimensionering_VVB.pdf
https://www.jackon.dk
http://energivinduer.dk/certifikatet/
http://www.folkecenter.dk/dk/rd/solenergi/solvarme/solfanger/
http://fjernvarmehorsens.dk/
http://www.raw-products.info/index_dk.htm
https://da.wikipedia.org/wiki/Specifik_varmeledningsevne
http://bygningsreglementet.dk/
https://ens.dk/

10. BILAG

INDHOLD

Bilag 1, U-VÆRDIKRAV FRA 1961-2015

Bilag 2, TEGNINGER

Bilag 3, U-VÆRDIER OG LINJETAB

Bilag 4, AREAL OPMÅLING

Bilag 5, LEVETIDSBEREGNINGER IHT. WWW.LEVETIDER.DK

Bilag 6, VARMEAFGIVELSE PR. M RØR EKSISTERENDE RØR

Bilag 7, CASE 1, WUFI SIMULERINGER AF EKSISTERENDE KONSTRUKTIONER K4 - K6.

Bilag 8, CASE 2, WUFI SIMULERINGER AF DE MED 50 MM ISOLERING EFTERISOLREDE
KONSTRUKTIONER K3 - K6.

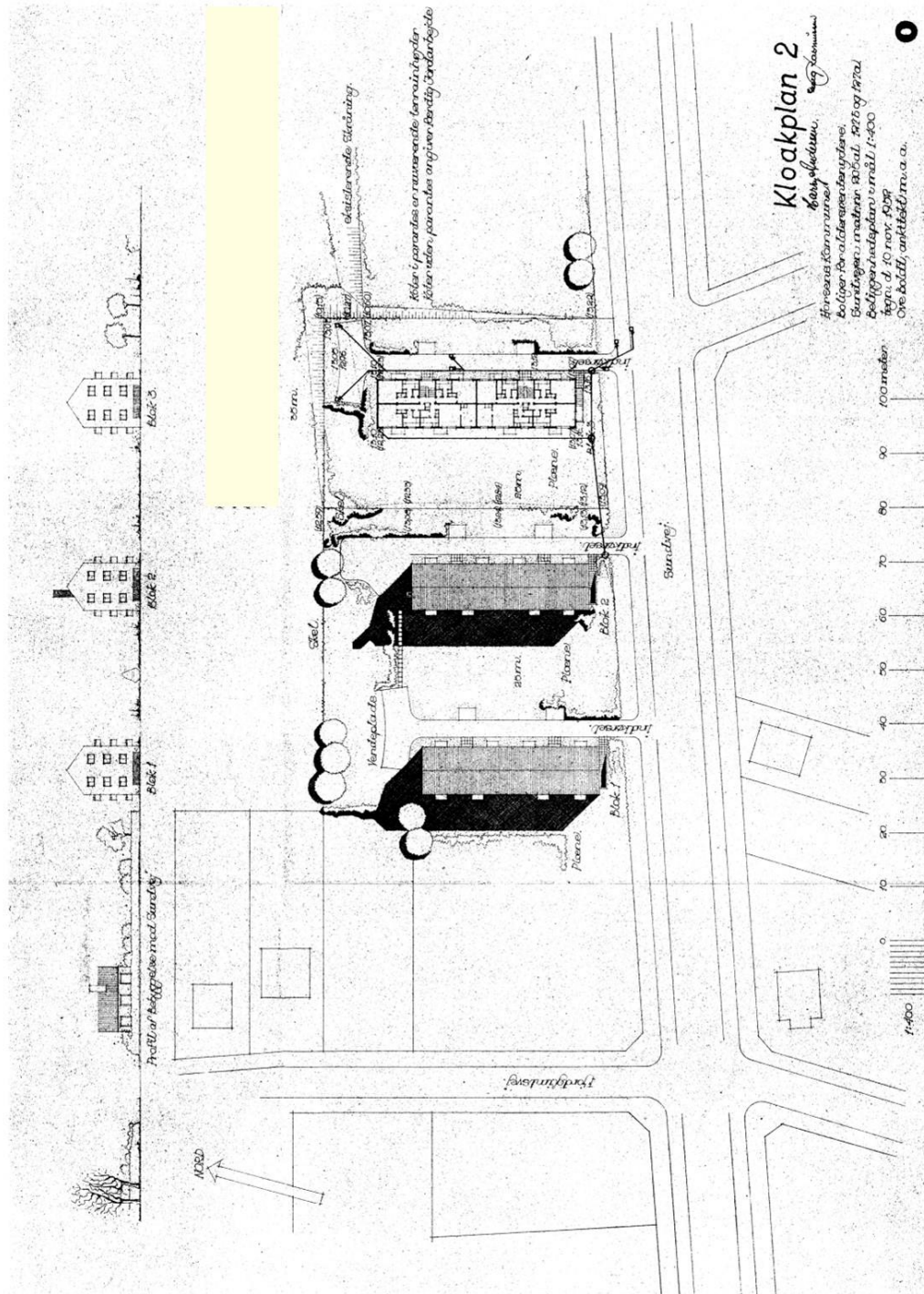
Bilag 9, CASE 3, WUFI SIMULERINGER AF DE MED 100 MM ISOLERING EFTERISOLREDE
KONSTRUKTIONER K3 - K6.

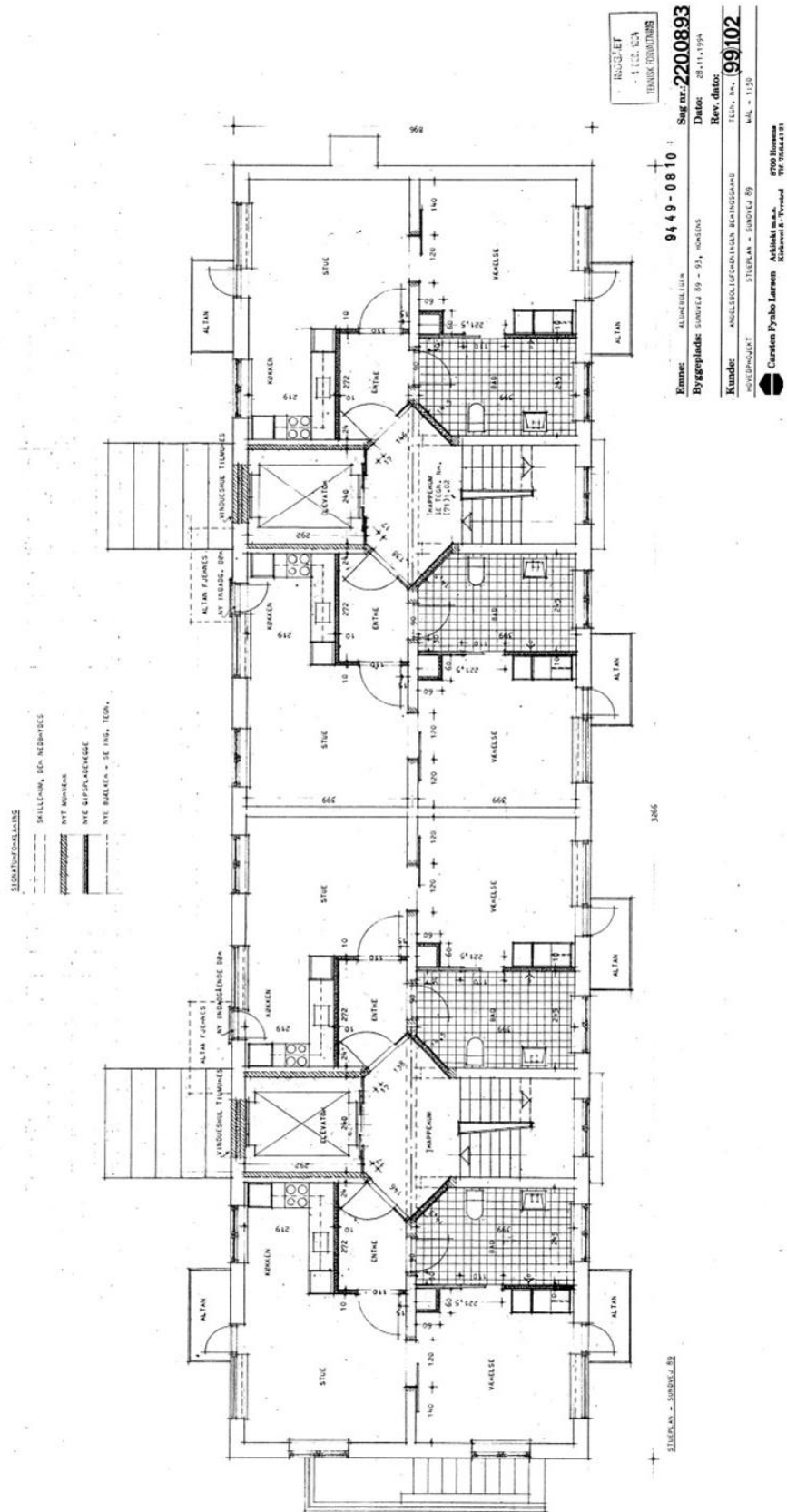
Bilag 1, U-VÆRDIKRAV FRA 1961-2015

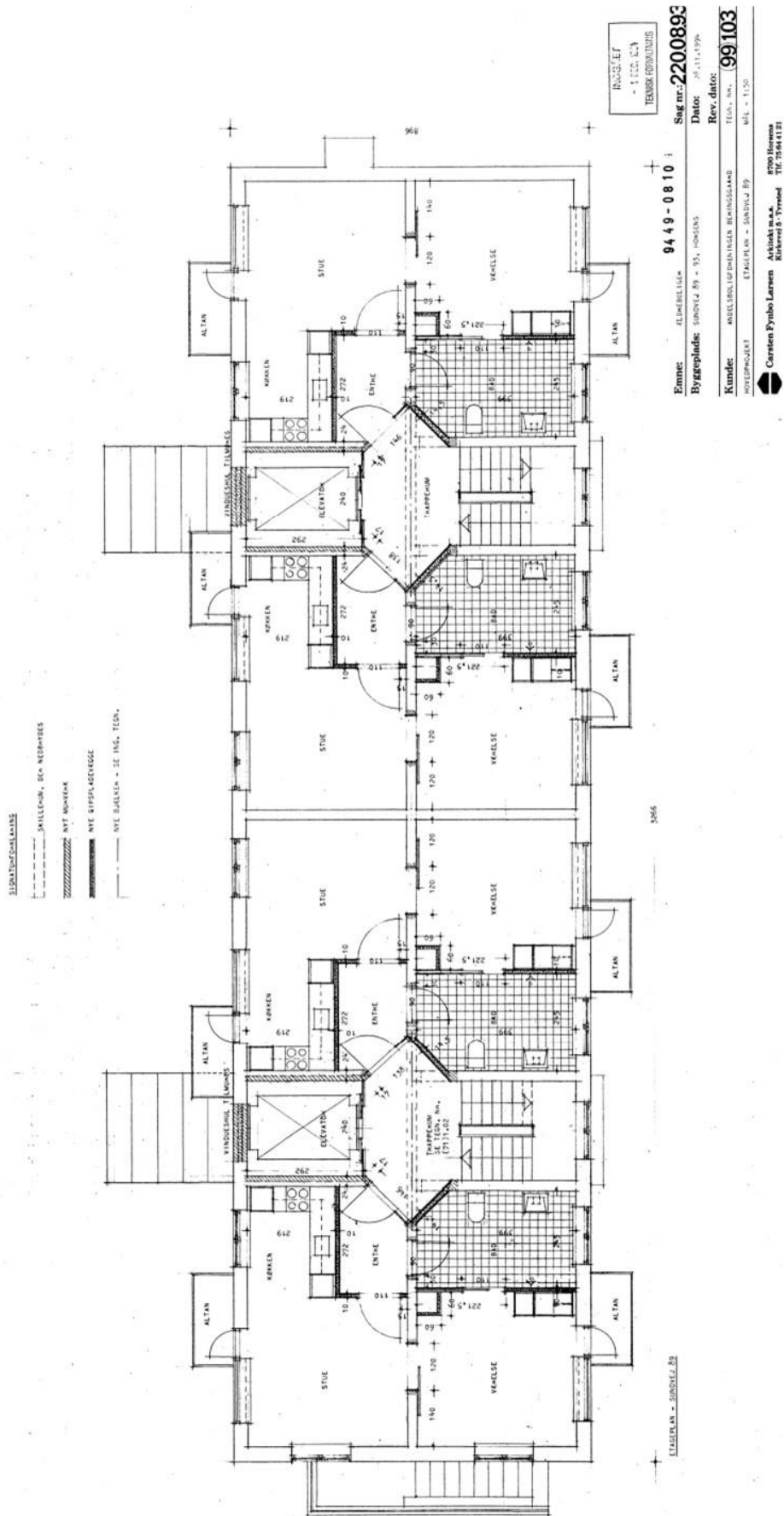
Bygningsdele	BR61	BR67	BR72	BR77 indtil 1.2-79	BR77 fra 1.2-79	BR82	BR95	BR08	BR10	BR15	BR15 krav ved ombygning
Ydervæg > 100 kg./m ² + mod jord	1,1	1,1	1	1	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,18
Ydervæg < 100 kg/m ²	0,5	0,5	0,6	0,6	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3	0,18
Kælderydervæg	-	-	-	-	-	-	0,3	0,4	0,3	0,3	0,18
Skillevæg - uopv. rum	1,7	1,7	2	2	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
Terrændæk	0,4	0,4	0,45	0,45	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1
Terrændæk mv. med gulvvarme	-	-	-	-	-	-	0,15	0,3	0,2	0,2	0,1
Gulve mod ventilerede kryberum	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1
Etageadskillelser over/mod det fri	0,4	0,4	-	-	0,45	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1
Etageadskillelse mod uopvarmet rum	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,1
Loft- og tagkonstruktion	0,4	0,4	0,45	0,45	0,2	0,2	0,15	0,25	0,2	0,2	0,12
Flade tage / skrånede vægge	0,4	0,4	-	-	-	-	0,2	0,25	0,2	0,2	0,12
Yderdør, port og lem	-	-	-	-	2	2	1,8	2	1,8	1,8* 1,5** 1,4***	1,8 ¹ 1,4 ²
Vinduer mm.	-	-	3,6	3,6	2,9	2,9	1,8	2	1,8	-17**** kWh/ m ²	-17**** kWh/ m ²

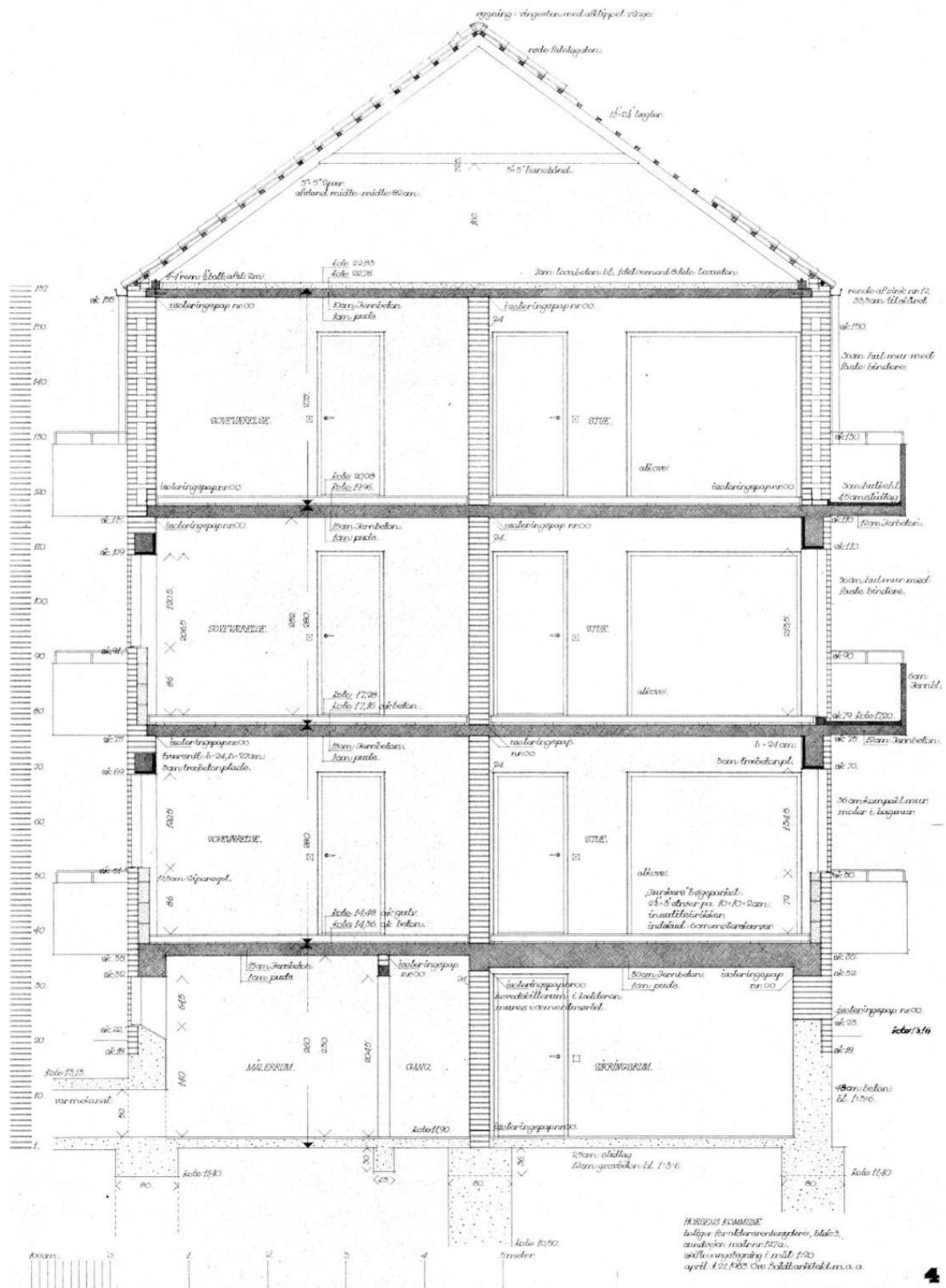
*krav til port og lem. ** krav til yderdøre med glas. *** krav til yderdør uden glas. ****U-værdikravet til vinduer ændres til Energi-tilskud (E-ref) et udtryk for vinduets varmetilskud, 1 porte, 2 Lemme, nye forsatsvinduer og ovenlyskupler

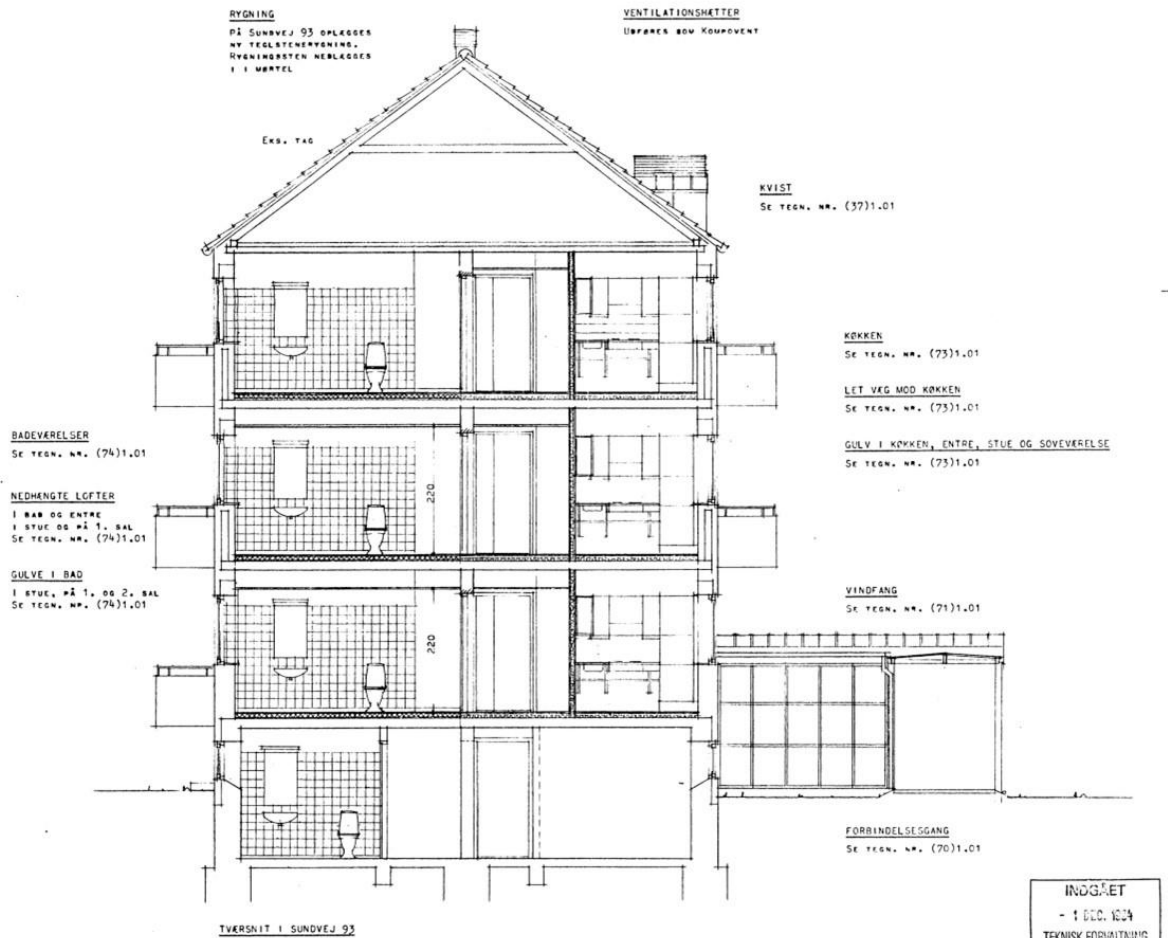
Bilag 2, TEGNINGER











SUNDVEJ 89 OG 91 ER I PRINCIPPET
IDENTISKE MED 93

94 49 - 08 10 :

Sag nr.: **2200893**

Emne: ALDREBOLIGTÆ

Byggeplads: SUNDVEJ 89 - 93, HORSENS

Dato: 28.11.1994

Kunde: ANDELSBOLIGFORENINGEN BERINGSGAARD

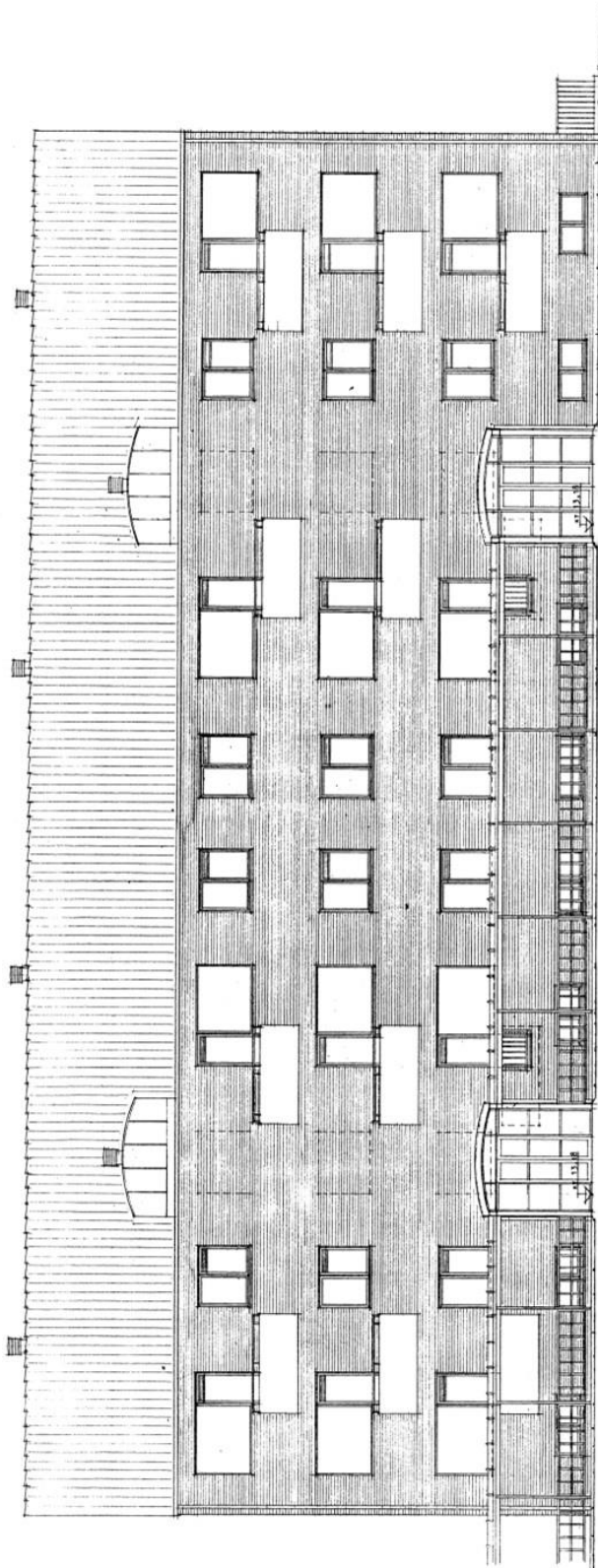
Rev. dato:

TEGN. NR. **(99)110**

HØVFORPROJEKT TVÆRSNIT I SUNDVEJ 93

MÅL - 1:50

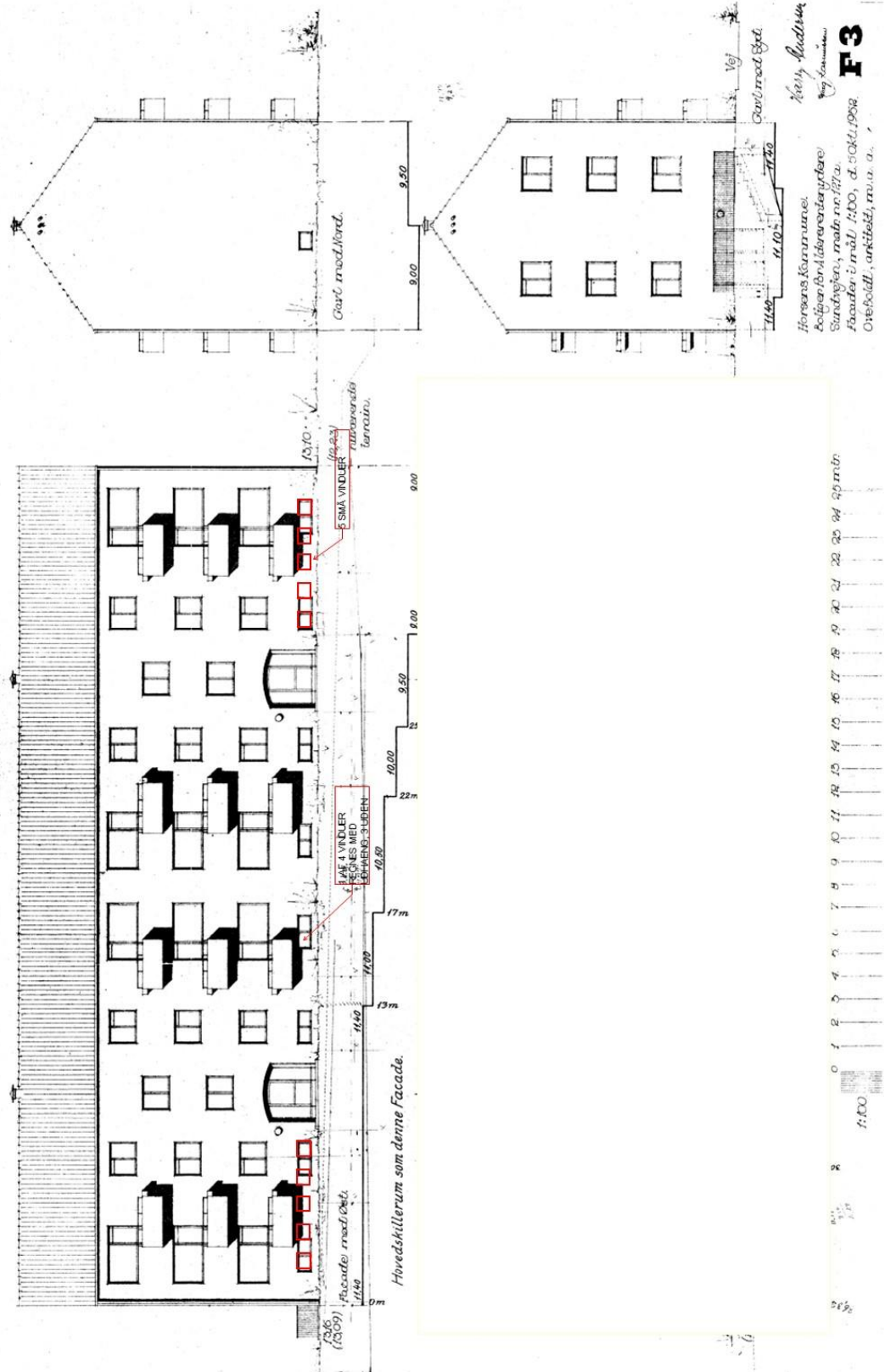
Carsten Fynbo Larsen Arkitekt m.a.s. 8700 Horsens
Kirkevej 5 - Tyrsted Tlf. 75 64 41 21



FACSE, MOD VEST - SØRSTJ. 31

PI FACSE MOD VEST - SØRSTJ. 31 UDPRÆG I ÅRE FØRINDRELSER - ELLERS DE FACSENE IDENTIFIK.
PI FACSE MOD VEST - SØRSTJ. 31 FØRINDRELSER OG, DE LINDRE, DE HELL PRINCPEN DE LINDRE.
ALLE FACSENE MOD VEST KØBES I ÅRE.

INDSEET
- 1.1.1.1.1.1.
TILBUD FORBUDS
Bane: ALMINDLIG
Byggeplads: SØRSTJ. 31 - 31, HEDENS
9449-0810
Sag nr. 2200893
Dato: 2014/11/19



Bilag 3, U-VÆRDIER OG LINJETAB

U-værdier Case 1, 2 og 3

Type	CASE 1	CASE 2	CASE 3
	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K
K1 Kælderydervæg	0,96	0,21	0,21
K2 Kælderydervæg	1,22	0,39	0,24
K3 Stueplan, 1. og 2. sal. Ydervæg under vinduer, ved altaner og gavlvinduer.	0,86	0,41	0,23
K4 Stueplan, 1. og 2. sal. Ydervæg over vinduer	1,25	0,54	0,27
K5 Stueplan, Ydervæg generelt	1,49	0,53	0,24
K6 1. og 2. sal. Ydervæg generelt	1,62	0,37	0,22
K7 Terrændæk kælder	0,57	0,57	0,57
K8 Loftskonstruktion	1,62	0,06	0,06

Linjetab CASE 1, 2 og 3

Type	CASE 1	CASE 2	CASE 3
	W/mK	W/mK	W/mK
L1 Sammenbygning mellem vinduer/døre og ydervæg	0,13	0,1	0,1
L2 Sammenbygninger mellem altan og ydervæg	0,64	0,51	0,48
L3 Kælder ydervægsfundamenter	0,36*	0,36*	0,36*
L4 Linjetab ved etageadskillelser og ydervæg ekskl. altaner, Kælder/stue	0,1	0,36	0,4
L5 Linjetab ved etageadskillelser og ydervæg ekskl. altaner. Stue/1. sal og 1./2. sal.	0,29	0,33	0,34

*L3 se tabel 6.13.7a hævet ca. 30 cm over betonfundament

Bilag 4, AREAL OPMÅLING

Facadearealer inklusiv vindues og dør huller			
	Etagehøjde l _m	Længde l _m	I alt m ²
Kælderplan	2,6	90,56	235,5
Stueplan	2,8	90,56	253,6
1. sal	2,8	90,56	253,6
2. sal	2,75	90,56	249,0

Vindue og dør arealer							
		Højde l _m	Bredde l _m	areal m ²	Antal stk.	I alt m ²	Bemærkninger
Kælderplan							
	Type V1	0,65	0,65	0,4	12	5,0	Alm. Lille Vindue
	Type V2	0,65	1,45	0,9	12	11,2	Alm. Stort Vindue
	Type V3	2,14	2,7	5,8	2	11,5	dørparti med sideglas
	Type V4	2,14	1,45	3,1	2	6,2	Elevatordør
	Type V5	2,14	1,01	2,2	2	4,3	Kælderadgang
I alt						38,3	
Stueplan							
	Type V6	1,21	1,45	1,7	10	17,5	oplukkeligt vindue
	Type V7	1,35	1,65	2,2	8	17,8	Fast vindue ved altaner
	Type V8	2,14	0,88	1,9	8	15,0	Terrassedør
I alt						50,3	
1. sal							
	Type V6	1,21	1,45	1,7	12	21,0	oplukkeligt vindue
	Type V7	1,35	1,65	2,2	8	17,8	Fast vindue ved altaner
	Type V8	2,14	0,88	1,9	8	15,0	Terrassedør
I alt						53,8	
2. sal							
	Type V6	1,21	1,45	1,7	12	21,0	oplukkeligt vindue
	Type V7	1,35	1,65	2,2	8	17,8	Fast vindue ved altaner
	Type V8	2,14	0,88	1,9	8	15,0	Terrassedør
I alt					112	53,8	

Facadearealer eksklusiv vindue og dør huller			
	Facade i alt m ²	Vinduer og døre i alt m ²	Facade excl. vinduer og døre i alt m ²
Kælderplan	235,5	38,3	197,2
Stueplan	253,6	50,3	203,3
1. sal	253,6	53,8	199,8
2. sal	249,0	53,8	195,3

Facadearealer fordelt på typer og etager			
Etage	Type	Facade varianter m ²	Bemærkninger
Kælderplan			
	Type K1	131,4	Massiv Beton
	Type K2	65,7	Massiv Tegl
Facade i alt		197,2	
Stueplan			
	Type K3	14	Tegl + siporex
	Type K4	10	Tegl + beton over vinduer
	Type K5	178,6	Massiv tegl
Facade i alt		203,3	
1. sal			
	Type K3	17	Tegl + siporex
	Type K4	11	Tegl + beton over vinduer
	Type K6	172,0	Hulmur i tegl
Facade i alt		199,8	
2. sal			
	Type K3	17	Tegl + siporex
	Type K4	11	Tegl + beton over vinduer
	Type K6	167,4	Hulmur i tegl
Facade i alt		195,3	

Etagearealer				
	Type	Bredde l _{bm}	Længde l _{bm}	Arealer m ²
Loftareal	K8	8,96	36,32	325
Terrændæk	K7	8	35,36	283
Samlet Eta-geareal	Stue, 1. sal og 2.sal			976

Linjetab L1		Omkreds vinduer og døre				
Etage	Type	Højde lbm	Bredde lbm	Antal stk.	Omkreds lbm	Bemærkninger
Kælderplan						
	Type V1	0,65	0,65	12	31,1	Alm. Lille Vindue
	Type V2	0,65	1,45	14	58,7	Alm. Stort Vindue
	Type V3	2,14	2,7	2	19,3	dørparti med sideglas
	Type V4	2,14	1,45	2	14,3	Elevatordør
	Type V5	2,14	1,01	2	12,6	Kælderdoor
I alt					136,0	
Stueplan						
	Type V6	1,35	1,45	10	55,9	Oplukkeligt vindue
	Type V7	1,21	1,65	8	45,7	Fast vindue ved altaner
	Type V8	2,14	0,88	8	48,2	Terrassedør
I alt					149,8	
1. sal						
	Type V6	1,35	1,45	12	67,1	Oplukkeligt vindue
	Type V7	1,21	1,65	8	45,7	Fast vindue ved altaner
	Type V8	2,14	0,88	8	48,2	Terrassedør
I alt					161,0	
2. sal						
	Type V6	1,35	1,45	12	67,1	Oplukkeligt vindue
	Type V7	1,21	1,65	8	45,7	Fast vindue ved altaner
	Type V8	2,14	0,88	8	48,2	Terrassedør
I alt					161,0	

Linjetab L2		Linjetab ved sammenbygning mellem altan og ydervæg		
Etage	Længde lbm	Antal stk.	I alt m ²	
Stueplan	2,3	6	13,8	
1. sal	2,3	8	18,4	
2. sal	2,3	8	18,4	
I alt			50,6	

Linjetab L3		Linjetab ydervægsfundament		
	Bredde lbm	Længde lbm	I alt lbm	
	8,96	36,32	91	

Linjetab L4		Linjetab ved etageadskillelser og ydervæg excl. altaner		
	Bredde lbm	Længde lbm	I alt lbm	
Kælder/stue	8,96	36,32	77	

Linjetab L5	Linjetab ved etageadskillelser og ydervæg excl. altaner			
	Bredde lbm	Længde lbm	Antal stk	I alt lbm
Stue/1.sal og 1.sal/2.sal	8,96	36,32	2	144

Bilag 5, LEVETIDSBEREGNINGER IHT. WWW.LEVETIDER.DK

Facader

Resultat

.....

FACADE

RAPPORT

4/14/2017

LEVETID ?

a) Massiv muret ydervæg



DRIFT OG VEDLIGEHOLD ?

Mørtelfuger



SIKKERHED OG DRIFTSINDSATS ? minimal optimal

VALG ?

Type

Materiale

Murværk

Facadetype

a) Massiv muret ydervæg

Overflade

a) Blank mur

Forudsætninger

Tagudhæng

Mindre end 0,2 m

Bygningsfremspring

God vandafledning

Etager

2-3

Orientering

Nordvest til sydøst

Terrænklasse

IV: Bymæssig bebyggelse

BEREGNINGSGRUNDLAG

REFERENCELEVETID ?

a) Massiv muret ydervæg



FAKTORER ?

Type

Valg

Faktor

Overflade

a) Blank mur

1.00

Forudsætninger

Valg

Faktor

Tagudhæng

Mindre end 0,2 m

0.50

Bygningsfremspring

God vandafledning

1.00

Etager

2-3

1.00

Orientering

Nordvest til sydøst

1.00

Terrænklasse

IV: Bymæssig bebyggelse

0.95

.....
www.levetider.dk

Tagkonstruktion

Resultat

TAG RAPPORT 4/14/2017

LEVETID ?

a1) Vinge, lille overlæg



DRIFT OG VEDLIGEHOLD ?

Zinkinddækninger



Taglægger



SIKKERHED OG DRIFTSINDSATS ? minimal optimal

VALG ?

Type

Tagmateriale	Tegl
Tagdækning	a1) Vinge, lille overlæg
Undertag	a) Ingen undertag
Isoleringsprofil	a) Vandret over gulv

Forudsætninger

Etager	2-3
Rumtype	Ej udnytteligt (ikke beboet)
Taghældning	Mellem 25 og 34 gr.
Terrænklasse	IV: Bymæssig bebyggelse

BEREGNINGSGRUNDLAG

REFERENCELEVETID ?

a1) Vinge, lille overlæg



FAKTORER ?

Type	Valg	Faktor
Forudsætninger	Valg	Faktor
Etager	2-3	1.00
Taghældning	Mellem 25 og 34 gr.	0.55
Terrænklasse	IV: Bymæssig bebyggelse	1.00

www.levetider.dk

Vinduer

Resultat

.....

VINDUER

RAPPORT

4/14/2017

LEVETID ?

Træ/alu



DRIFT OG VEDLIGEHOLD ?

Udskiftning af ruder



Udskiftning af tætningslister



Udskiftning af beslag



Udskiftning af fuger



SIKKERHED OG DRIFTSINDSATS ? minimal optimal

VALG ?

Type

Vinduesmateriale

Træ/alu

Fuge

c) Fugestrimmel - skjult

Beslag

a) Traditionelle beslag

Forudsætninger

Elager

2-3

Orientering

Nordvest til sydøst

Placeringsdybde

Mindre beskyttet

Rumtype

Opholdsrum

Terrænklasse

IV: Bymæssig bebyggelse

BEREGNINGSGRUNDLAG

REFERENCELEVETID ?

Træ/alu



FAKTORER ?

Type

Valg

Faktor

Forudsætninger

Valg

Faktor

Elager

2-3

1.00

Orientering

Nordvest til sydøst

1.00

Placeringsdybde

Mindre beskyttet

1.00

Rumtype

Opholdsrum

1.00

Terrænklasse

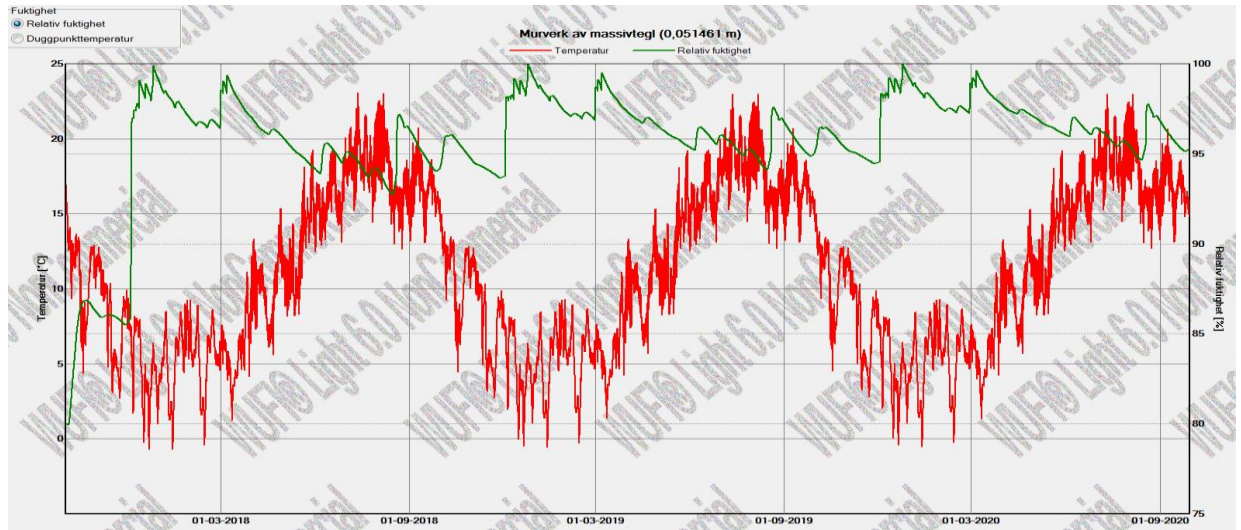
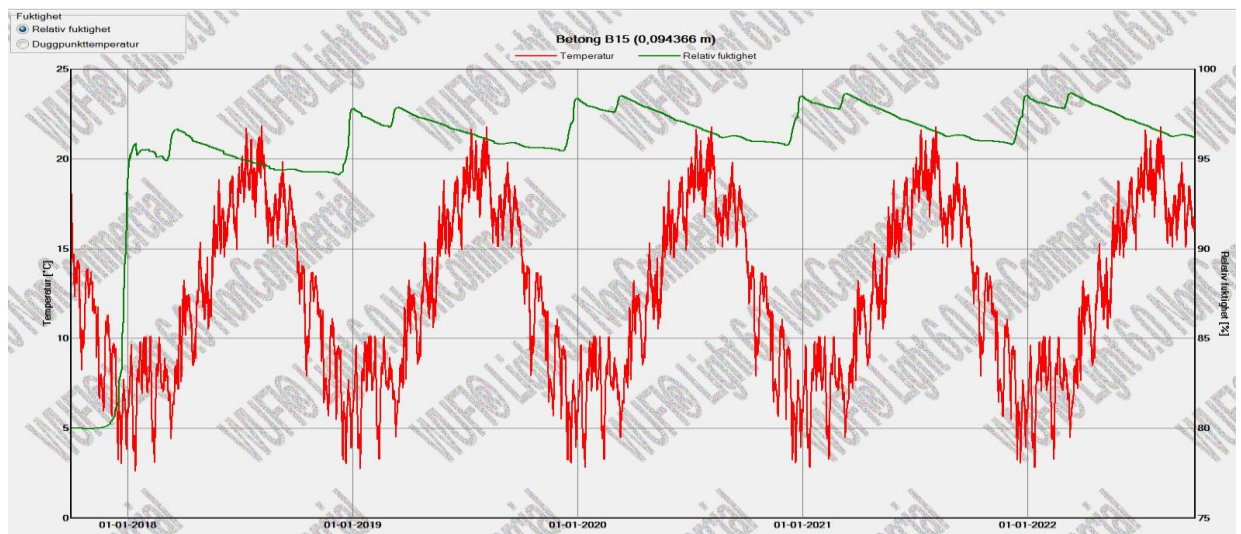
IV: Bymæssig bebyggelse

0.95

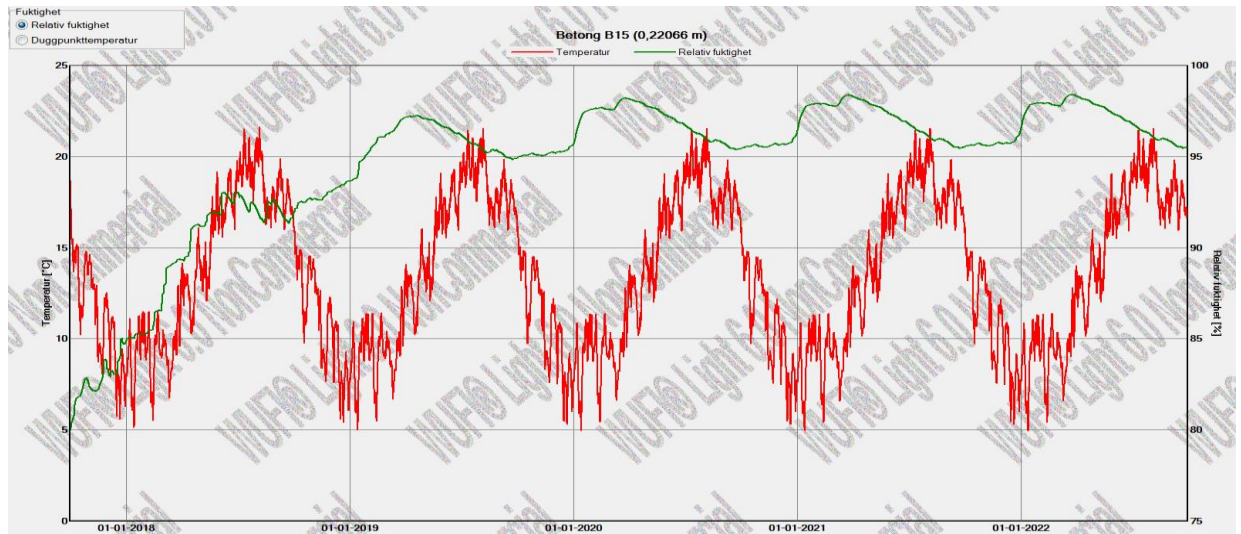
.....
www.levetider.dk

Bilag 6, VARMEAFGIVELSE PR. M RØR EKSISTERENDE RØR

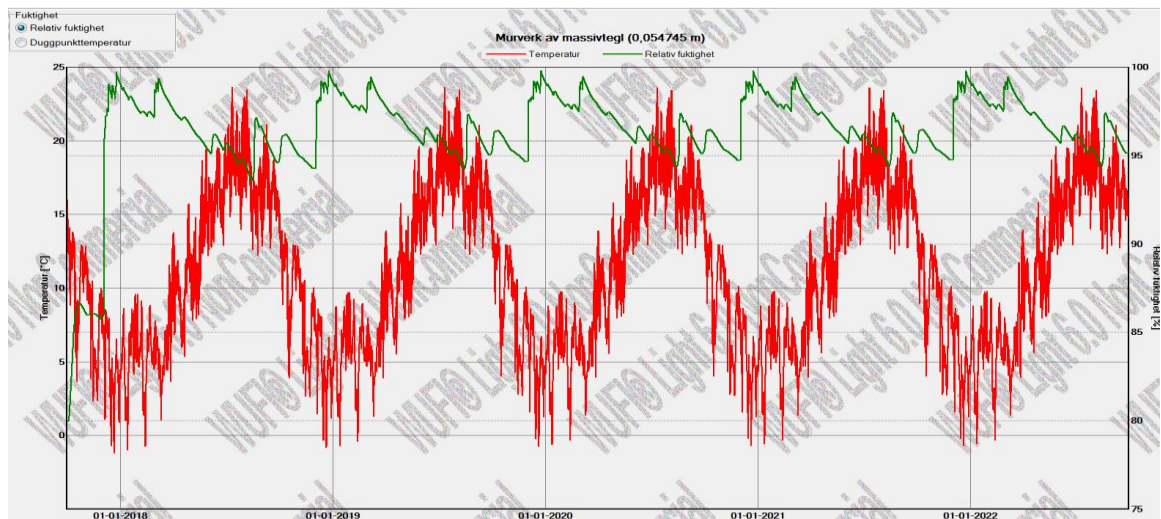
		Beregning af rørs varmeafgivelse og isolering	
		Sag: Blok 1	Sag nr.: <input type="text"/>
		Emne: Eksisterende rør	
		Beregnet af: Morten Hansen	Dato: 01.06.2017
		Kontrol af:	Side: 1 af 1
Isoleringsmaterialets overfalde	<input type="radio"/> Ikke-spejlende overflade <input checked="" type="radio"/> Metallisk blank overflade	Rørets indvendige diameter	d = <input type="text" value="44,5"/> mm
Rørets Orientering	Vandret rør	Rørets udvendige diameter	D = <input type="text" value="48,3"/> mm
$T_{sp}^1 - T_o^2$	Ukendt (middelværdi)	Isoleringens udvendige diameter	D _i = <input type="text" value="90"/> mm
Rørmateriale	Støbejern	Rørmaterialets varmeledningsevne	$\lambda_r = 80$ W/(m ² °C)
Isoleringsmateriale	Firoflex	Isoleringsmaterialets varmeledningsevne	$\lambda_i = 0,037$ W/(m ² °C)
		Den udvendige varmeovergangskoefficient	h = 5,0 W/(m ² °C)
		Varmetransmissionskoefficienten	$U_1 = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda_r \cdot \ln \frac{D}{d}} + \frac{1}{2\lambda_i \cdot \ln \frac{D_i}{D}} + \frac{1}{h \cdot D_i}}$ U ₁ = <input type="text" value="0,30"/> W/(m ² °C)
1) Temperaturen på Isoleringens overflade 2) Omgivelsernes temperatur			

Bilag 7, CASE 1, WUFI SIMULERINGER AF EKSISTERENDE KONSTRUKTIONER K4 - K6.Simulering konstruktion **K4** målepunkt M4.1Simulering konstruktion **K4** målepunkt M4.2

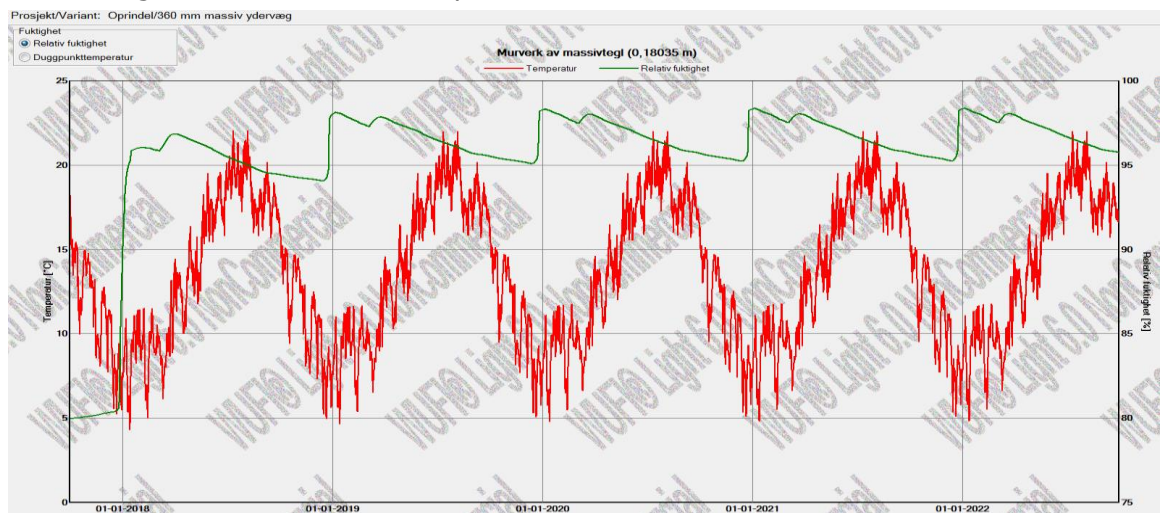
Simulering konstruktion **K4** målepunkt M4.3



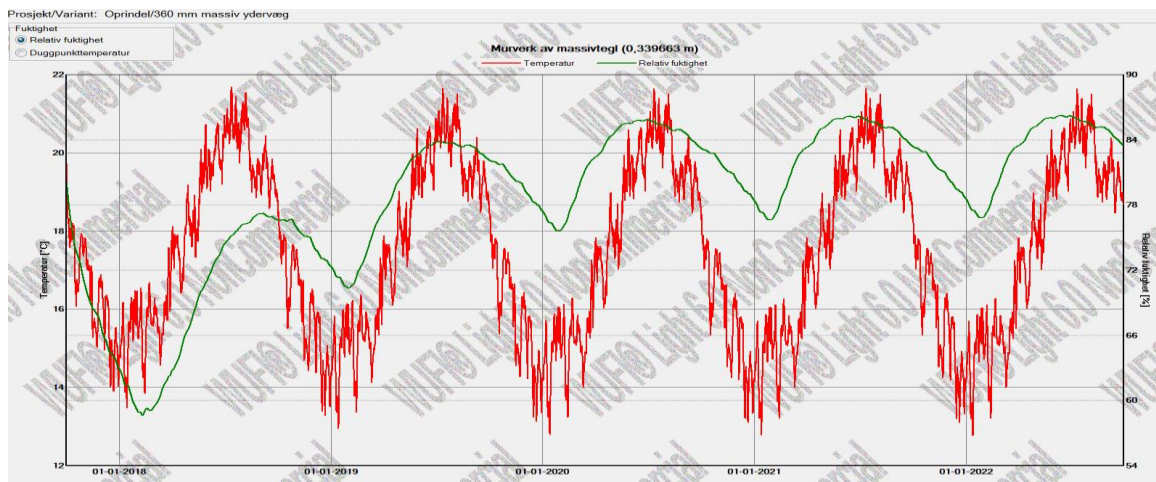
Simulering konstruktion **K5** målepunkt M5.1



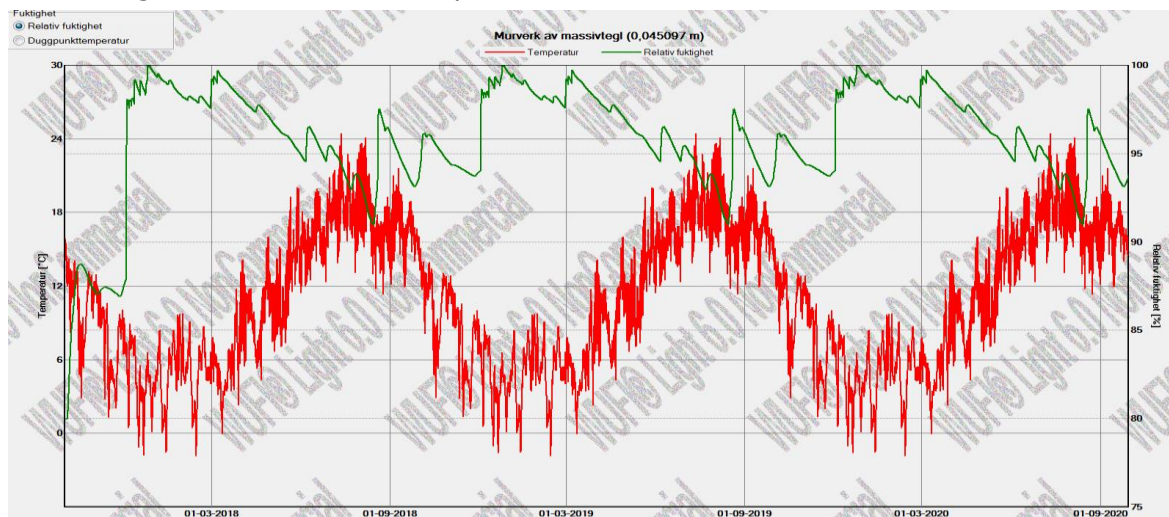
Simulering konstruktion **K5** målepunkt M5.2



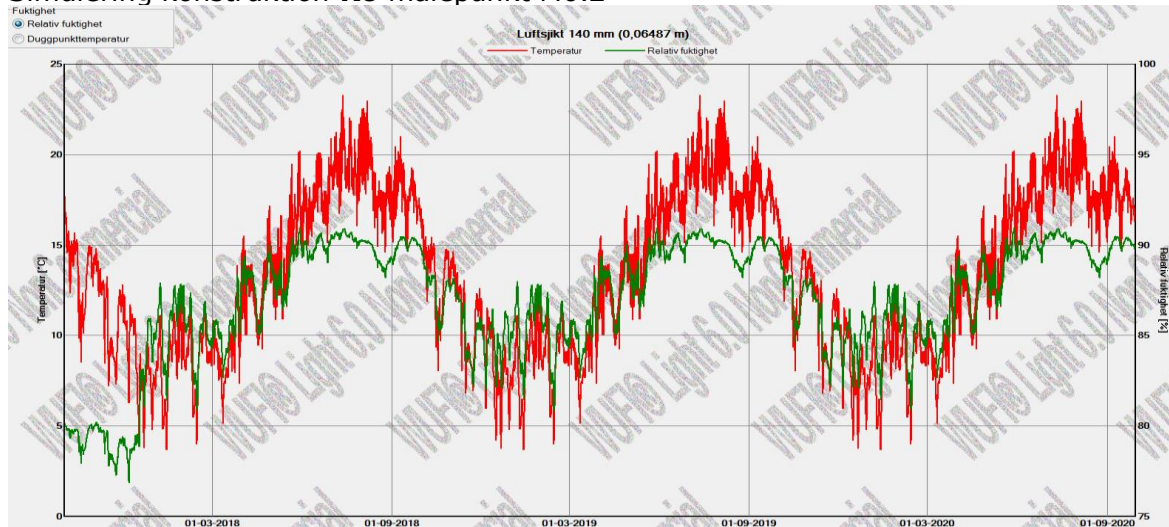
Simulering konstruktion **K5** målepunkt M5.3

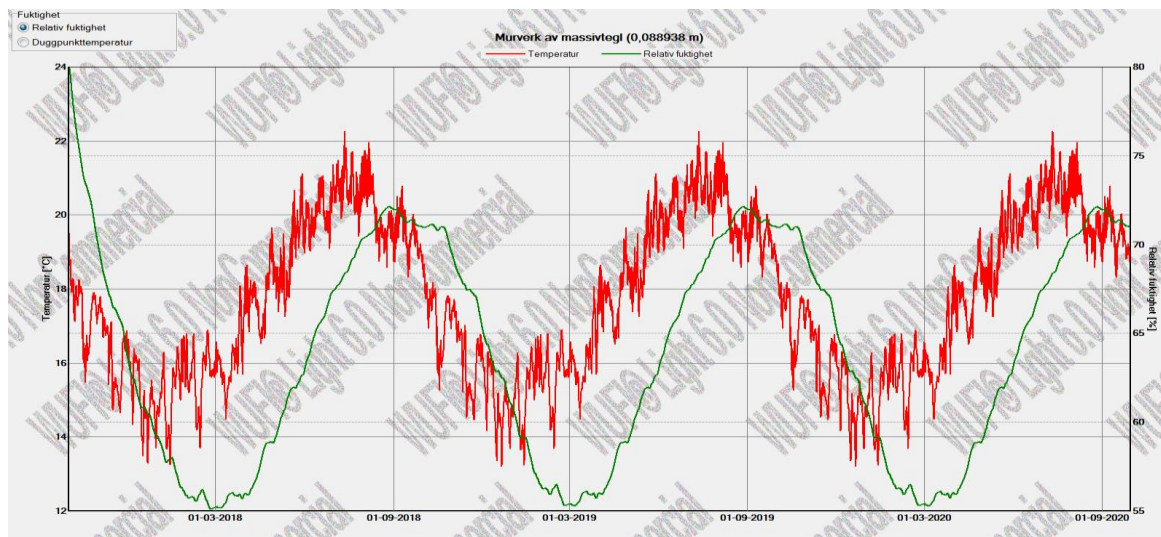


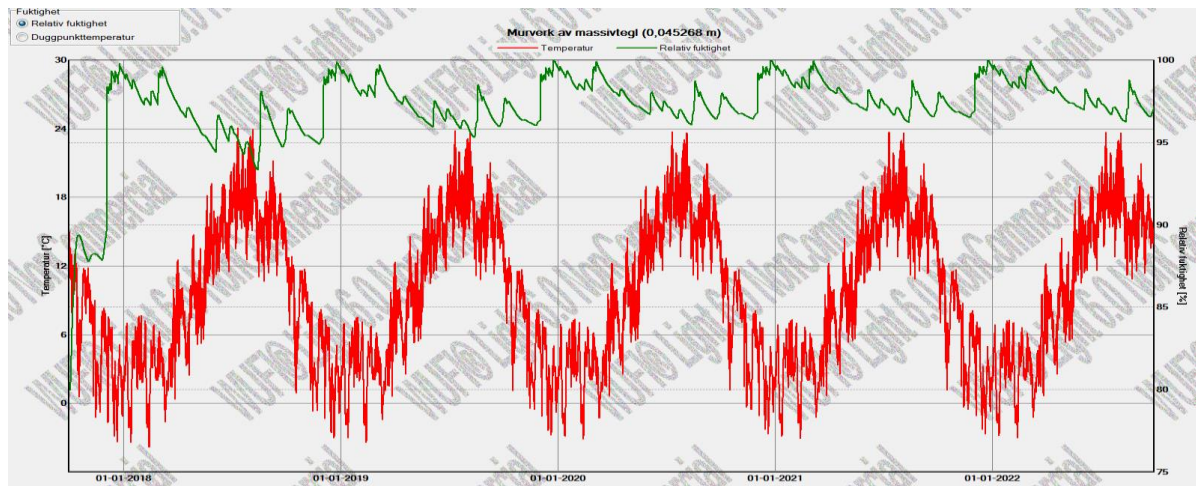
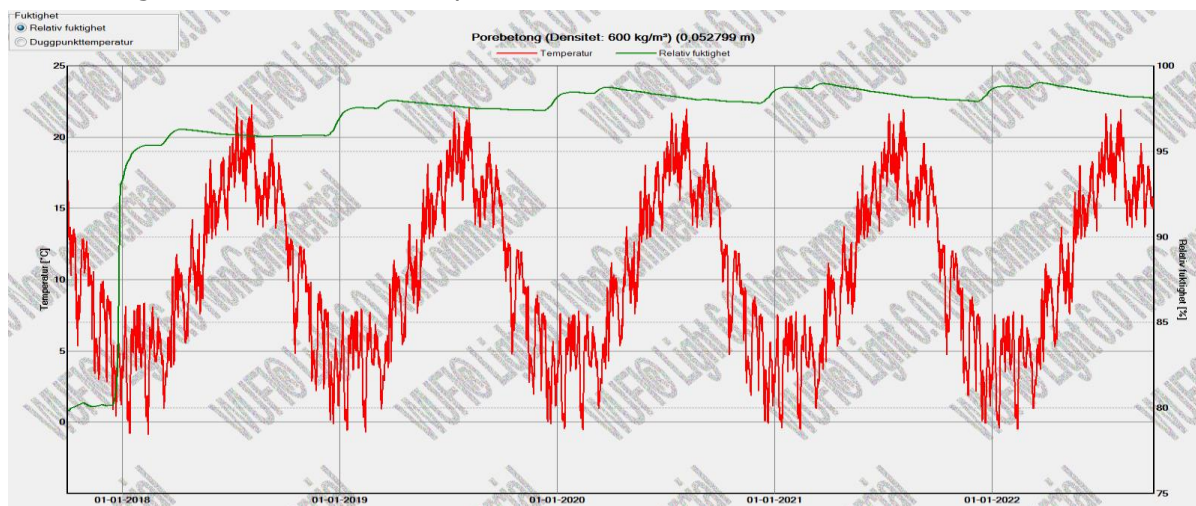
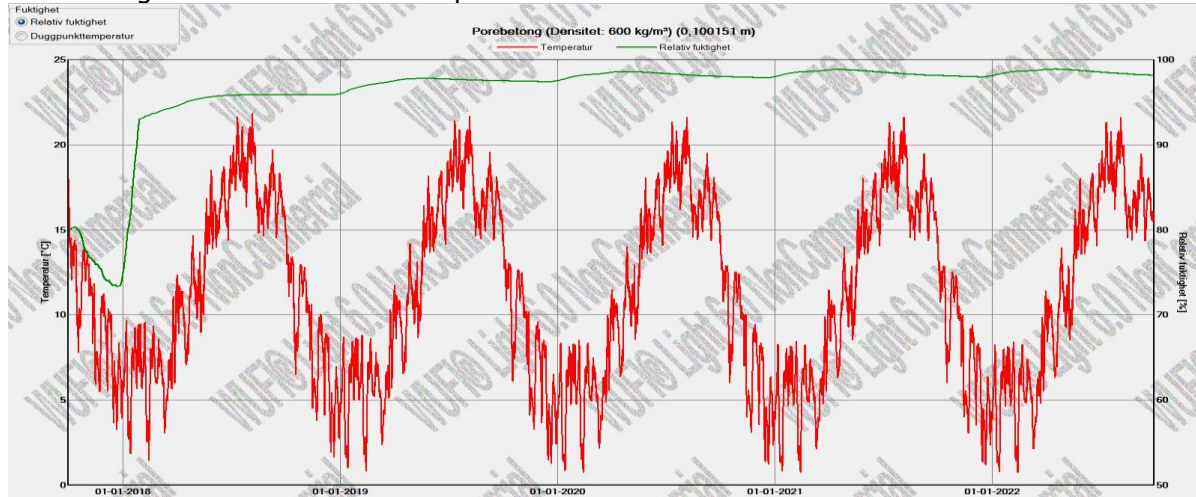
Simulering konstruktion **K6** målepunkt M6.1



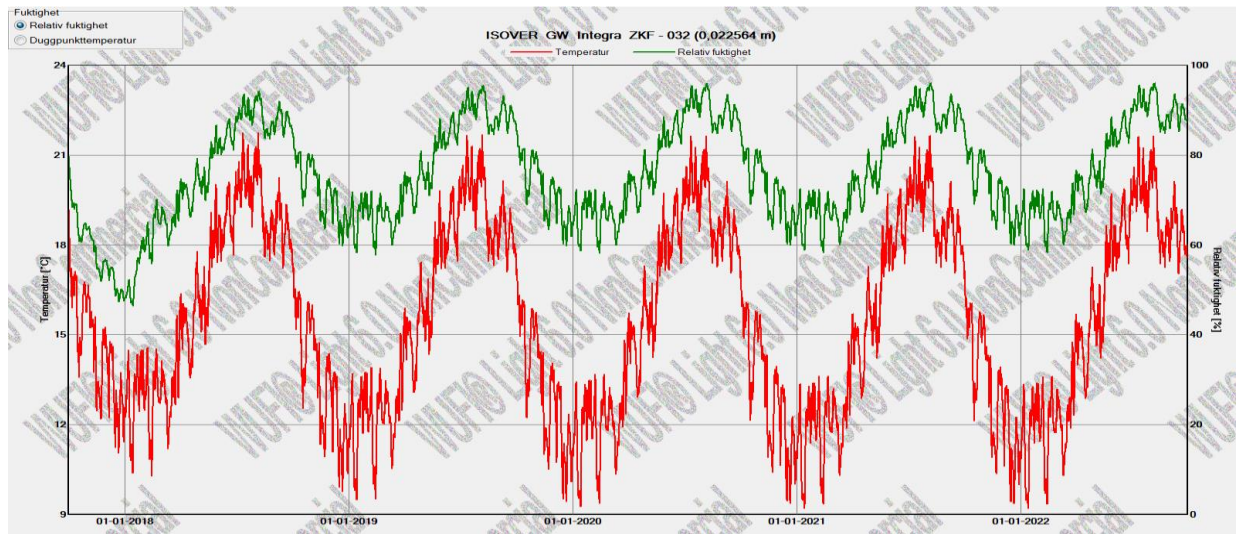
Simulering konstruktion **K6** målepunkt M6.2



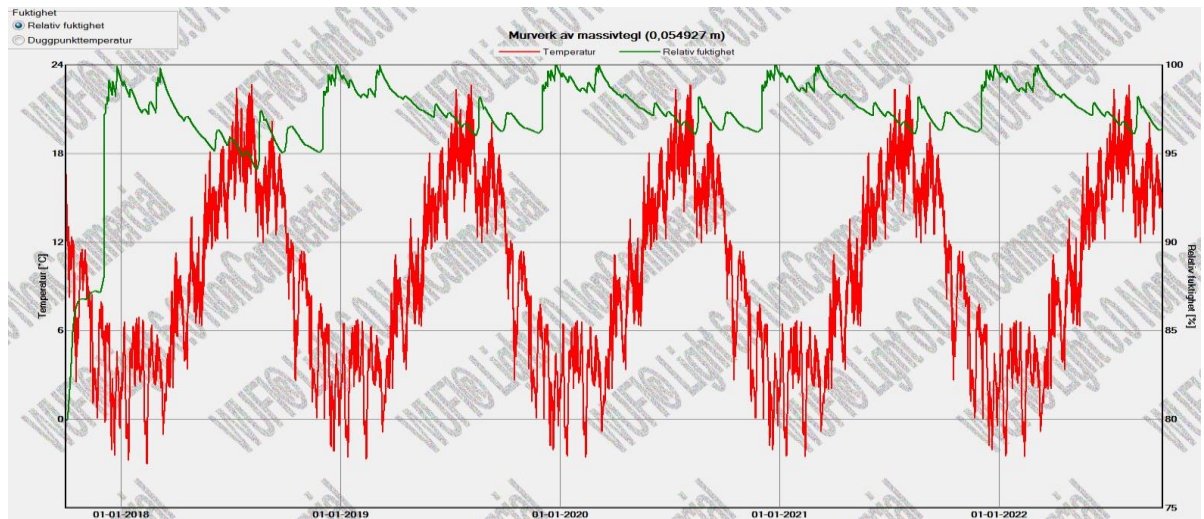
Simulering konstruktion **K6** målepunkt M6.3

**BILAG 8, CASE 2, WUFI SIMULERINGER AF DE MED 50 MM ISOLERING EFTERISOL-
REDE KONSTRUKTIONER K3 - K6.**Simulering konstruktion **K3** målepunkt M3.1Simulering konstruktion **K3** målepunkt M3.2Simulering konstruktion **K3** målepunkt M3.3

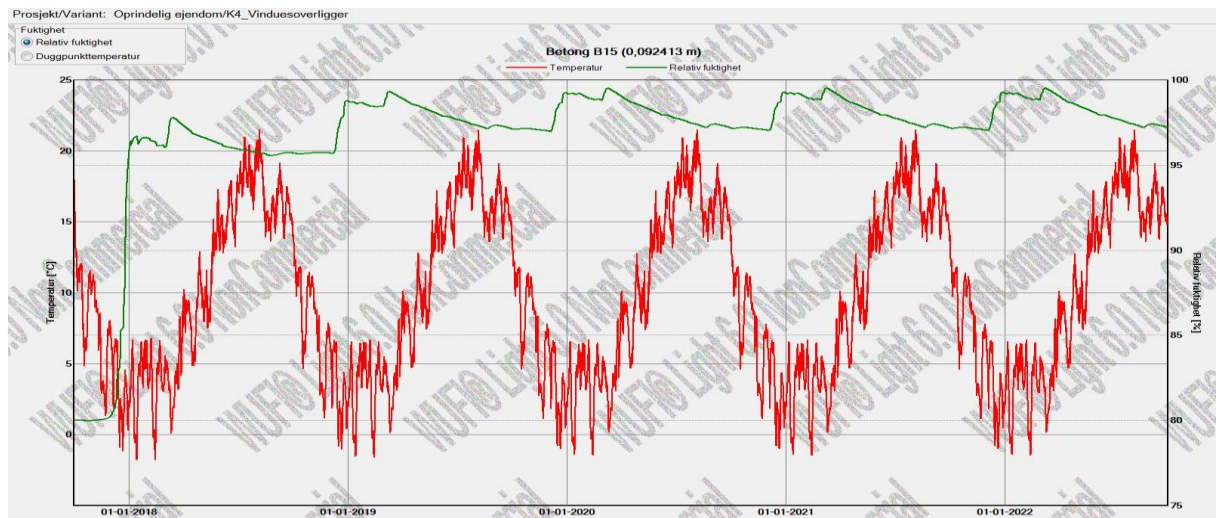
Simulering konstruktion **K3** målepunkt M3.4



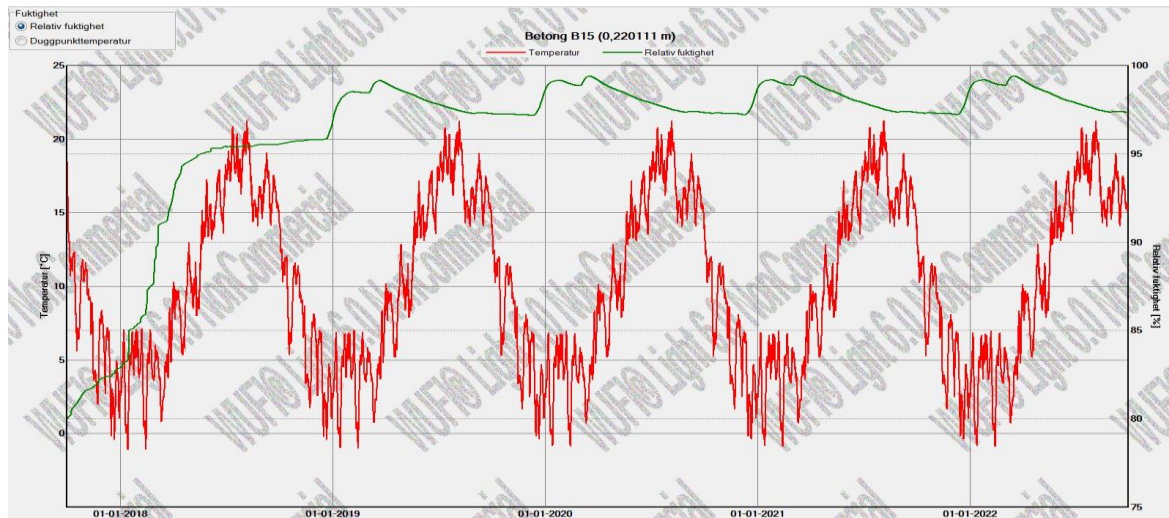
Simulering konstruktion **K4** målepunkt M4.1



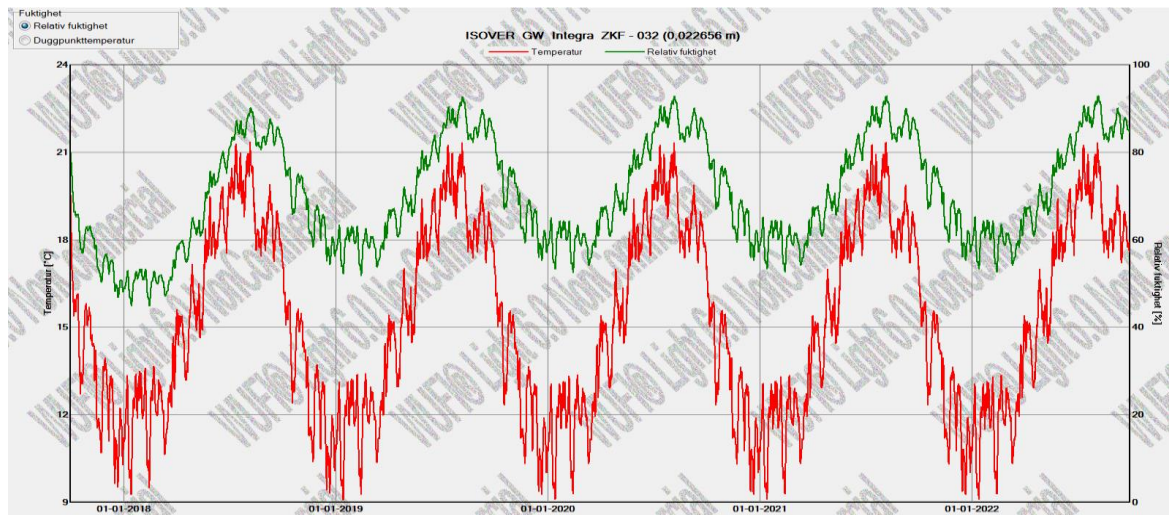
Simulering konstruktion **K4** målepunkt M4.2



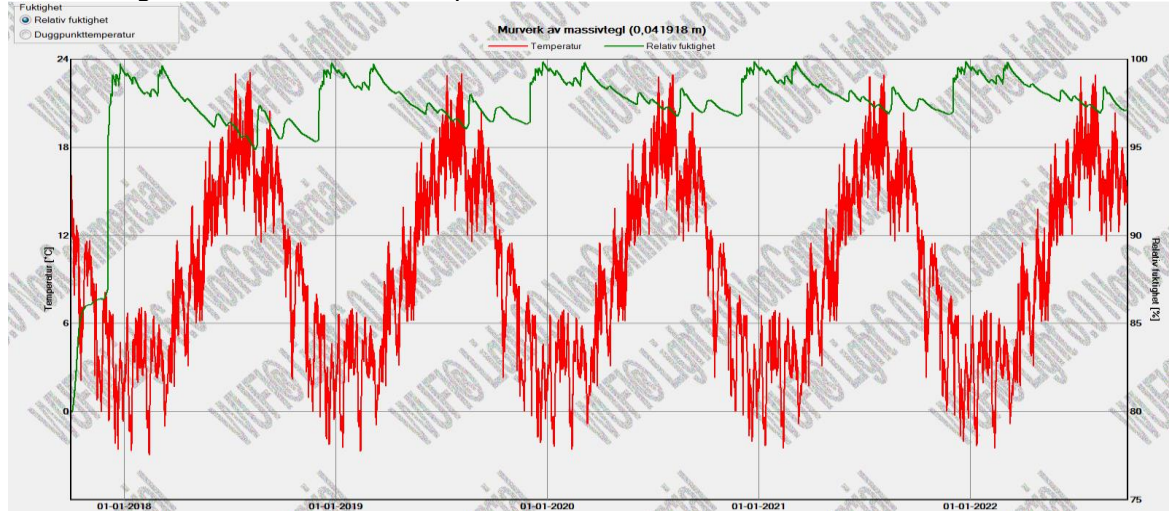
Simulering konstruktion **K4** målepunkt M4.3



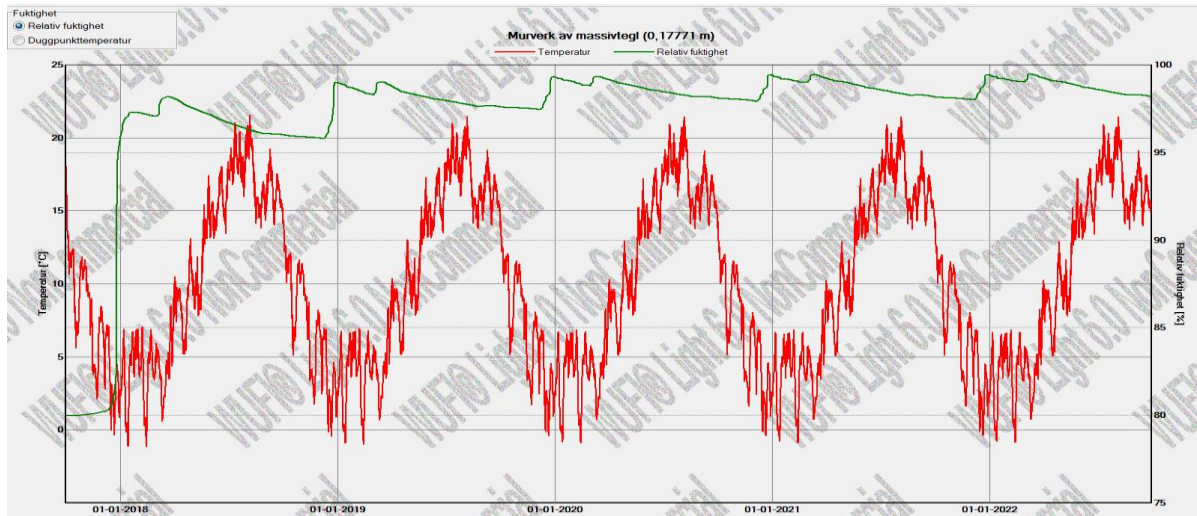
Simulering konstruktion **K4** målepunkt M4.4



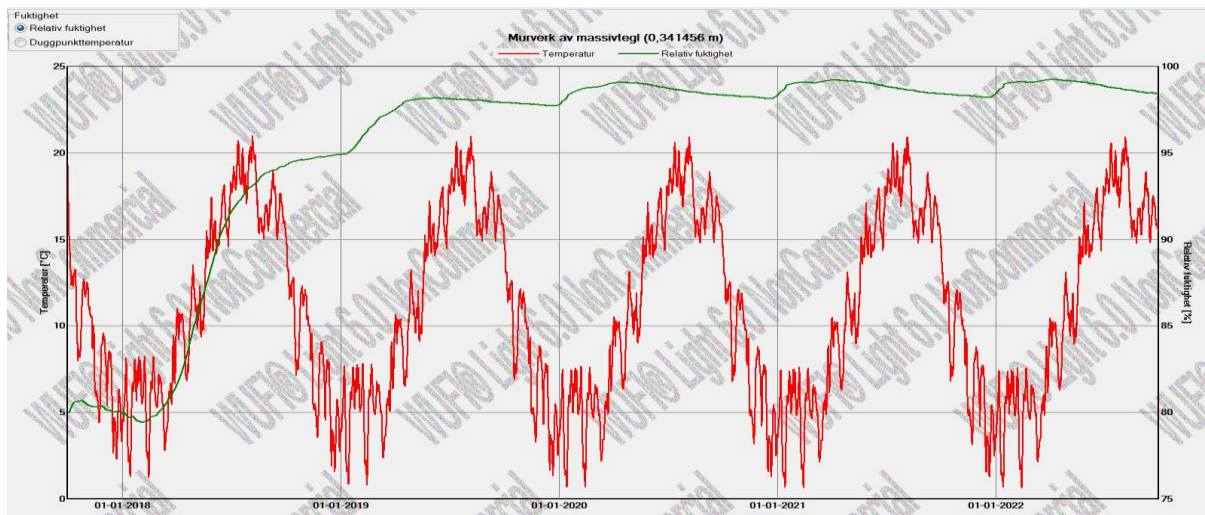
Simulering konstruktion **K5** målepunkt M5.1



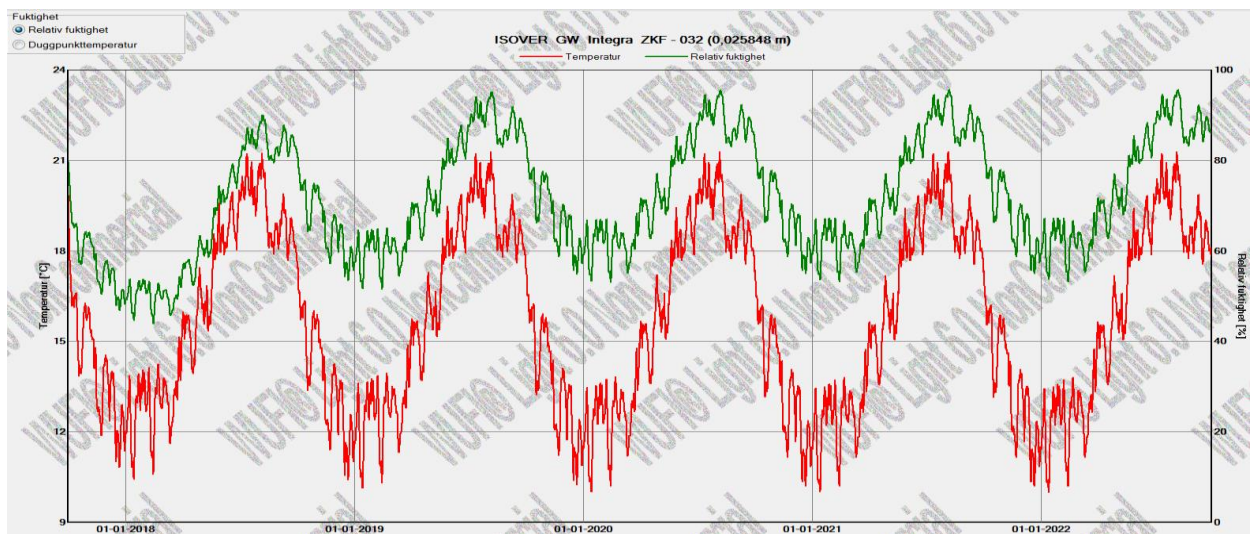
Simulering konstruktion **K5** målepunkt M5.2



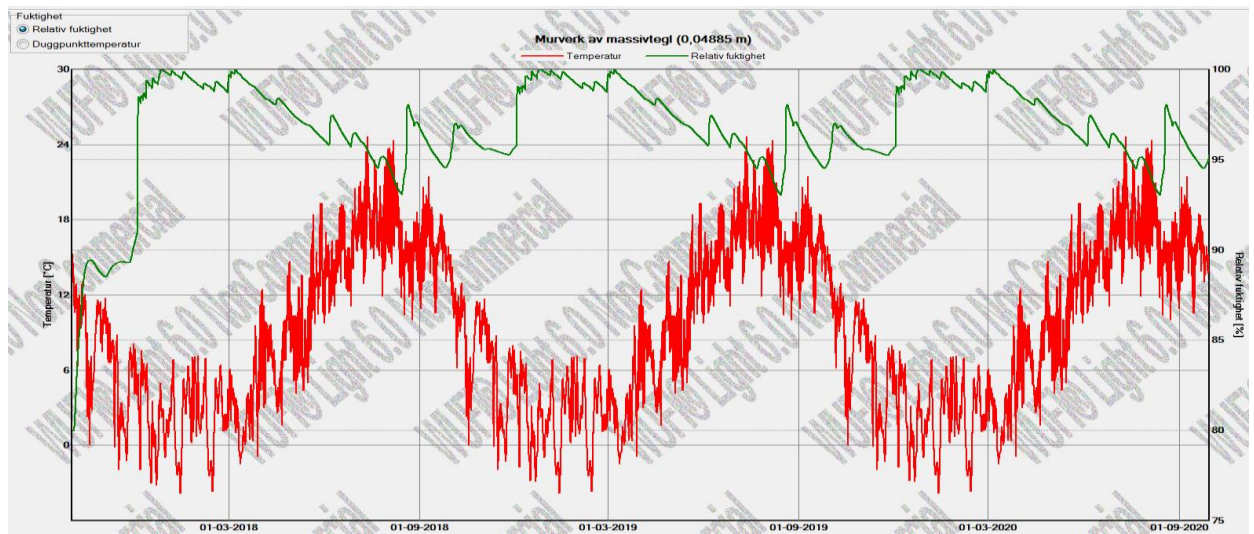
Simulering konstruktion **K5** målepunkt M5.3



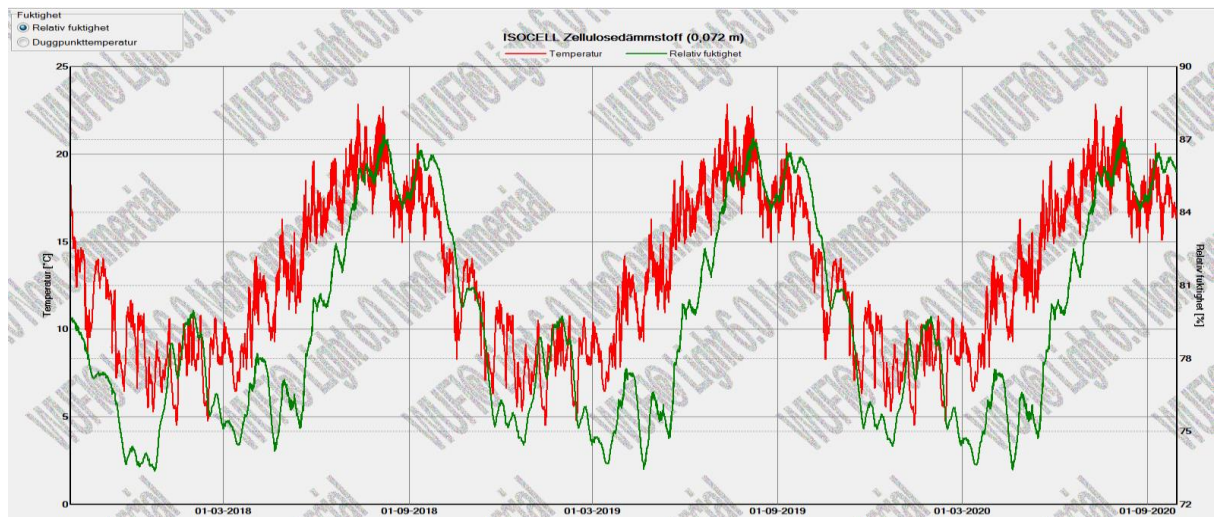
Simulering konstruktion **K5** målepunkt M5.4



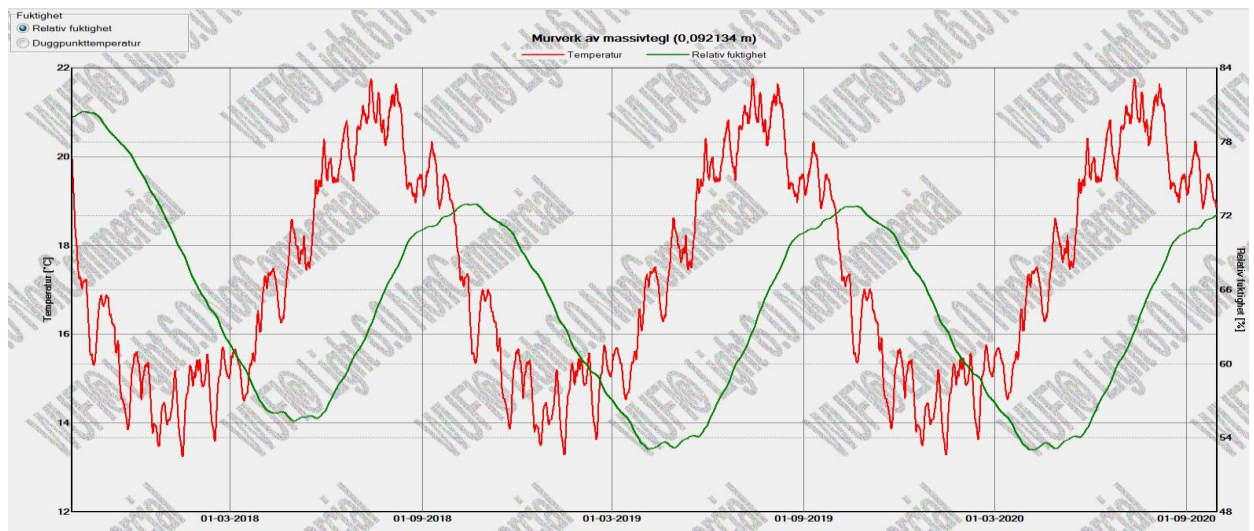
Simulering konstruktion **K6** målepunkt M6.1

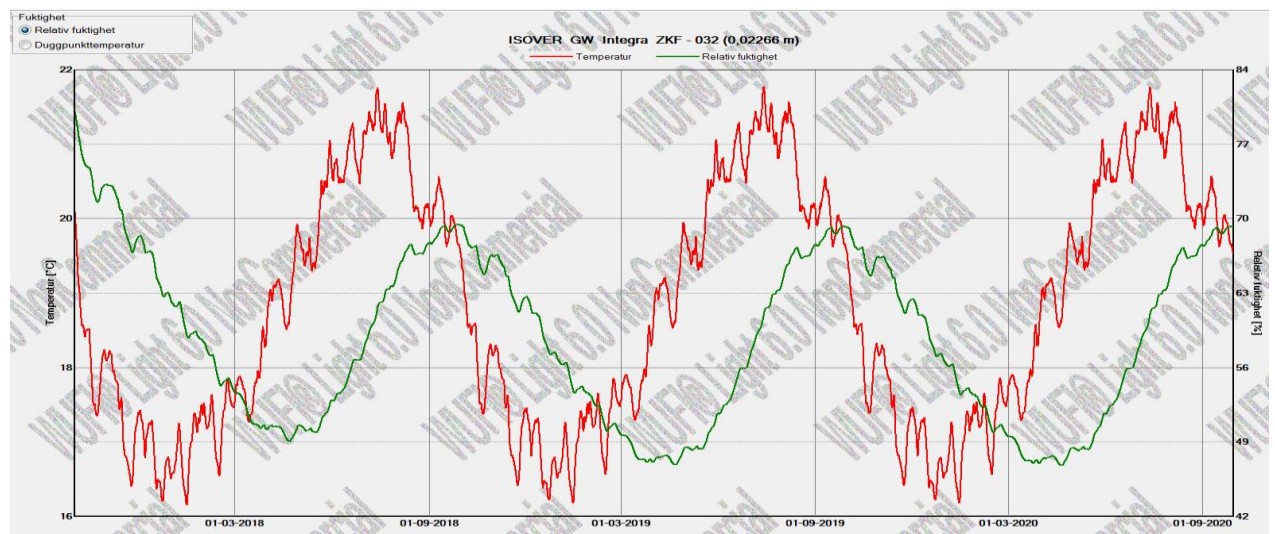


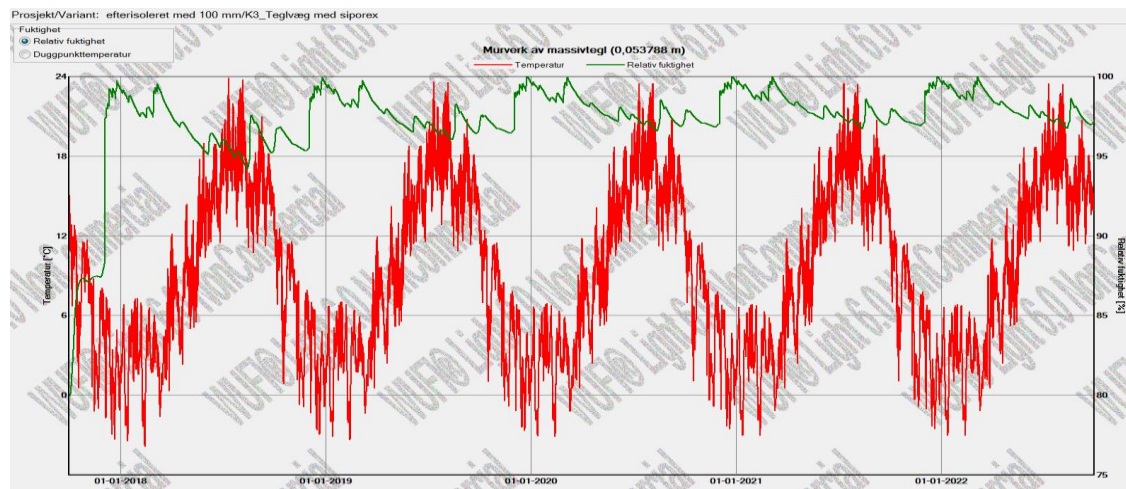
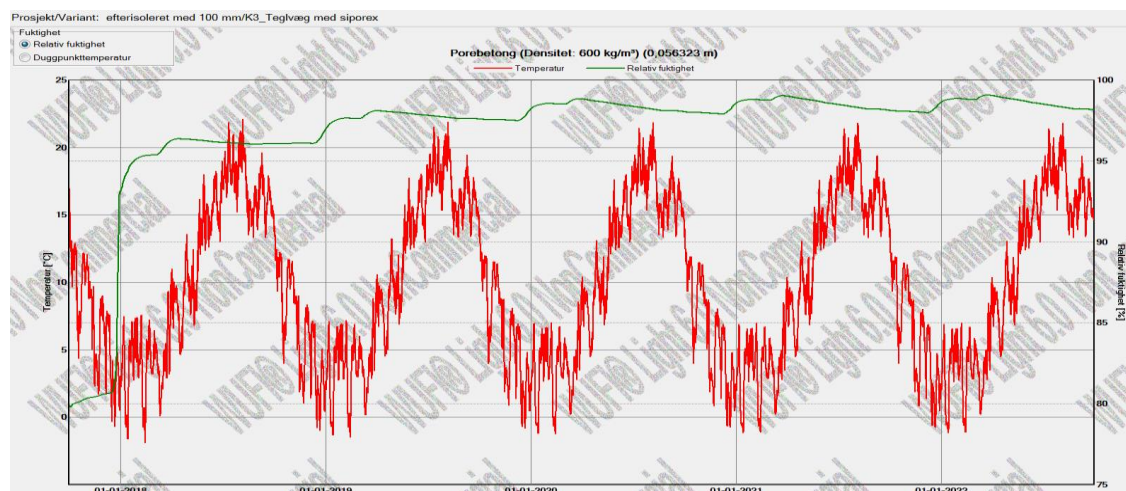
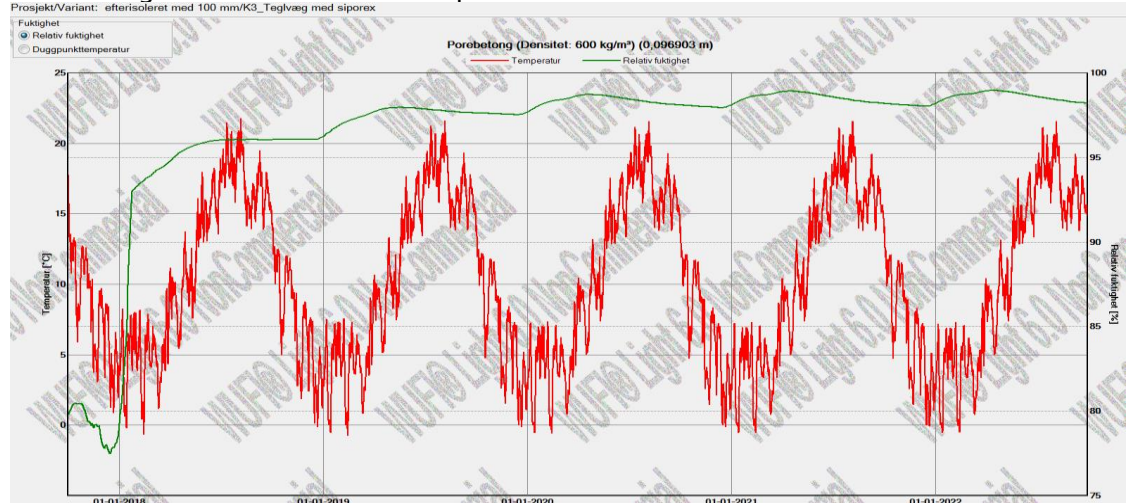
Simulering konstruktion **K6** målepunkt M6.2



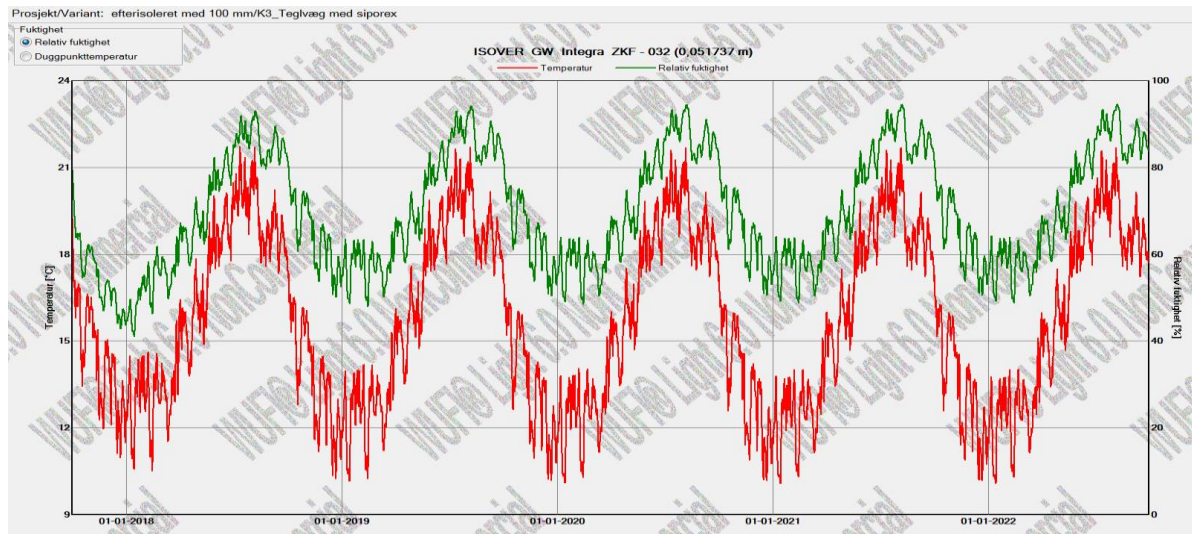
Simulering konstruktion **K6** målepunkt M6.3



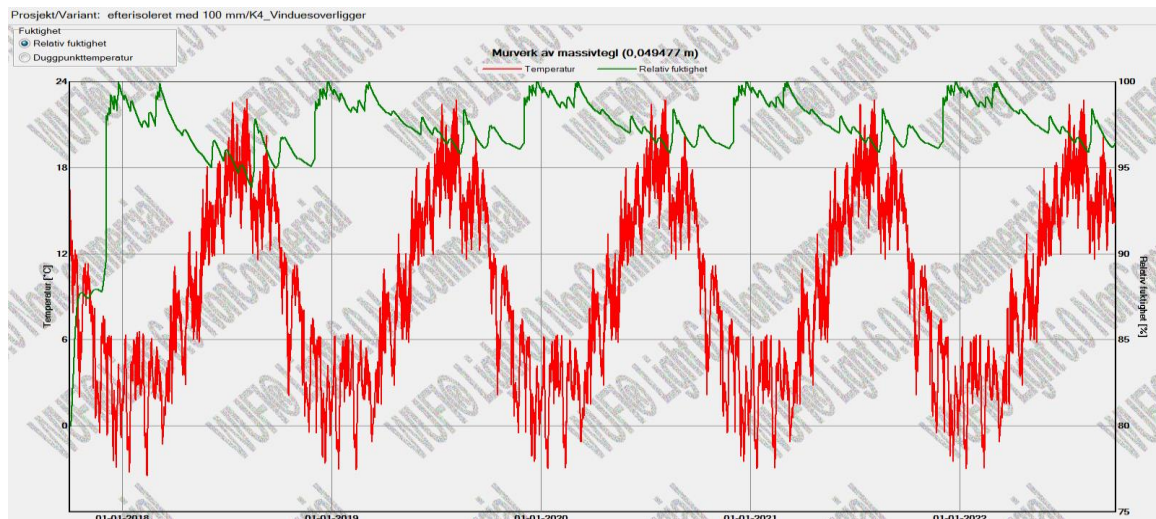
Simulering konstruktion **K6** målepunkt M6.4

**Bilag 9, CASE 3, WUFI SIMULERINGER AF DE MED 100 MM ISOLERING EFTERISOL-
REDE KONSTRUKTIONER K3 - K6.**Simulering konstruktion **K3** målepunkt M3.1Simulering konstruktion **K3** målepunkt M3.2Simulering konstruktion **K3** målepunkt M3.3

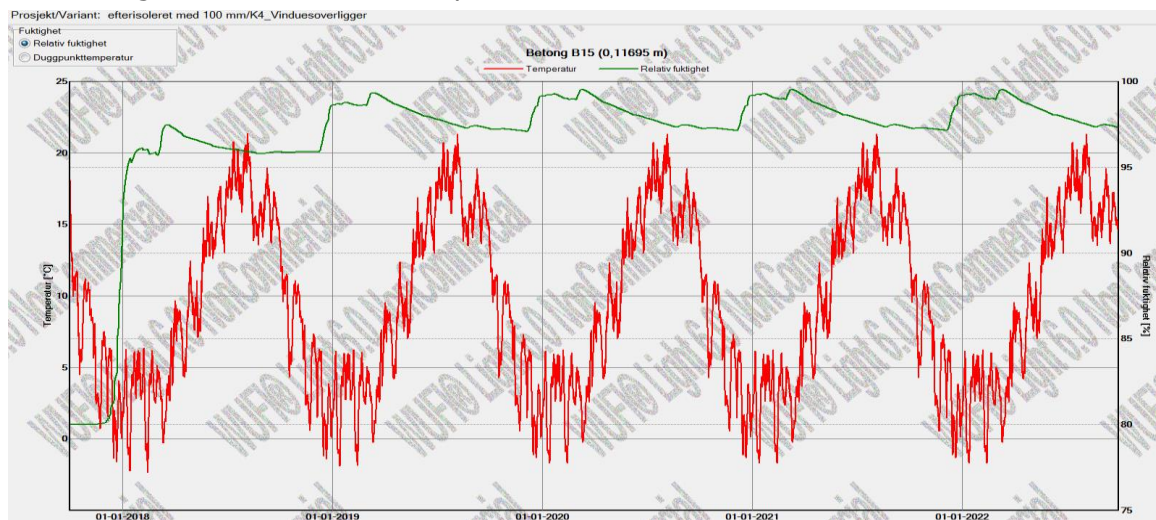
Simulering konstruktion **K3** målepunkt M3.4



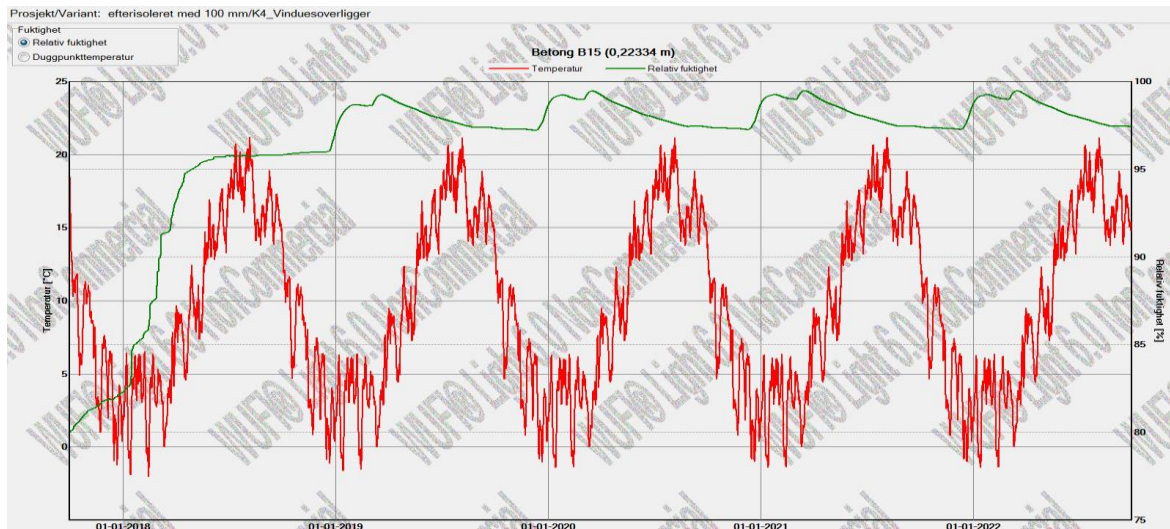
Simulering konstruktion **K4** målepunkt M4.1



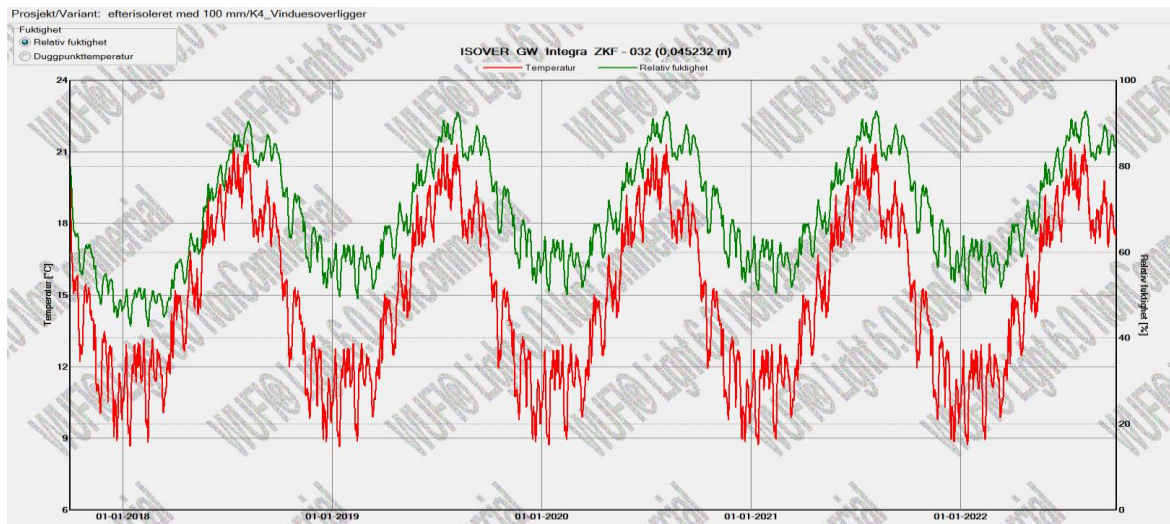
Simulering konstruktion **K4** målepunkt M4.2



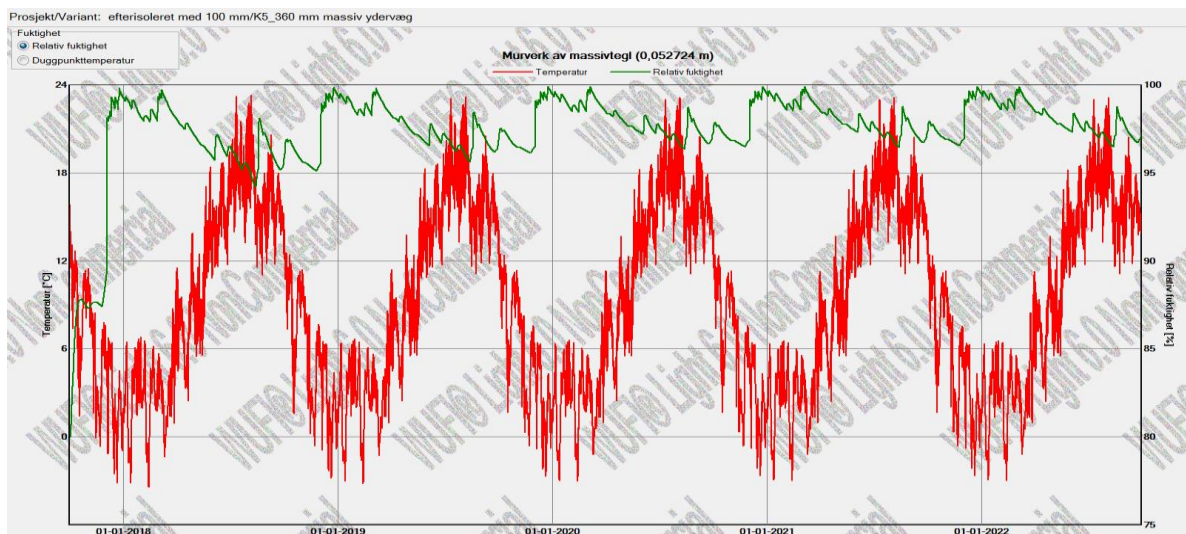
Simulering konstruktion **K4** målepunkt M4.3



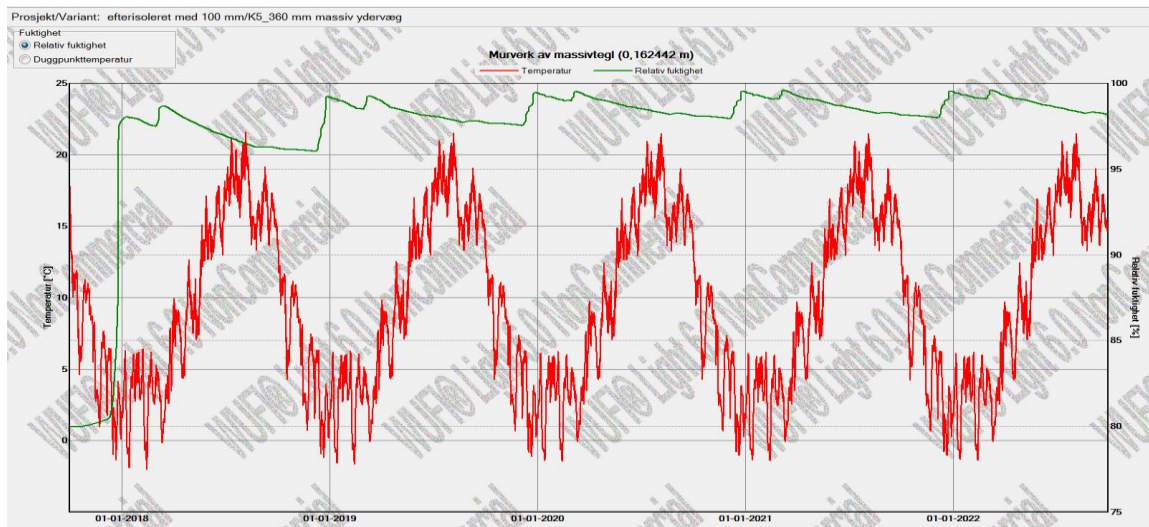
Simulering konstruktion **K4** målepunkt M4.4



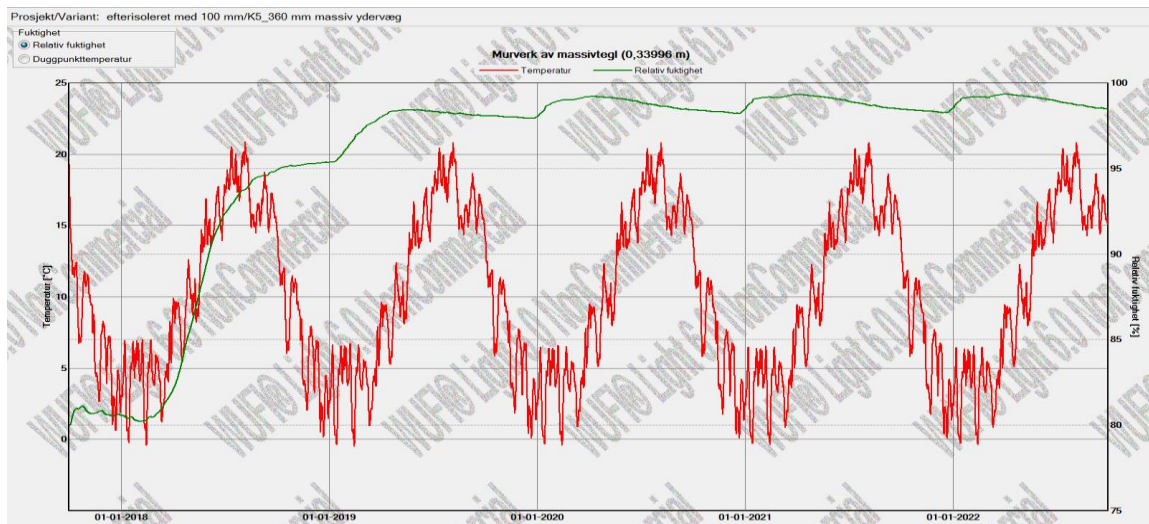
Simulering konstruktion **K5** målepunkt M5.1



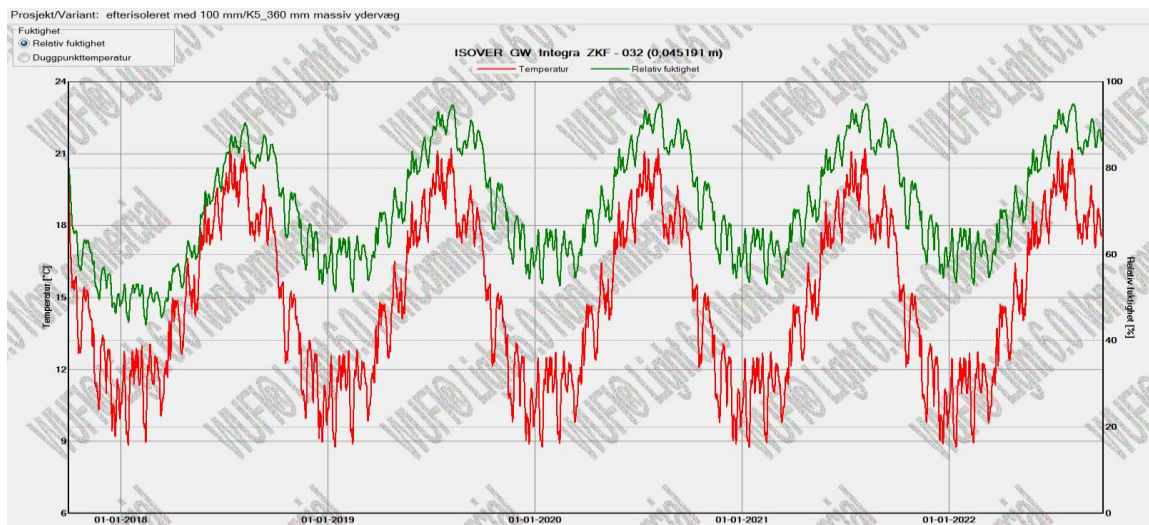
Simulering konstruktion **K5** målepunkt M5.2



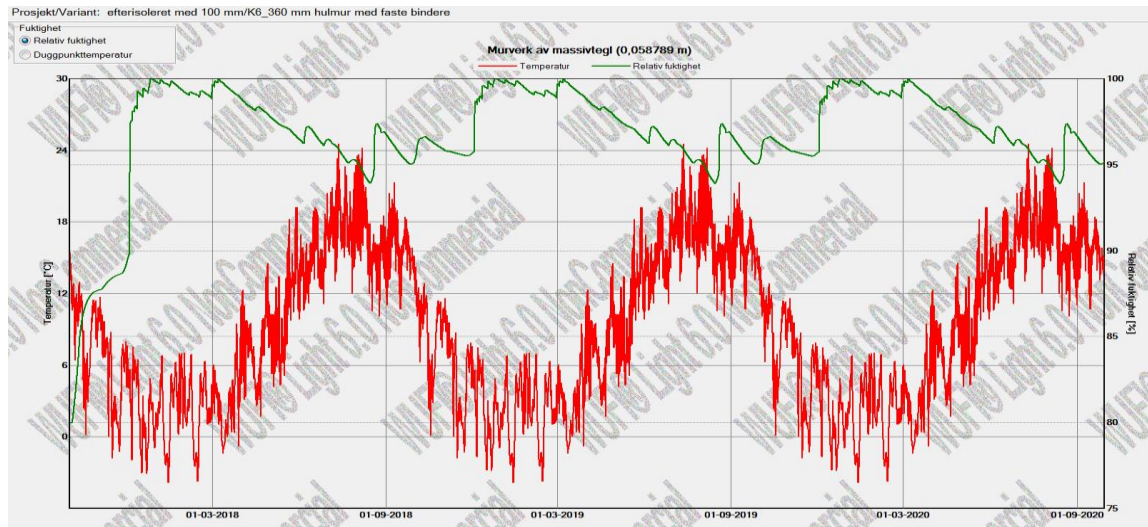
Simulering konstruktion **K5** målepunkt M5.3



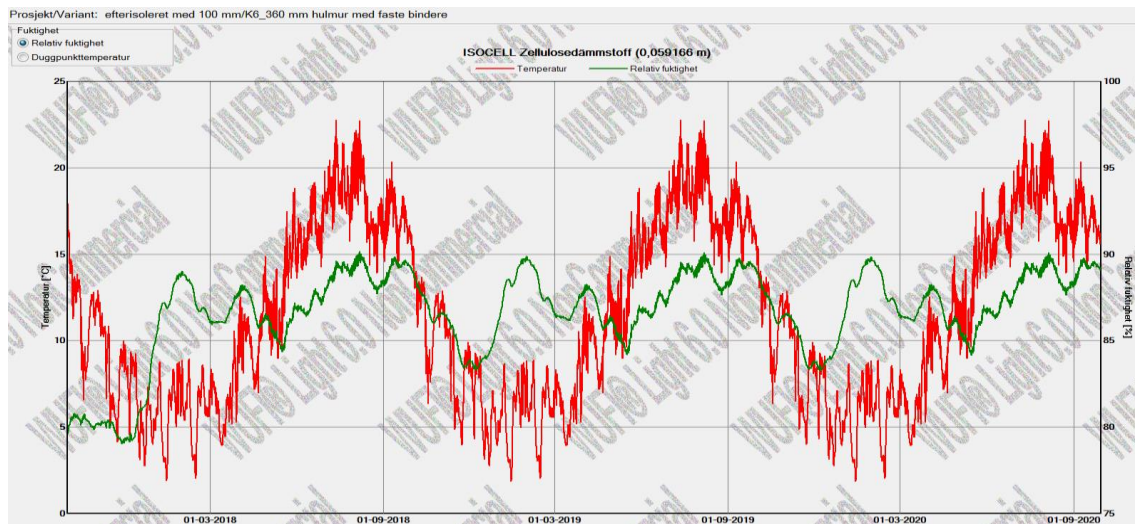
Simulering konstruktion **K5** målepunkt M5.4



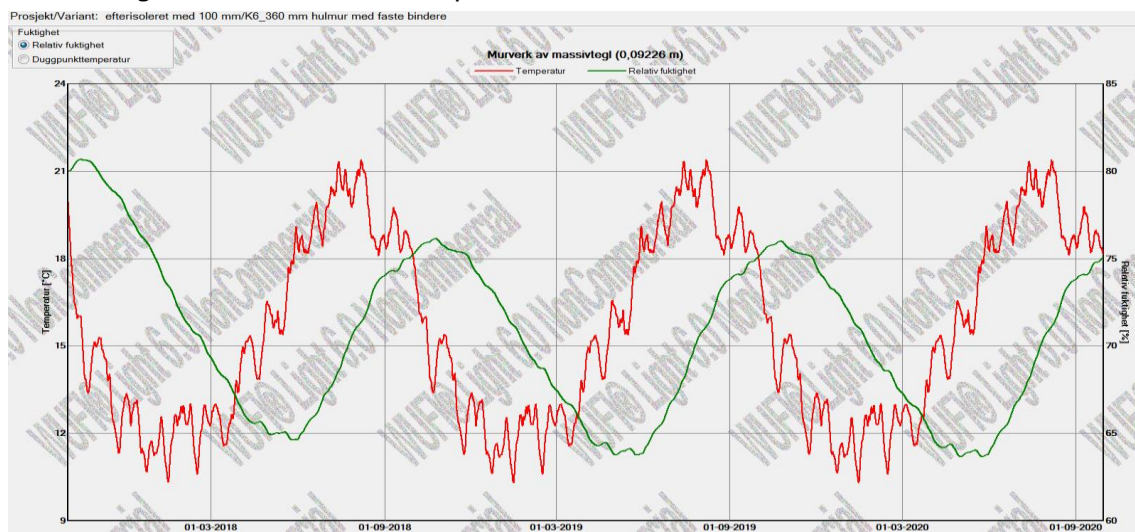
Simulering konstruktion **K6** målepunkt M6.1



Simulering konstruktion **K6** målepunkt M6.2



Simulering konstruktion **K6** målepunkt M6.3



Simulering konstruktion **K6** målepunkt M6.4