



AALBORG UNIVERSITET
KØBENHAVN

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

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

Studenterrapport

Uddannelse: Master i bygningsfysik

Semester: 4. semester

Titel på projekt: Energirenovering af ældre etageboliger i København – Fugtteknisk robuste tiltag, økonomi og miljøpåvirkning over en betragtningsperiode på 50 år

Projektperiode: 2023.02.01 –2023.06.09

Vejledere: Torben V. Rasmussen, Kim B. Wittchen

Studerende: Peter Sejr Wiboltt

Antal normalsider: 59 normalsider á 2400 anslag

Afleveringsdato: 2023.06.09

Resumé:

Hvis de eksisterende ældre etageboliger i København skal fortsætte med at være fugtteknisk robuste over de næste 50 år, skal de fremtidssikres, da det danske klima forventes at blive mere ekstremt over de næste 50 år. En bygningsejer kan have interesse i også at gennemføre passive- og eventuelt aktive renoveringstiltag med henblik på at opnå en højere energiramme for bygningen og reducerede driftsomkostninger til bygnings primære energibehov.

En klimabevist bygningsejer kan, udover det økonomiske incitament, også have interesse i at vide hvor mange kg CO₂-ækvivalenter der udledes i forbindelse med de forskellige modeller for energirenovering

Med udgangspunkt i en ældre etagebolig i København opført i 1883 som casebygning, undersøger rapporten fugtteknisk robuste tiltag, tiltagenes rentabilitet og tiltagenes udledning af drivhusgasser over en 50 års betragtningsperiode, og opstiller forskellige modeller for energirenovering, hvor resultater fra undersøgelserne sammenstilles.

Det findes at den model, der er mest rentabel som kortsigtet investering er gennemførsel af passive- og aktive tiltag, for videresalg af boliger og erhvervslokaler, mens den bedste langsigtede investering over 50 år, er at nedrive- og genopføre bygningen iht. BR18-krav for nybyggeri, i samme arkitektoniske stil som den eksisterende bygning, og med PV-T paneler på bygningens flade tag. Denne model vurderes at være den mest balancerede for en bygningsejer med fokus på både langsigtet rentabilitet og udledning af drivhusgasser.

Den model, der udleder den mindste mængde CO₂-ækvivalenter over 50 år er at gøre ingenting ved bygningen. Fremtidssikrende tiltag skal dog gennemføres, hvis bygningen skal fortsætte med at være fugtteknisk robust i de næste 50 år.

ENERGIRENOVERING AF ÆLDRE ETAGEBOLIGER I KØBENHAVN

- Fugtteknisk robuste tiltag, økonomi og miljøpåvirkning over en betragtningsperiode på 50 år



Masterprojekt af Peter Sejr Wiboltt

Indholdsfortegnelse

1.	Resume in English	1
2.	Indledning.....	2
3.	Baggrund	3
3.1	Opgaveformulering	3
3.2	Afgrænsning.....	3
4.	Teori	5
4.1	Fugtteknisk robusthed	5
4.1.1	Relativ luftfugtighed og damptryk.....	5
4.1.2	Materialeegenskaber og konstruktioner	8
4.1.3	Skimmelsvamp, råd, trænedbrydende svampe og insektangreb	9
4.2	Installationer som aktive renoveringstiltag	11
4.2.1	PV-T paneler	11
4.3	Økonomi	11
4.4	Miljøpåvirkning	13
4.4.1	Global opvarmning	13
4.4.2	LCA-beregning og grænseværdier	14
4.4.3	Forsyning	14
4.5	Nutidens- og fremtidens klima.....	15
4.5.1	Nutidens klima.....	15
4.5.2	Fremskrivningsmodel for temperatur - International Energy Agency (IEA).....	15
4.5.3	Fremskrivningsmodel for temperatur – IPCC klimarapport	15
4.5.4	Fremtidens klima	19
4.6	Lovgivning om energiforhold og renovering.....	21
4.6.1	Energiramme og renoveringsklasser	21
4.6.2	Energibehov.....	22
4.6.3	Huslejestigning for lejeboliger.....	22
4.6.4	Salg af udlejningsboliger	22
5.	Metoder og materialer.....	23
5.1	Casebygning – nuværende tilstand	23
5.1.1	Arkitektur	23
5.1.2	Energiforhold.....	24
5.1.3	Konstruktioner.....	26
5.1.4	Tagkonstruktion.....	28

5.1.5	Kviste.....	30
5.1.6	Facader, kældervægge og fundamenter	31
5.1.7	Gavle og etagedæk	34
5.1.8	Indervægge.....	37
5.2	Casebygning – passive renoveringstiltag	38
5.2.1	Tagkonstruktion.....	39
5.2.2	Kviste.....	41
5.2.3	Facade mod vejen	41
5.2.4	Facade mod gården	42
5.2.5	Køkkenvæg mod bagtrappe	42
5.2.6	Kældervægge og fundamenter.....	43
5.2.7	Vinduer.....	43
5.3	Casebygning – aktive renoveringstiltag	43
5.3.1	PV-T paneler	43
5.4	Beregningsværktøjer	43
5.4.1	Heat2 – Varmetransmission og fugtteknisk robusthed	43
5.4.2	Be18 – Energibehov og sommerkomfort	44
5.4.3	LCAbyg – Udledning af drivhusgasser	44
5.4.4	Molios prisdata - Økonomi.....	45
6.	Resultater	47
6.1	Fremtidsscenarier.....	47
6.1.1	Årsmiddeltemperatur	47
6.1.2	Vintertemperatur	48
6.1.3	Sommertemperatur.....	48
6.1.4	Årsnedbør.....	49
6.1.5	Vinternedbør	49
6.1.6	Sommernedbør.....	50
6.1.7	Max. døgnsnedbør	50
6.1.8	Max. stormstyrke.....	51
6.1.9	Max. vandstand ved vestkysten	51
6.2	HEAT2 - Varmetransmission	52
6.2.1	Tagkonstruktion – Eksisterende forhold	52
6.2.2	Tagkonstruktion – Renoverede forhold (Option A)	52
6.2.3	Tagkonstruktion – Renoverede forhold (Option B)	53

6.2.4	Tagkonstruktion – Renoverede forhold (Option C)	53
6.2.5	Kviste – Eksisterende forhold	54
6.2.1	Kviste – Renoverede forhold	55
6.2.2	Samling mellem facader, etagedæk og vinduer – Eksisterende forhold	56
6.2.3	Samling mellem vejfacade, etagedæk og vinduer – Renoverede forhold (Option A)	57
6.2.4	Samling mellem vejfacade, etagedæk og vinduer – Renoverede forhold (Option B)	58
6.2.5	Samling mellem gårdfacade, etagedæk og vinduer – Renoverede forhold	59
6.2.6	Samling mellem facader og tværgående skillevægge – Eksisterende forhold	60
6.2.7	Samling mellem vejfacade og tværgående skillevægge – Renoverede forhold (Option A)	61
6.2.8	Samling mellem vejfacade og tværgående skillevægge – Renoverede forhold (Option B)	62
6.2.9	Samling mellem gårdfacade og tværgående skillevægge – Renoverede forhold	63
6.3	Be18 – Energibehov	64
6.3.1	Eksisterende forhold	64
6.3.2	Passive renoveringstiltag	64
6.3.3	Passive- og aktive renoveringstiltag	64
6.3.4	Sommerkomfort	64
6.4	LCA – CO ₂ -udledning	67
6.4.1	Eksisterende forhold	67
6.4.2	Passive renoveringstiltag	68
6.4.3	Passive- og aktive renoveringstiltag	68
6.5	Molios prisdata - Økonomi	69
6.5.1	Eksisterende forhold	69
6.5.2	Passive renoveringstiltag	69
6.5.3	Passive- og aktive renoveringstiltag	70
6.5.4	Finansieringsmodeller, nedrivning og genopførsel – Huslejestigning	70
6.5.5	Finansieringsmodeller, passive tiltag – Huslejestigning	71
6.5.6	Finansieringsmodeller, aktive- og passive tiltag – Huslejestigning	71
6.5.7	Finansieringsmodel – Salg af boliger og erhvervslokaler	72
7.	Deldiskussion	73
7.1	Fremtidsscenarier	73
7.1.1	Tagrender og nedløbsrør - udfordring	74
7.1.2	Tagrender og nedløbsrør - løsning	74
7.1.3	Kloakkerings – udfordring	74
7.1.4	Kloakkerings – mulig løsning	74

7.1.5	Forhøjet grundvandsspejl - udfordring	75
7.1.6	Forhøjet grundvandsspejl – løsning	75
7.1.7	Elektricitet og fugt - udfordring	76
7.1.8	Elektricitet og fugt - løsning	76
7.1.9	Gennemføringer i kældervægge – udfordring.....	76
7.1.10	Gennemføringer i kældervægge – løsning	76
7.1.11	Trappeskakte mod vejside – udfordring	76
7.1.12	Trappeskakte mod vejside - løsning	76
7.2	Varmetransmission og fugtteknisk robusthed	77
7.2.1	Renoveringstiltag – Tagkonstruktion	77
7.2.2	Renoveringstiltag – Vejfacaderenovering	77
7.2.3	Renoveringstiltag – Vinduer	78
7.3	Energibehov og sommerkomfort	79
7.3.1	Eksisterende energibehov.....	79
7.3.2	Passive renoveringstiltag	79
7.3.3	Aktive tiltag	79
7.3.4	Sommerkomfort	79
7.4	Udledning af drivhusgasser.....	80
7.5	Økonomi	81
8.	Diskussion.....	83
9.	Konklusion	85
10.	Litteraturliste	86
11.	Figurer	91
12.	Tabeller.....	94
13.	Bilag	95
13.1	Dokumenter (1-9).....	95
13.1	Excel-ark (10-19).....	95
13.2	Heat2-modeller (20-39)	95
13.3	Be18-modeller (40-59).....	96
13.4	LCA-beregninger (60-69).....	96
13.5	Prisberegninger (70-79)	96

1. Resume in English

If the existing older apartment buildings in Copenhagen are to remain robust in terms of moisture over the next 50 years, they need to be future-proofed, as the Danish climate is expected to become more extreme over the next 50 years. A building owner may have an interest in also implementing passive- and potentially active renovation measures to achieve a higher energy classification for the building and reduce operational costs for the building's primary energy needs.

In addition to the economic incentives, a climate-conscious building owner may also be interested in knowing the amount of CO₂ equivalents emitted in connection with different models of energy renovation.

Based on an older apartment building in Copenhagen constructed in 1883, which serves as a case study, the report investigates moisture-technical robust measures, the profitability of these measures, and the emissions of greenhouse gases associated with them over a 50-year period. Various models of energy renovation are presented, and the results from the investigations are compared.

It is found that the model that is most profitable as a short-term investment is the implementation of passive- and active measures for the resale of residential and commercial properties. However, the best long-term investment over 50 years is to demolish and rebuild the building according to the BR18 requirements for new construction, in the same architectural style as the existing building, with PV-T panels on the flat roof. This model is considered the most balanced for a building owner with a focus on both long-term profitability and greenhouse gas emissions.

The model that emits the least amount of CO₂ equivalents over 50 years is to do nothing to the building. However, future-proofing measures must be implemented if the building is to remain robust in terms of moisture over the next 50 years.

2. Indledning

Denne rapport undersøger hvordan ældre etageboliger i København kan fremtidssikres til de klimaændringer, der forventes at ske over de næste 50 år, samt hvilke fugtteknisk robuste passive renoveringstiltag, der kan foretages for at nedbringe bygningens energibehov og opnå en højere energiramme. Det undersøges endvidere hvilken energiramme, der kan opnåes ved gennemførelse af både passive- og aktive renoveringstiltag. Udledningen forbundet med renoveringsarbejderne og energibehovet til bygningens primære energibehov over en periode på 50 år undersøges gennem LCA-beregning, selvom bygningsreglementet i dag ikke stiller krav til LCA-beregning ved renovering, da det kan være relevant for en klimabevidst bygningsejer. Renoveringsarbejderne opstilles i forskellige mulige modeller for energirenovering, hvor rentabiliteten er undersøgt. Til slut er sammenhængende mellem rentabilitet, fremtidssikring, fugtteknisk robusthed, udledning af drivhusgasser undersøgt, for at vurdere hvilke modeller, der er mest fordelagtige for en bygningsejer, alt efter hvilke parametre bygningsejeren vægter højest. Rapportens undersøgelser tager udgangspunkt i en ældre etageejendom i København med 12 lejeboliger og 2 erhvervslejemål.

Rapporten henvender sig primært til folk, der arbejder med renovering indenfor bygge- og anlægsbranchen, og sekundært som overblik til bygningsejere af ældre etageejendomme i København, der ikke nødvendigvis er uddannede indenfor bygge- og anlægsbranchen.

Det findes, at bygningen kan opnå renoveringsklasse 1 ved gennemførelse af passive renoveringstiltag, samt energibehov tilsvarende energirammen for lavenergiklasse iht. BR18 ved opsætning af PV-T paneler på bygningens flade tag, som aktivt renoveringstiltag.

Ved sammenligning af resultater for fugtteknisk robusthed, opnået energiramme, udledning af drivhusgasser og rentabilitet findes det at forskellige energirenoveringsmodeller viser sig mest fordelagtig alt efter hvilke parametre bygningsejeren vægter højest.

Den energirenoveringsmodel, der udleder mindst CO₂-ækvivalenter over en betragtningsperiode på 50 år er ikke at foretage noget. Denne model er dog ikke fremtidssikret i forhold til de klimaændringer der forventes at ske i det danske klima i de næste 50 år.

Den mest rentable kortsigtede investering vurderes at være gennemførelse af passive- og aktive renoveringstiltag og videresælge boligerne og erhvervslejemålene.

Den mest rentable langsigtede investering vurderes at være nedrivning og genopførsel af casebygningen med gennemførsel af passive- og aktive renoveringstiltag, hvilket svarer til at bygningen nedrives og genopføres som en ny bygning iht. BR18, men i samme arkitektoniske stil. Denne energirenoveringsmodel vurderes samtidigt at være den model, der er mest fordelagtig for en bygningsejer som vægter fugtteknisk robusthed, opnået energiramme, udledning af drivhusgasser og rentabilitet lige højt.

3. Baggrund

3.1 Opgaveformulering

Menneskeskabt global opvarming forudses at gøre det danske vejr mere ekstremt over de næste 50 år, med klimaændringer som flere og længerevarende hedebølger, og hyppigere og kraftigere regnskyl. Hvis vores eksisterende ældre etageboliger i København skal fortsætte med at være fugtteknisk robuste gennem de næste 50 år er det nødvendigt at gennemføre fremtidssikrende tiltag. Der stilles ingen krav om LCA-beregning ved renoveringsarbejder, men da den menneskeskabte globale opvarmning er forårsaget af udledningen af drivhusgasser kan det være relevant for ejeren af bygningen at interessere sig for hvor stor en mængde CO₂-ækvivalenter, der udledes over en betragtningsperiode på 50 år ved forskellige modeller for energirenovering.

I forbindelse med passive renoveringstiltag af ældre etageboliger ændres der på den bygningsfysik som bygningen var tiltænkt ved bygningens opførsel. Det er derfor nødvendigt at undersøge om der kan forventes at blive øget risiko for fugtproblemer i forbindelse med renoveringstiltag.

Det er muligt for bygningen at opnå et lavere energibehov ved gennemførelse af passive renoveringstiltag, og energibehovet kan sænkes yderligere ved gennemførelse af både passive- og aktive renoveringstiltag. Sænkelse af bygningens energibehov betyder at driftsomkostningerne til bygningens primære energibehov sænkes samtidigt med det kan betyde, at bygningen opfylder kravene til en højere energiramme. En højere energiramme kan betyde at boligerne og erhvervslejemålene i bygningen gøres mere attraktive for købere i forbindelse med videresalg nu, eller i fremtiden.

For en bygningsejer, der ønsker at fremtidssikre sin bygning og som måske er klimamæssigt bevidst, kan sammenhængene mellem fugtteknisk robusthed, rentabilitet og udledningen af drivhusgasser være svære at gennemskue. Alt efter bygningsejerens interesser forventes det at være forskellige modeller for energirenovering, der vil vise sig at være mest fordelagtige.

3.2 Afgrænsning

Det har ikke været muligt at få adgang til bygningen, eller bygningens baggård. Vurderingen af de nuværende forhold er derfor baseret på observationer fra vejsiden af bygningen, satellitbilleder, tegningsmateriale fra Københavns Kommunes filarkiv, samt vurderinger af tidstypiske metoder ved bygningens opførsel og tidligere renoveringsarbejder.

Det er valgt at begrænse undersøgelser om fugtteknisk robusthed til varmetransmissionssimuleringer gennem bygningens mest kritiske punkter i klimaskærmen. Ved analyse af temperaturvandringen gennem konstruktionerne vurderes det om der er anledning til risiko for fugtproblemer på indvendig overflade eller inde i konstruktionen. Da de mest kritiske punkter i klimaskærmen er ved knudepunkter mellem bygningsdele er det valgt kun at beregne fugtteknisk robusthed ved hjælp af varmetransmissionssimuleringer i Heat2, og ikke ved hjælp af fugttransportsimuleringer i Wufi1d, da Wufi1d kun kan beregne i én dimension, og således ikke er egnet til fugttransport gennem knudepunkter.

I forbindelse med LCAbyg-beregninger er der ikke taget højde for hvilke bygningsændringer der vil kræves ved nedrivning og genopførsel af casebygningen, for at sikre, at bygningen ved genopførsel overholder BR18 krav til nybyggeri.

Økonomiske beregning af nedrivning- og genopførsel af eksisterende bygning tager ikke højde for genopførsel af bygningen iht. BR18s krav til nybyggeri, og har fokus på hovedkonstruktionerne i bygningen.

Der er lagt vægt på nøjagtigheden af økonomiske beregninger af passive renoveringstiltag, samt økonomisk beregning af både passive- og aktive renoveringstiltag.

4. Teori

4.1 Fugtteknisk robusthed

4.1.1 Relativ luftfugtighed og damptryk

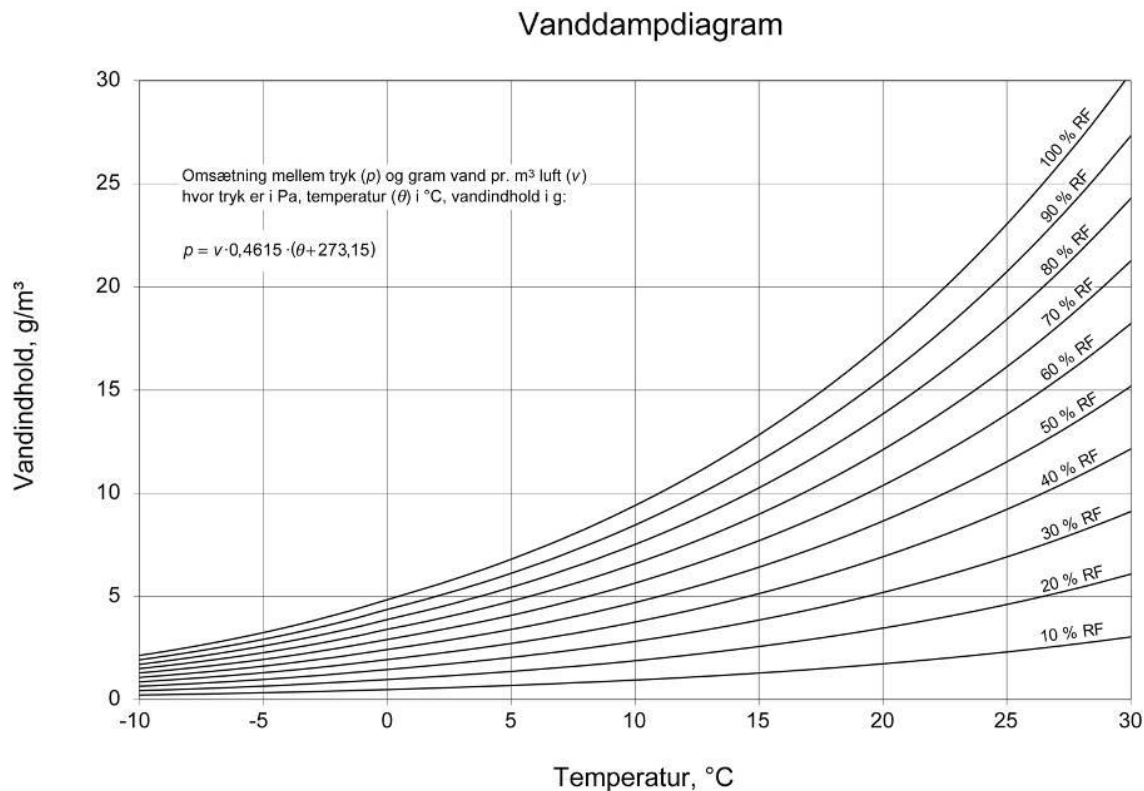
Ved 1 atmosfærisk tryk koger vand ved 100 °C. Ved denne temperatur har flydende vand så stor energimængde i sig, eller varme, at alle vandmolekylerne vibrerer så tilstrækkeligt voldsomt, at vandmolekylerne kan bryde fri af det molekulære bånd til hinanden og blive til gasform i stedet, som opblandes med luften.

Ved lavere temperaturer har nogle vandmolekyler også tilstrækkeligt energi til at kunne bryde fri af det molekulære bånd til andre vandmolekyler og blive til gasform, men fordampningsprocessen går hurtigere desto tættere temperaturen er på 100 °C.

Lavere atmosfærisk tryk gør at der kræves mindre energi for flydende vand til at fordampe, og vand vil koge ved en lavere temperatur end 100 °C. Dette fænomen kan observeres hvis man forsøger at koge vand højt oppe i bjergene. Omvendt vil et højere atmosfærisk tryk gøre det sværere for vand at fordampe.

Der er en grænse for hvor meget vand luft kan indeholde før den er mættet. Dette kaldes for den relative luftfugtighed. Hvis luften er 100% fugtmættet kan vand ikke fordampe.

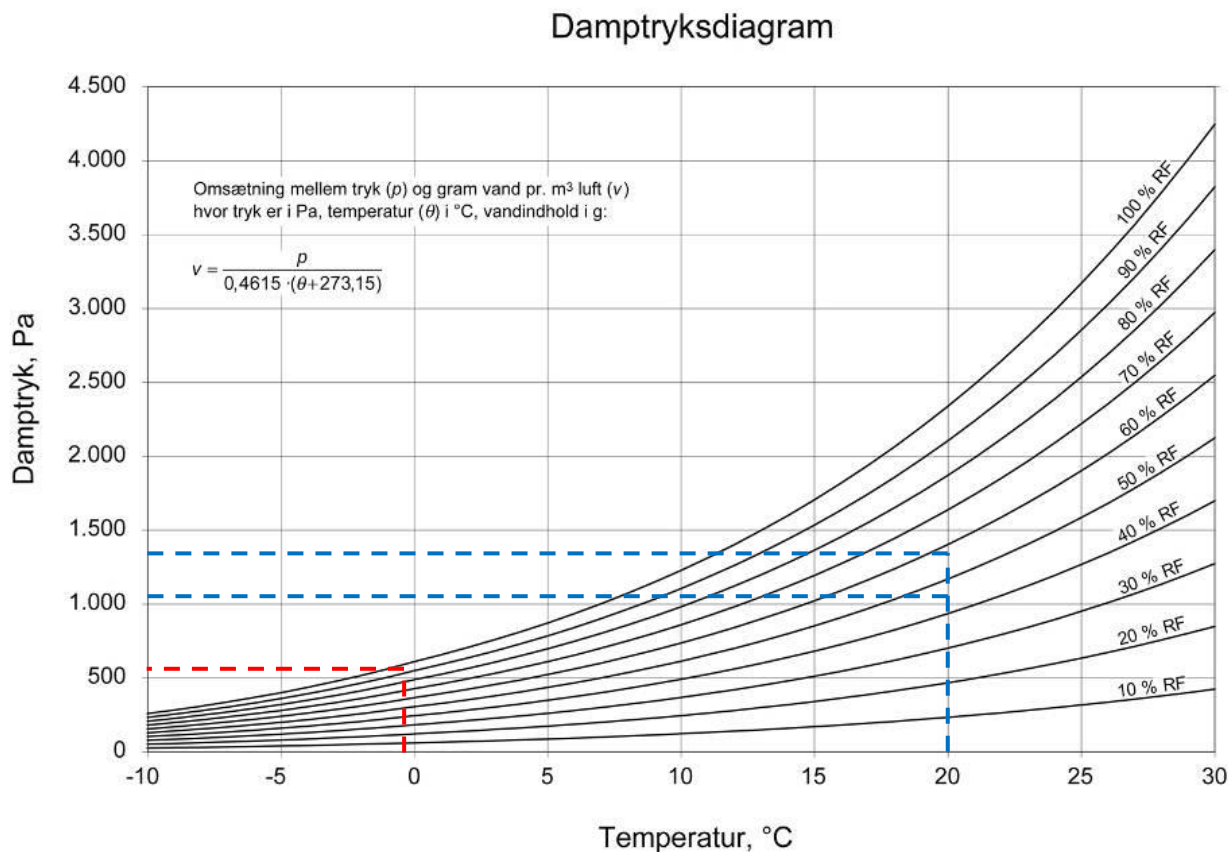
Varm luft fylder mere end kold luft, fordi molekylerne i varm luft vibrerer mere og derfor er længere fra hinanden. Den lavere densitet i varm luft gør, at luften kan optage mere vanddamp før luften er 100% fugtmættet. Den mængde vand som luft har i sig kaldes for det absolutte vandindhold og opgøres i g/m³ luft. Relativ luftfugtighed er et udtryk for sammenhængen mellem det absolutte vandindhold og luftens temperatur, som det fremgår af Figur 1.



Figur 1. Vanddampdiagram (Brandt, 2013).

Luftens damptryk opgøres i Pascal, forkortet Pa, og afhænger af luftens temperatur og relative fugtighed, som det fremgår af Figur 2.

I en lejebolig i fugtbelastningsklasse 3 være større damptryk indenfor end udenfor gennem hele året set på månedsmiddelbasis. Hvis der for eksempel kigges på januar måned kan det aflæses af Tabel 2, at indeluften vil have en relativ fugtighed på 46-58% ved 20 °C, og udeluften har en relativ fugtighed på 94% ved -0,6 °C. Som det kan aflæses af Figur 2 svarer dette til at indeluften har et damptryk på 1050-1350Pa, og udeluften har et damptryk på omtrent 600Pa.



Figur 2. Damptryksdiagram (Brandt, 2013).

Udeklimaforhold for januar måned indtegnet med stiplede røde iht. Tabel 2.

Spænd over indeklimaforhold for januar måned indtegnet med stiplede blå iht. Tabel 2.

Når varm fugtholdig luft nedkøles reduceres luftens evne til at holde på fugt, og luftens relative fugtighed øges. Dette kan for eksempel ske ved mødet med den dårligt isoleret rude i en klimaskærm, eller en kold ydervæg.

Hvis luftens relative fugtighed overstiger 100% vil vandet fortætte og blive til flydende vand igen, hvilket sker når varm fugtholdig luft nedkøles, og luftens evne til at holde på vanddamp dermed reduceres. Den fysiske proces foregår ved at luftens molekyler trækker sig tættere sammen ved nedkøling, fordi molekylerne vibrerer mindre ved lavere temperaturer. Dette giver mindre plads til vandmolekylerne i luften, som presses ud af luften når luftens relative fugtighed overstiger 100%.

Mængden af vanddamp, der tilføres indeklimaet i en bygning kan være meget forskellig, alt efter hvordan bygningen anvendes. Mennesker tilfører indeluften en betydelig mængde fugt gennem udånding og sved. Indendørs tøjtørring, badning, madlavning, mm. tilfører også indeklimaet fugt.

Rum/zoner klassificeres som fugtbelastningsklasse 1-5 alt efter rummets/zonens anvendelse som det fremgår af Tabel 1.

Tabel 1. Fugtbelastningsklasse for forskellige rum/zoner (Brandt, 2013)

Fugtbelastningsklasse	
1	Ubenyttede bygninger, tørre lagerhaller, idrætshaller uden tilskuere, industribygninger uden fugtproduktion
2	Kontorer, forretninger, boliger med normal beboelsestæthed og ventilation ¹
3	Boliger med ukendt beboelsestæthed ² , idrætshaller med mange tilskuere ³
4	Storkøkkener, kantiner, bade- og omklædningsrum
5	Specielle bygninger, fx vaskerier, bryggerier, svømmehaller

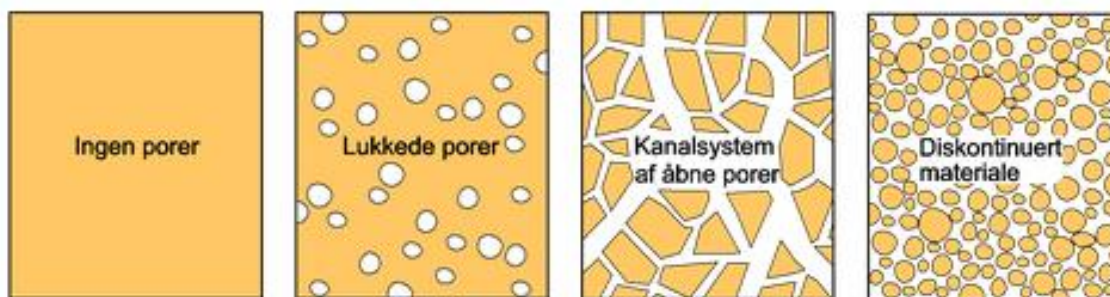
Månedsmiddeltemperaturen for udeluften i Danmark, er lavere end indetemperaturen gennem alle årets måneder. Fugtbelastningsklasserne dækker over et spænd af relativ luftfugtighed. For en lejebolig i fugtbelastningsklasse 3 vil der være højere relativ fugtighed i udeluften på månedsmiddelbasis gennem alle årets måneder ind i indeluften, selv hvis der kigges på de øvre grænseværdier for fugtbelastningsklasse 3. Se Tabel 2.

Tabel 2. Fugtblastningsklassegrænser og udeklima iht. TRY (Brandt, 2013).

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

4.1.2 Materialeegenskaber og konstruktioner

Ved at kigge på strukturen af hvordan byggematerialer er bygget op, kan alle byggematerialer opdeles i 4 grupperinger, som har forskellig evne til at optage og afgive fugt, se Figur 3.



Figur 3. Kategorier af materialestrukturer (Brandt, 2013)

1. Ingen porer: Metal, glas, etc.
2. Lukkede porer: Celleglas, Ekstruderet polystyren, ekspanderet polyuretan, nogle typer letklinker, etc.
3. Kanalsystem af åbne porer: Træ, beton, letbeton, tegl, etc.
4. Diskontinuert materiale: Grus, mineraluld, etc.

Materialer i grupper 2-4 i Figur 3 er i stand til at optage og afgive fugt til luften, hvilket vil sige materialerne er hygroskopiske. Materialer i gruppe 2 er dog kun hygroskopiske i et meget begrænset omfang.

Materialer i gruppe 3 virker kapillarsugende, hvilket vil sige at vand suges ind i materialets åbne poresystem. Kapillarsugning går hurtigst ved store porer, men kan over lang tid suges længere i et materiale med små porer. I fuldmurede ydervægge kan kapillarsugning medføre at ydervæggen opfugtes betydeligt helt op til omkring 1. sals etagedæk (Larsen, 2021).

Regn kaldes teknisk set for slagregn så snart det er påvirket af vindet, men intensiteten af slagregn afhænger både af mængden af nedbør og vindhastigheden. Vinden kommer primært fra vest og sydvest i

Denmark, hvilket vil sige at facader, der vender mod vest og sydvest er mest udsatte i Danmark. Især facader i kystområder, hvor der ikke er nogen læ for vinden, er særligt udsatte. I en facade af et materiale som teglsten vil slagregn trykke vandet ind gennem materialets åbne porer. En massiv mur af tegl er først tæt ved 1,5-stens tykkelse. En muret facade mod vest eller sydvest vil være udsat for indtrængende slagregn hvis den er udført tyndere end 1,5-sten.

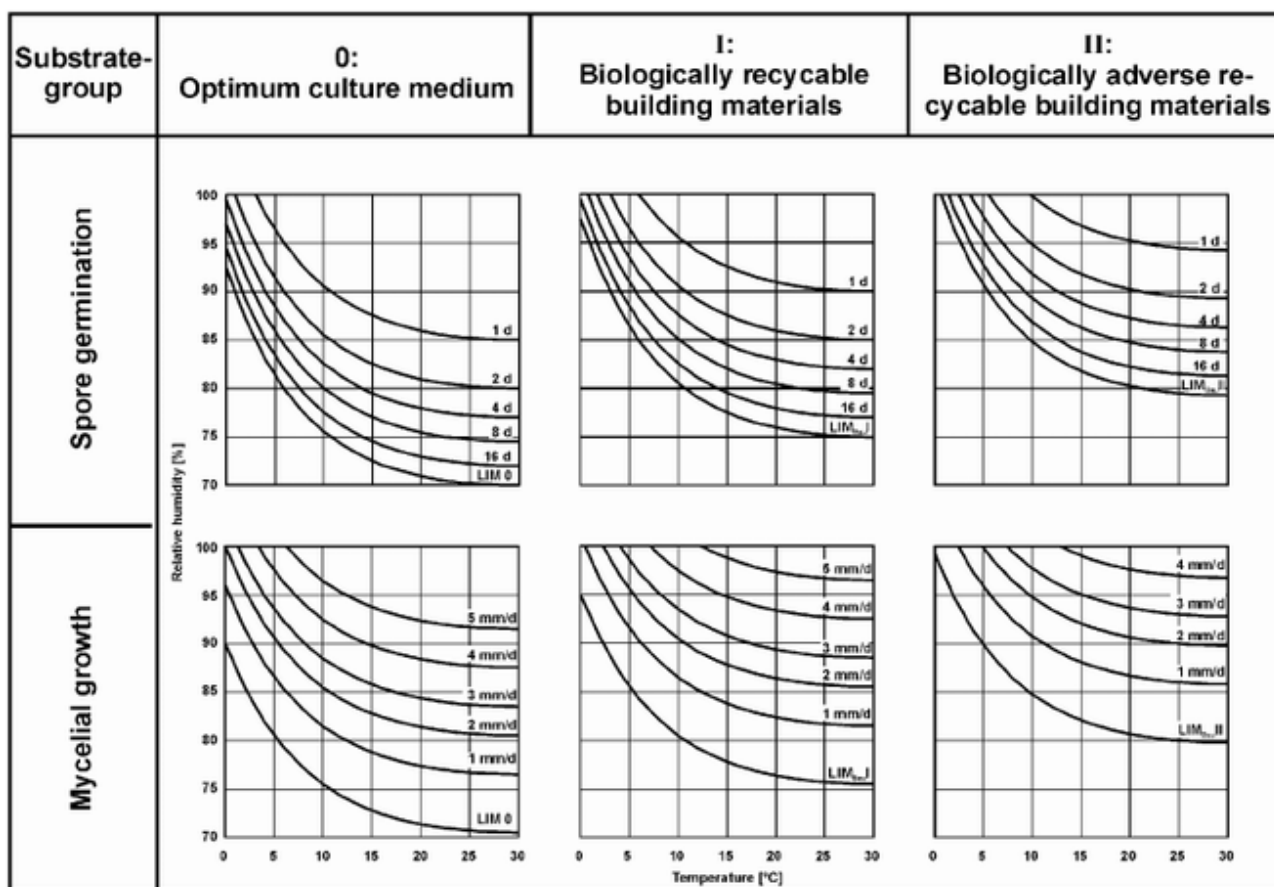
Konstruktioner skal sammensættes af materialer på en måde så det sikres at konstruktionen er fugtteknisk robust.

4.1.3 Skimmelsvamp, råd, trænedbrydende svampe og insektangreb

Skimmelsvamp og skimmelsvampesporer findes overalt i naturen, i bygninger, på madvarer, osv. Når de rette betingelser er tilstede kan en skimmelspore spire og udstikke hyfer, som tilsammen kaldes for mycelium. Der er fundet over 50 forskellige arter skimmel i bygninger, som har forskellige præferencer ift. vækstbetingelser, men fælles for alle skimmelarter gælder, at spiring af sporer, og vækst af mycelium afhænger af 4 betingelser, som alle skal være til stede.

De 4 betingelser for skimmelvækst er tilgængelig næring, den rette temperatur, den rette luftfugtighed og tilstrækkeligt med tid hvor de 3 øvrige vækstbetingelser er til stede. På Figur 4 ses sammenhængen mellem de 4 vækstbetingelser, grupperet i 3 kolonner efter tilgængelighed af næring, hvor 0 er optimale næringsforhold, I er biologisk nedbrydelige materialer, og II er biologisk svært nedbrydelige materialer. Hver af de tre kolonner er yderligere opdelt i vandrette rækker for skimmelsporespiring, og myceliumvækst.

Graferne på kurverne repræsenterer den nedre grænse for mulig skimmelvækst efter forskellige længder af tid, hvor de 3 øvrige vækstbetingelser har været til stede; næring, temperatur og relativ luftfugtighed. Kurverne LIM_0, LIM_I og LIM_II repræsenterer uendelig tid, forkortet fra "limitless time" på engelsk.



Figur 4. Sedlbauerkurve over skimmelsporespiring og myceliumvækst (Sedlbauer for spore germination and mycelium growth, 2015).

Den primære metode til at fjerne fugt fra indeklimaet er gennem ventilation, enten som naturlig-, mekanisk- eller hybrid ventilation. Ved naturlig ventilation er det mest effektive at udlufte kortvarigt og kraftigt med gennemtræk så fugtig indeluft erstattes hurtigt med tør udeluft, og nedkøling af varme indvendige overflader begrænses.

Ved mekanisk ventilation indblæses tør udeluft til indeklimaet via et motoriseret ventilationsaggregat og opblandes med fugtig indeluft, samtidigt med at fugtig indeluft suges ud af bygningen og hjælper til at opvarme den tørre udeluft gennem ventilationsanlæggets varmegenvinding.

Et hybridt ventilationssystem er en kombination af naturlig- og mekanisk ventilation.

Udover at fjerne fugt fra indeklimaet, hjælper ventilation også til at fjerne luftforurening fra indeklimaet såsom CO₂, som kan hobe sig op i indeklimaet hvis der ikke ventileres tilstrækkeligt.

4.2 Installationer som aktive renoveringstiltag

4.2.1 PV-T paneler

PV-T Panel står for photovoltaic-thermal panel, og er en hybrid mellem solcelle- og solvarmepaneler, som både genererer el fra solens stråler, samt varme til bygningens varme vand.

Traditionelle solcellepaneler genererer elektricitet fra solens stråler ved hjælp af fotovoltaiske celler. Processen udvikler varme, kombineret med at selve solcellepanelerne også opvarmes af solens stråler. For at udnytte varmen fra solcellepaneler er der i PV-T paneler et varmeabsorberende lag bag solcellerne, såsom saltlage. Varmen, der absorberes fra solcellepanelerne kan anvendes til opvarmning af bygningens vand eller rumopvarmning. Da casebygningen er tilsluttet fjernvarme vil varmen kun anvendes til opvarmning af vand. Varmeabsorberingen fra solcellepanelerne hjælper til at nedkøle solcellepanelerne, hvilket øger effektiviteten af elproduktionen, hvorfor PV-T paneler er mere effektive til elproduktion end traditionelle solcellepaneler, samtidigt med at PV-T panelerne genererer varme til brug i bygningen (free energy, u.d.)

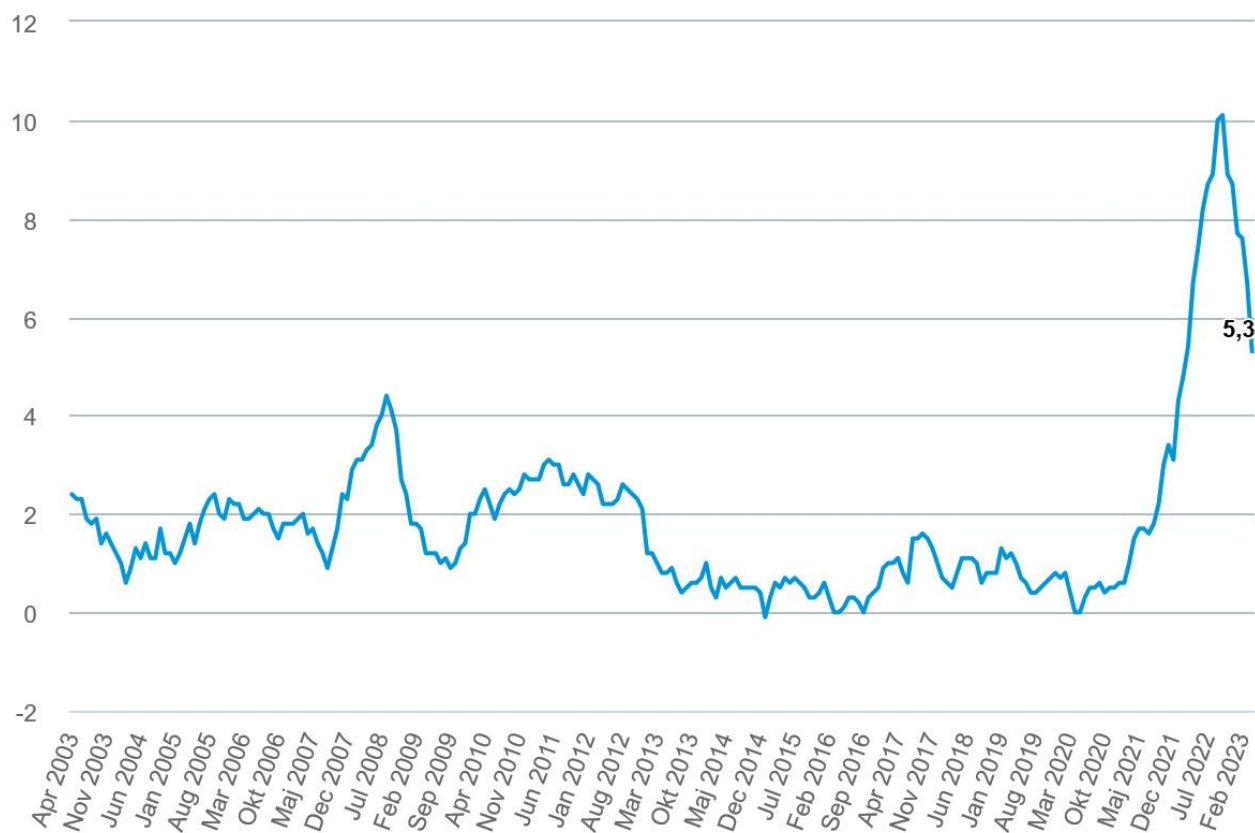
4.3 Økonomi

Økonomiske beregninger af renoveringstiltag er nødvendige for at kunne vurdere om tiltagene er rentable for bygningsejeren. Hvis udgifterne til materialer og arbejdstid er større end energibesparelserne og indtægterne gennem husleje over en betragtningsperiode, eller ved videresalg af boliger/erhvervslokaler, er tiltaget ikke rentabelt. Ved prissætning af udgifter til arbejdstid og materialer kan der være stor prisforskel på materialeproducenter, materialeforhandlere og firmaers prissætning af arbejdstid. Prisdata, der stammer fra uvildig kilde kan give et skøn af udgifterne forbundet med et byggeri før projektet opstartes.

Økonomiske beregninger for en betragtningsperiode over de næste 50 år skal tage højde for udskiftning og vedligehold af materialer og konstruktioner, da dette repræsenterer en udgift oveni de øjeblikkelige udgifter til materialer og arbejdstid. De priser, der anvendes til beregning af udgifter ved renoveringsarbejdets opstart skal fremskrives med en skønnet gennemsnitlig værdi for den årlige udvikling i inflationen. Inflationen i Danmark måles på forbrugerprisindeks, som fortæller noget om prisudviklingen på varer og tjenester som en typisk dansker forbruger (Danmarks Statistik, 2023). Inflationen har fra april 2003 og frem til efterår/vinter 2021 været relativt stabil med en stigning på ca. 0-4% årligt, se Figur 5. I oktober 2022 var inflationen på sit højeste på 10%, til sammenligning med samme måned året før. Inflationen er typisk relativt stabil i Danmark, men der kan ske store udsving over korte perioder, influeret af atypiske hændelser, såsom Ruslands invadering af Ukraine den 24. februar 2022 (Niels Holst, 2023). Der regnes med en fast årlig inflationsstigning på 2% for betragtningsperioden på 50 år.

Forbrugerprisindeks, ændring i forhold til samme måned året før

Enhed: Ændring i forhold til samme måned året før (pct.):



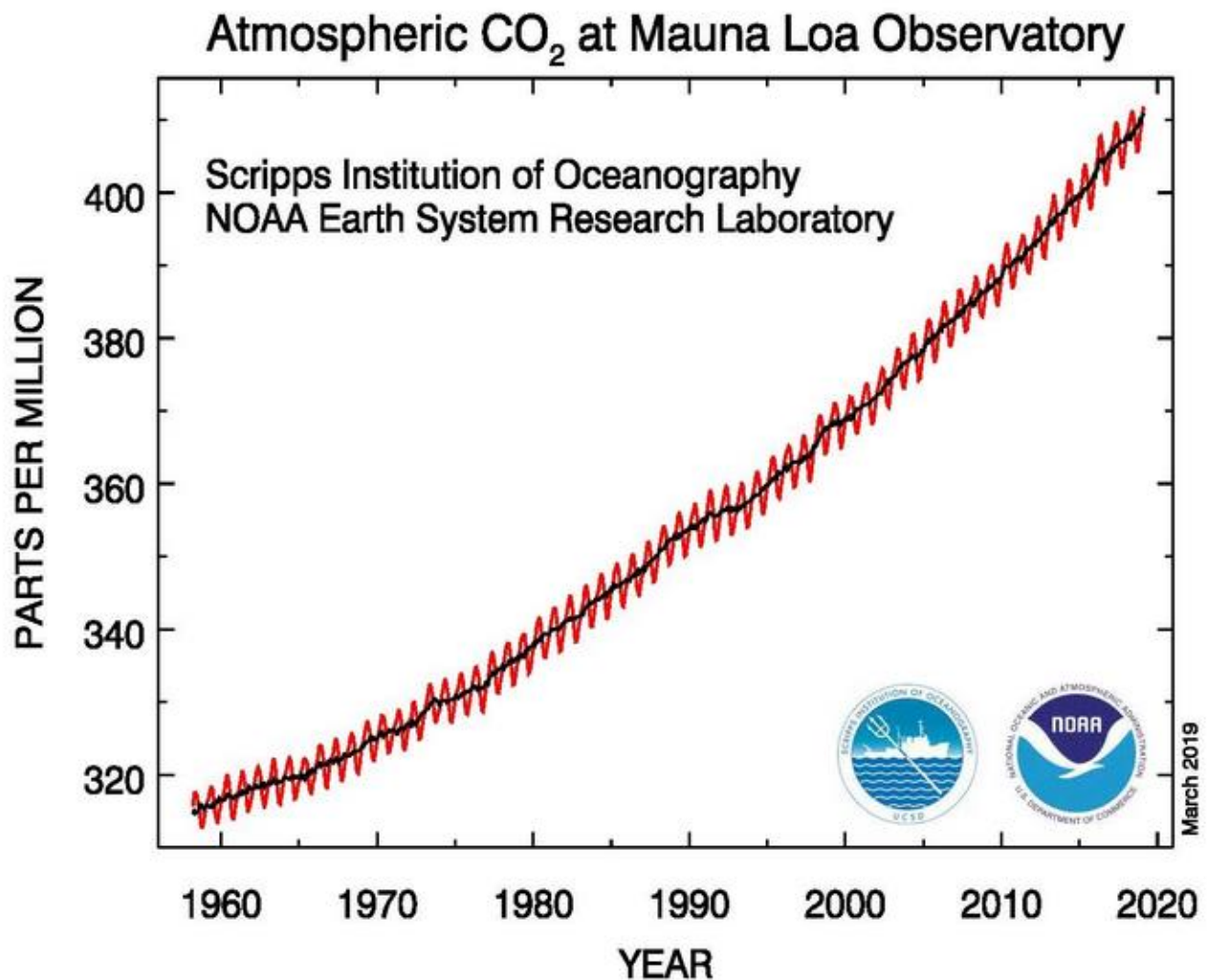
Figur 5. Graf over udvikling af forbrugerprisindekset i Danmark fra april 2003 til februar 2023, ændring i forhold til samme måned året før (Danmarks Statistik, 2023).

4.4 Miljøpåvirkning

4.4.1 Global opvarmning

Jordens atmosfære bestod i 2019 af 78,084 % kvælstof/nitrogen (N_2), 20,9463 % ilt/oxygen (O_2), 0,934 % Argon (Ar), 0,041 % kuldioxid/kultveilte (CO_2), 0-4 % vanddamp (H_2O) og 0,002 % andre luftarter (The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide, 2019). Atmosfærens gennemsnitlige indhold af CO_2 i 2022 var steget til 419 ppm eller 0,0419 % (Annual CO_2 Data, u.d.).

Siden Charles David Keeling for første gang målte atmosfærens indhold af CO_2 i 1958 på Hawaii har det årlige gennemsnitsindhold af CO_2 været stigende. Charles David Keeling målte i 1958 indholdet af CO_2 i atmosfæren til 316 ppm. Før menneskehedens industrialisering begyndte i vesten var atmosfærens CO_2 indhold på 280 ppm (How the World Passed a Carbon Threshold and Why It Matters, 2017), se figur Figur 6.



Figur 6. Keeling-graf over atmosfærens CO_2 -indhold fra år 1958 til 2020 (The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide, 2019)

Det er en naturlig proces, at en del af solens stråler absorberes af drivhusgasser i atmosfæren, og medfører øget opvarmning, se Figur 7. Menneskehedens udledning af drivhusgasser, bevirker dog, at denne proces forstærkes unaturligt, hvormed mere af solens stråling absorberes i atmosfæren og jorden således opvarmes. Der findes adskillige drivhusgasser udover CO₂, såsom lattergas (N₂O) og metan (CH₄), men for at kunne sammenligne tal og resultater måles udledning af forskellige drivhusgasser ofte i CO₂-ækvivalens, hvilket er et udtryk for hvad udledningen svarer til i ren CO₂.



Figur 7. Visualisering af drivhuseffekten (Videnskab.dk, 2012)

4.4.2 LCA-beregning og grænseværdier

For at nedbringe byggebranchens miljøbelastning har bygningsreglementet 2018 stillet krav til, at der for nogle typer nybyggeri, skal laves en LCA-beregning (livscyklusanalyse), der dokumenterer hvor stor en miljøbelastning byggeriet vil have over en betragtningsperiode på 50 år.

For nybyggeri, hvor der kræves en LCA-beregning, er grænseværdien på 12,0 kg CO₂-ækvivalenter pr. m² pr. år (Bolig- og Planstyrelsen, BR18).

Grænseværdien for lavemissionsklassen er 8,0 kg CO₂-ækvivalenter pr. m² pr. år (Bolig- og Planstyrelsen, BR18).

BR18 stiller ingen krav om LCA-beregning ved renovering af eksisterende bygninger.

4.4.3 Forsyning

Bygningers energiforsyning kan opdeles i to grupper: Bygningens primære energibehov og individets energiforbrug.

Individets energiforbrug omfatter f.eks. en beboers forbrug af el til TV, computer, hårtørrer, osv. Denne energi indgår ikke i energirammeberegningen, og forventes at være upåvirket af bygningens primære

energibehov. BR18 stiller ikke krav til størrelsen af individets energiforbrug, det er op til den enkelte, at begrænse dette.

Bygningens primære energibehov omfatter al den energi, der anvendes til bygningens opvarmning, mekanisk ventilation, varmt vand, køling og elektrisk belysning. For case-bygningen består det primære energibehov af fjernvarme, som leverer varme til bygningens radiatorer og varme vand, samt el, der leverer energi til bygningens mekaniske ventilation i bad- og køkken, samt elektrisk belysning.

Fjernvarme og el til bygningsdrift belaster også klimaet, selvom produktionen af energien sker et andet sted end ved bygningen hvor det anvendes. Det er derfor politisk bestemt, at typen af varmforsyning en bygning har, har negativ eller positiv indflydelse på bygningens energirammeberegning.

I gennemsnit i hovedstadsområdet i 2022 udledte fjernvarme 43,1 g CO₂/kWh (Hofer, u.d.), og el udledte 132 g CO₂/kWh (Green power Denmark, 2023).

4.5 Nutidens- og fremtidens klima

4.5.1 Nutidens klima

For simulering med nutidens klimadata anvendes design reference year (DRY) 2013, som påkrævet i bygningsreglementet siden BR15. Dette sikrer, at alle projekterende i Danmark anvender de samme klimadata, og klimaet dermed ikke bliver et konkurrenceparameter ved udbud, eller et område, der kan spekuleres i. Design reference year 2013 er det danske klimareferenceår, og er baseret på DMI vejrmålinger i dekadern fra 2001-2010. DRY2013 er nutidens designmæssige klima, og ikke det faktisk nuværende klima.

De forandringer, der sker i det danske- og globale klima som følge af global opvarmning, vil medføre udfordringer for mange bygninger, der ikke er designet til et klima under konstant forandring. Der findes flere modeller til fremskrivning af klimadata, hvoraf to modeller er henholdsvis International Energy Agency (IEA) og IPCC-klimadata.

4.5.2 Fremskrivningsmodel for temperatur - International Energy Agency (IEA)

Fremskrivning af klimadata betegnes TMY for Typical Meteorological Year, og er sammenstillet data målt over en årrække på mindst 12 år. TMY2050s og TMY2090s, bygger på fremskrevne klimadata fra IEA EBC Annex 80 Resilient Cooling of Buildings CORDEX projekt, som er bias korrigeret (Cannon 2018) i forhold til historiske klimadata for den målestation som de fremtidige data skal repræsentere. CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) betyder at de fremskrevne klimadata er nedskaleret til at være specifikke for Danmark. Fremskrevne klimadata for TMY2050s og TMY2090s viser at det bliver varmere i 2050'erne, og endnu varmere i 2090'erne.

Månedsmiddeltemperaturen i 2050'erne forudsiges at stige til 9,7 °C (Kim B. Wittchen, 2021), se Tabel 4.

Månedsmiddeltemperaturen i 2090'erne forudsiges at stige til 11,3 °C (Kim B. Wittchen, 2021), se Tabel 4.

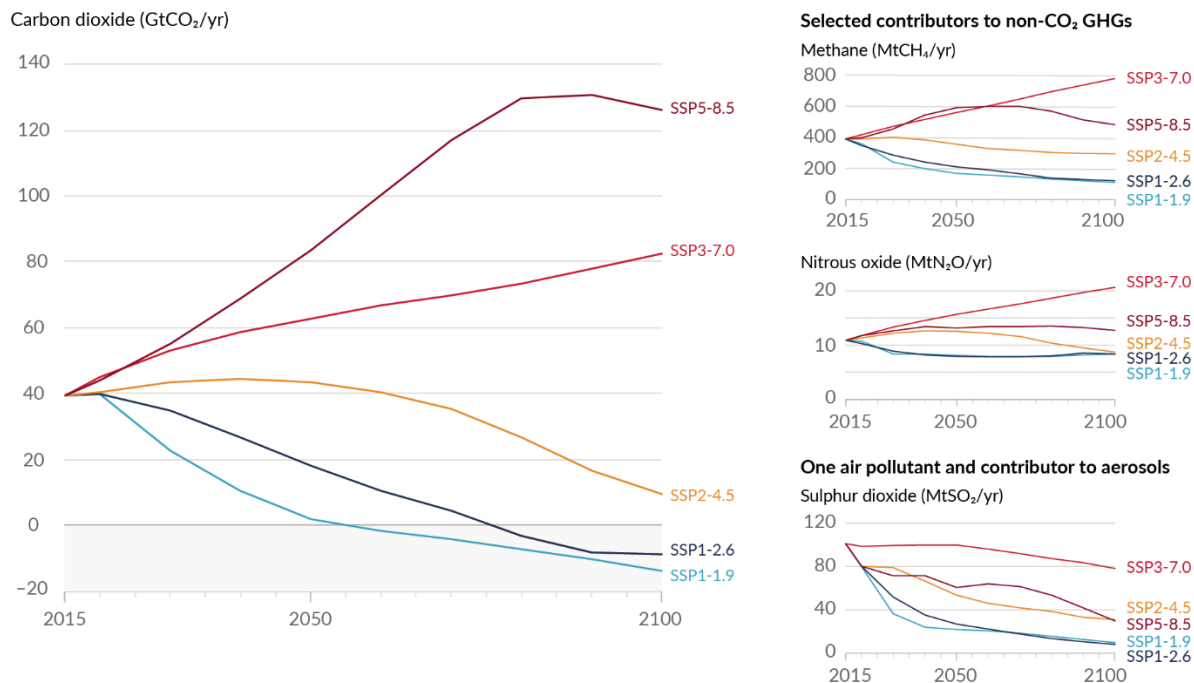
4.5.3 Fremskrivningsmodel for temperatur – IPCC klimarapport

Det internationale klimapanel (IPCC) udgiver regelmæssigt en klimarapport, der beskriver mulige scenarier for fremtidens globale klima. Den nyeste rapport, AR6 (Assessment Report 6), udkom i marts 2023 og beskriver 5 forskellige udviklingsscenarier, som afhænger af hvilken socioøkonomisk retning vi som menneskehed går i, se Figur 8. For alle scenarier gælder, at den gennemsnitlige globale temperatur forbliver stigende frem mod år 2100. Udledt CO₂ forbliver i atmosfæren i 300-1000 år da gassen er meget lidt reaktiv (The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide, 2019) sammenlignet med andre drivhusgasser som metan, der kun forbliver i atmosfæren i omtrent 12 år efter udledning, men tilgængelig absorberer mere energi i atmosfæren end CO₂ mens gassen er til stede (IEA, u.d.). Som det kan ses af punkt

(b) i Figur 8 er CO₂ en væsentligt større årsag til globale temperaturstigninger end alle andre drivhusgasser tilsammen. Dette kan hænge sammen med CO₂-gassens evne til at akkumulere i atmosfæren så længe menneskeheden udleder større mængder CO₂ end gassen kan nå at reagere og miste sin effekt som drivhusgas.

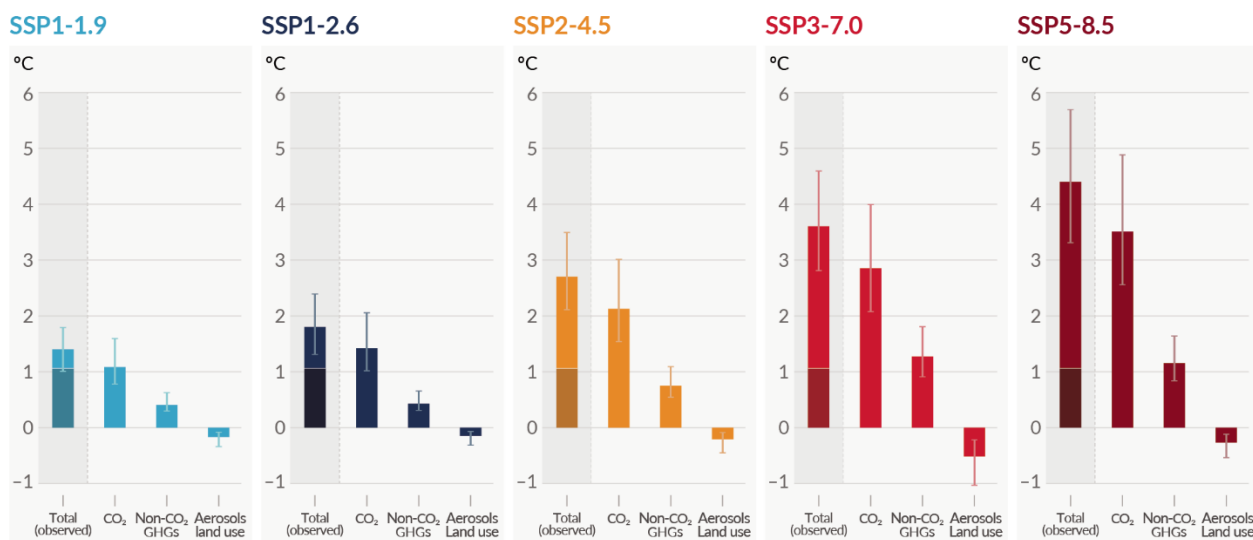
Future emissions cause future additional warming, with total warming dominated by past and future CO₂ emissions

(a) Future annual emissions of CO₂ (left) and of a subset of key non-CO₂ drivers (right), across five illustrative scenarios



(b) Contribution to global surface temperature increase from different emissions, with a dominant role of CO₂ emissions

Change in global surface temperature in 2081–2100 relative to 1850–1900 (°C)



Total warming (observed warming to date in darker shade), warming from CO₂, warming from non-CO₂ GHGs and cooling from changes in aerosols and land use

Figur 8. Udviklingsscenarier for det fremtidige klima frem mod år 2100 ifølge IPCC-rapport 6.

(a) viser 5 mulige scenarier for udledning af CO₂ målt i milliarder ton / år.

(b) viser indflydelsen af de 5 scenarier på den globale temperatur i 2081-2100 sammenlignet med temperaturen i 1850-1900. SSP står for delte socioøkonomiske retninger (Shared Socioeconomic Pathways), hvor SSP1-1.9 og SSP1-2.6 er de bæredygtige retninger, SSP2-4.5 er mellemvejen, SSP3-7.0 er præget af konflikt mellem regioner og SSP5-8.5 er præget af fossile brændstoffer som primær energikilde (Masson-Delmotte, 2021).

Temperaturstigningerne vist i Figur 8 for de 5 delte socioøkonomiske scenarier er opstillet i tabel Tabel 3. Som det kan ses af de tre sidste kolonner er de forudsete fremtidige temperaturer oplyst for 3 tidsintervaller, der hver spænder over 2 dekader. Gennemsnittet af stigningen i den gennemsnitlige globale temperatur fra 2015-2100 kan beregnes for hvert tidsinterval i alle 5 scenarier:

2021-2040, gennemsnitlig temperaturstigning:

$$(1,5^{\circ}\text{C} + 1,5^{\circ}\text{C} + 1,5^{\circ}\text{C} + 1,5^{\circ}\text{C} + 1,6^{\circ}\text{C}) / 5 = 1,52^{\circ}\text{C}$$

2041-2060, gennemsnitlig temperaturstigning:

$$(1,6^{\circ}\text{C} + 1,7^{\circ}\text{C} + 2,0^{\circ}\text{C} + 2,1^{\circ}\text{C} + 2,4^{\circ}\text{C}) / 5 = 1,96^{\circ}\text{C}$$

2081-2100, gennemsnitlig temperaturstigning:

$$(1,4^{\circ}\text{C} + 1,8^{\circ}\text{C} + 2,7^{\circ}\text{C} + 3,6^{\circ}\text{C} + 4,4^{\circ}\text{C}) / 5 = 2,78^{\circ}\text{C}$$

Tabel 3. Scenarier for globale temperaturstigninger frem mod år 2100 ifølge IPCC-rapport 6 (Miljøministeriet, 2023).

Scenarie	Beskrivelse	Temperaturstigning siden industrialiseringen. I parentes: 90% konfidensintervallet.		
		2021-2040	2041-2060	2081-2100
SSP1-1.9	Lavt udledningsscenarie. Holder sig under 1,5°C.	1,5 °C (1,2-1,7 °C)	1,6 °C (1,2-2,0 °C)	1,4 °C (1,0-1,8 °C)
SSP1-2.6	Lav udledning. Holder sig under 2°C.	1,5 °C (1,2-1,8 °C)	1,7 °C (1,3-2,2 °C)	1,8 °C (1,3-2,4 °C)
SSP2-4.5	Mellemhøjt udledningsscenarie	1,5 °C (1,2-1,8 °C)	2,0 °C (1,6-2,5 °C)	2,7 °C (2,1-3,5 °C)
SSP3-7.0	Højt udledningsscenarie. Indhold af CO2 i år 2100 er ca. dobbelt af i dag.	1,5 °C (1,2-1,8 °C)	2,1 °C (1,7-2,6 °C)	3,6 °C (2,8-4,6 °C)
SSP5-8.5	Meget højt udledningsscenarie.	1,6 °C (1,3-1,9 °C)	2,4 °C (1,9-3,0 °C)	4,4 °C (3,3-5,7 °C)

4.5.4 Fremtidens klima

Vejret ændrer sig hele tiden, og det er derfor svært at definere hvad der er normalt vejr hvis der kigges på en enkelt dag eller en kort periode. En klimanormal spænder over en periode på 30-år og fortæller hvordan vejret i gennemsnit har været over den periode. Den danske klimanormal bliver erstattet hver- eller hveranden dekade, og den gældende klimanormal i dag spænder ikke længere fra 1961-1990, men i stedet fra 1981-2010.

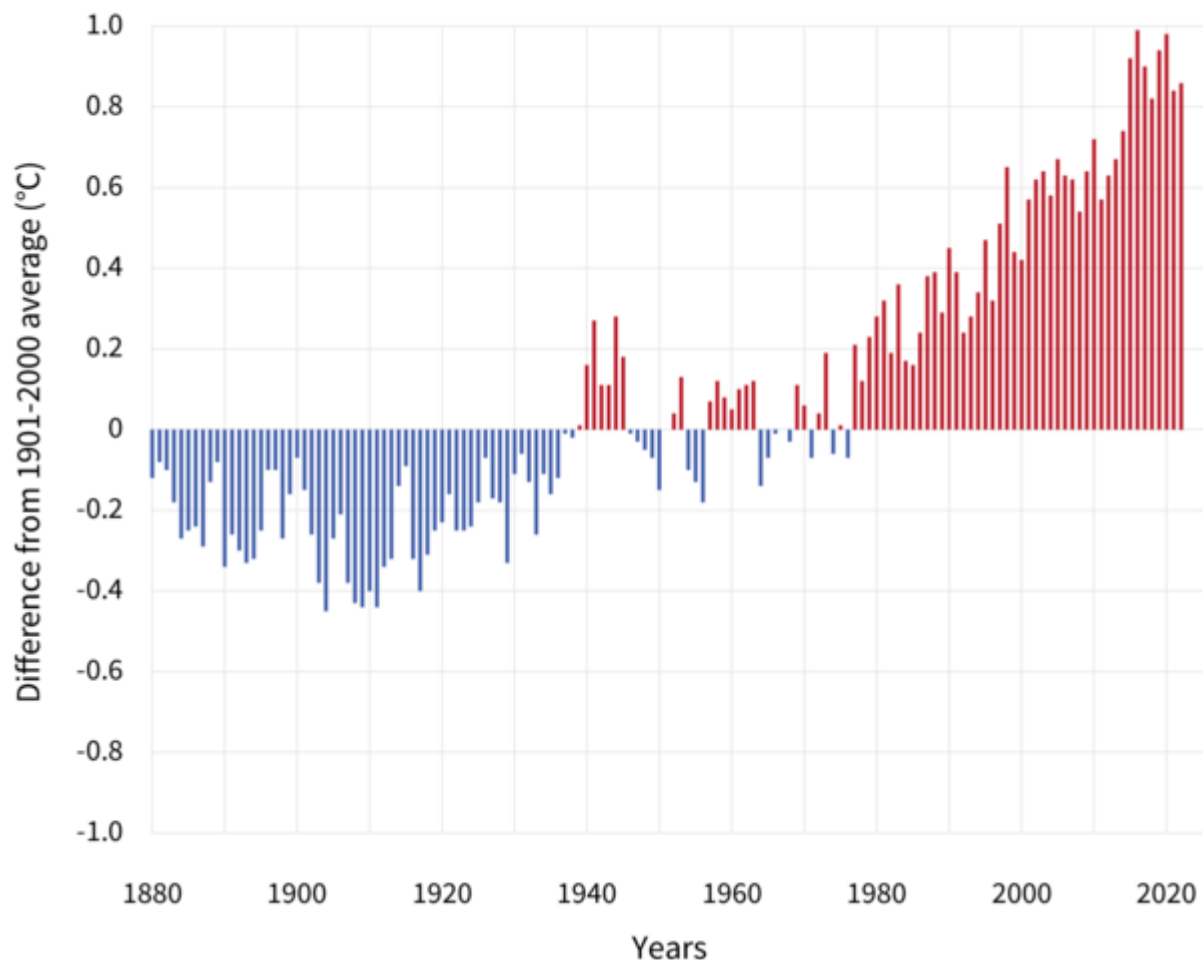
Sammenlignes forskellige klimanormalværdier fra den forhenværende klimanormal fra 1961-1990 med den gældende klimanormal fra 1981-2010 og foreløbige værdier for klimanormalen fra 1991-2020 synliggøres en udvikling indenfor flere klimatiske parametre, se Tabel 4. Tendenserne i udviklingen bekræftes ligeledes når der sammenlignes med dekadeværdier for 2001-2010 og 2011-2020. Dekadeværdierne for 2011-2020 er de mest retvisende gennemsnitsværdier vi har for nutidens klima i Danmark.

Tabel 4. Klimanormalværdier for forhenværende-, gældende-, og foreløbige danske klimanormal. Klimanormal-værdier: Årsmiddeltemperatur, vintertemperatur, sommertemperatur, årsnedbør, vinternedbør, sommernedbør (DMI, 2023). Max døggnedbør 1961-1990 (Cappelen, Ekstreme nedbørshændelser i Danmark, 2021). Max døggnedbør 1981-2010 (Cappelen, Climatological Standard Normals 1981-2010 - Denmark, The Faroe Islands and Greenland, 2019). Max stormstyrke 1961-1990 (Wikipedia, 2023). Max stormstyrke 1981-2010, max stormstyrke 1991-2020 (Cappelen, Oversigt over storm og ekstrem vind i Danmark). Max. vandstand ved vestkysten (Kystdirektoratet, u.d.). DRY2013-landværdier, max. stormstyrke 2011-2020 (DMI, 2014). Max. stormstyrke DRY2013 (DMI, 2005).

	Klimanormaler			DRY2013	Dekade
	1961-1990	1981-2010	1991-2020	2001-2010	2011-2020
Land					
Årsmiddeltemperatur, °C	7,7	8,3	8,7	8,8	9,1
Vintertemperatur (DJF), °C	0,5	1,5	2,0	1,9	2,6
Sommertemperatur (JJA), °C	15,2	15,7	16,1	16,4	16,1
Årsnedbør, mm	712	746,2	759,1	765	781,7
Vinternedbør (DJF), mm	161,6	181,0	186,3	180	196,5
Sommernedbør (JJA), mm	188,3	200,8	212,2	236	222,5
Max. døggnedbør (JJA), mm	81,0	137,0	-	-	147,5
Hav					
Max. stormstyrke (DJF), m/s	40 (1984)	51,4 (1999)	51,4 (1999)	46,0 (2005)	53,5 (2013)
Max. vandstand ved vestkysten, cm over DVR90	489 (storm 1981)	500 (storm 1999)	500 (storm 1999)	402 (storm 2005)	414 (storm 2013)

For at forstå vejrets udvikling er det nødvendigt at betragte vejret over forskellige tidsspænd. Sammenlignes den gennemsnitlige globale overfladetemperatur fra 1880-2022 med de danske årsmiddeltemperaturer for klimanormalerne i Tabel 4 ses det at ingen af klimanormalerne eller dekadeværdierne er repræsentative for gennemsnitstemperaturen i perioden på 1880-2022, hvilket kan tilskrives den menneskeskabte globale opvarmning, der især har forårsaget en opvarmning af jorden siden 1960'erne, se Figur 9.

GLOBAL AVERAGE SURFACE TEMPERATURE



Figur 9. Den gennemsnitlige globale overfladetemperatur for hvert år, sammenlignet med den gennemsnitlige globale overfladetemperatur fra 1880-2022. Blå indikerer år med koldere temperatur end gennemsnittet. Rød indikerer år med varmere temperatur end gennemsnittet (Dahlman, 2023).

Den tværministerielle arbejdsgruppe for klimatilpasning har i 2007 udarbejdet et katalog over mulige konsekvenser af fremtidige klimaændringer og overvejelser om klimatilpasning. Kataloget var baseret på IPCCs fjerde klimarapport, der blev udgivet i 2007 (Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning, 2007). I IPCCs fjerde klimarapport blev fremstillet 3 udviklingsscenarier, A2, B2 og EU2C frem til år 2100. I kataloget sammenlignes scenarierne i forhold til den forhenværende danske klimanormal for 1961-1990, se Tabel 5.

Tabel 5. Klimaændringerne i Danmark beregnet for tre tidsperioder: 2006-2035, 2036-2065 og 2071-2100. Ændringerne er angivet i forhold til perioden 1961-1990 for scenarierne A2, B2 og EU2C. JJA står for juni, juli, august. DJF står for december, januar, februar (Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning, 2007).

Scenarium	A2			B2			EU2C		
Årstal	2006-2035	2036-2065	2071-2100	2006-2035	2036-2065	2071-2100	2006-2035	2036-2065	2071-2100
Land									
Årsmiddeltemperatur	+0,6°C	+1,4°C	+3,1°C	+0,7°C	+1,4°C	+2,2°C	+0,7°C	+1,2°C	1,4°C
Vintertemperatur (DJF)	+0,6°C	+1,4°C	+3,1°C	+0,7°C	+1,3°C	+2,1°C	+1,0°C	+1,7°C	+2,0°C
Sommertemperatur (JJA)	+0,5°C	+1,3°C	+2,8°C	+0,6°C	+1,3°C	+2,0°C	+0,7°C	+1,1°C	+1,3°C
Årsnedbør	+2%	+4%	+9%	+2%	+5%	+8%	0%	+0%	+0%
Vinternedbør (DJF)	+8%	+19%	+43%	+6%	+11%	+18%	0%	0%	+1%
Sommernedbør (JJA)	-3%	-7%	-15%	-2%	-4%	-7%	-2%	-3%	-3%
Maximum døgnnedbør (JJA)	+4%	+10%	+21%	+5%	+12%	+20%	+11%	+18%	+22%
Hav									
Middelvind (DJF)	+1%	+2%	+4%	+1%	+1%	+2%	+1%	+1%	+1%
Max. stormstyrke (DJF)	+2%	+5%	+10%	0%	+1%	+1%	+1%	+1%	+1%
Max. vandstand ved Vestkysten			+0,45-1,05m*						

4.6 Lovgivning om energiforhold og renovering

4.6.1 Energiramme og renoveringsklasser

Energirammen er hvor meget primærenergi en bygningen må benytte til bygningsdrift. Bygningens primære energiforbrug omfatter tilført energi til opvarmning, ventilation, varmt vand, køling og eventuel belysning, ganget med en faktor alt efter hvilken energitilførsel man har. Tilført fjernvarme ganges f.eks. med en faktor på 0,85, og tilført el ganges med en faktor på 1,9. Den store forskel i faktor er politisk bestemt og bevirker, at det er langt lettere at overholde energiramme krav hvis en bygnings varmebehov opfyldes via fjernvarme, end hvis bygningen opvarmes med el, f.eks. gennem elektriske varmeapparater.

I forbindelse med energirenovering kan det vælges at gå efter opfyldelse af renoveringsklasse 1- eller 2. For at opnå en af renoveringsklasserne skal følgende krav overholdes:

”1) Behovet for tilført energi skal mindst reduceres med 30,0 kWh/m² pr. år.

2) Eftervisningen skal ske i henhold til SBI-anvisning 213 Bygningers energibehov.

3) Der skal være en andel af vedvarende energi i den samlede energiforsyning til bygninger.

4) Ved anvendelse af renoveringsklasse 1 skal kravene til indeklimaet i §§ 382-384, § 386 og §§ 443-449 overholdes.” (Bolig- og Planstyrelsen, BR18)

Kravet i punkt 1 tolkes som opfyldt hvis bygningens energibehov efter endt renovering er reduceret med 30,0 kWh/m² år til sammenligning med bygningens energibehov ved opførsel. Kravets formulering kan også tolkes som den reduktion der er sket fra endt renovering til sammenligning med energibehovet ved renoveringens opstart, men den tolkning vil besværliggøre- og i nogle tilfælde umuliggøre at kravet kan opnås gennem successiv renovering af eksisterende bygninger.

Kravet i punkt 2 opfyldes ved påvisning af overholdt energiramme ved beregning i Be18, da Sbi-ansvisning 213 beskriver hvor Be18 kan anvendes til beregning af bygningers energibehov.

Kravet i punkt 3 opfyldes hvis bygningen opvarmes med fjernvarme, samt med bidrag fra solceller, solvarme eller PV-T paneler som hybrid mellem solceller- og solvarme.

Kravet i punkt 4 stiller krav til tilstrækkelig belysning af arbejdsrum og fælles adgangsveje, sommerkomfortberegning af kritisk rum, og krav om ventilationssystem, der sikrer tilstrækkelig ventilation af boligen:

- Grundluftskifte på mindst 0,30 l/s pr. m² opvarmet etageareal
- Regulérbar mekanisk emhætteudsugning i køkken med afkast til det fri. Skal som udgangspunkt have en kapacitet på mindst 120 l/s.
- Badeværelse med wc skal have udsugning på mindst 15 l/s

Derudover skal bygningens boliger opfylde en grænseværdi for bygningens primære energibehov:

Renoveringsklasse 2

- 70,0 kWh/m² pr. år tillagt 2.200 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal for renoveringsklasse 2

Renoveringsklasse 1

- 52,5 kWh/m² pr. år tillagt 1.650 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal.

Casebygningen består af 12 boliger og 2 erhvervslokaler som nævnt i afsnit 2. Grænseværdierne for erhvervslokaler er slappere, men da bygningen primært består af boliger, er det ovenstående grænseværdikrav til energiramme, der gælder for casebygningen, hvis den skal opnå renoveringsklasse 1- eller 2.

4.6.2 Energibehov

Beregning af bygningens primære energibehov bruges hovedsageligt som dokumentation for overholdelse af energirammen. Energibehovet kan derudover give indsigt i fordelingen af behovet for forskellige primærenergi, såsom fjernvarme og el til bygningsdrift, samt beregning af sommerkomfort i kritisk rum.

4.6.3 Huslejestigning for lejeboliger

Hvis udgifterne til renoveringstiltag er større end 1600 kr/m² eller hvis de samlede renoveringsudgifter er større end 183.000 kr. og hvis renoveringstiltagene medfører en væsentlig forøgelse af det lejedes værdi, kan udlejer hæve huslejen til et niveau, der svarer til m²-prisen i husleje for tilsvarende udlejningsboliger i lignende stand, beliggenhed, art og størrelse (Kisling, u.d.).

4.6.4 Salg af udlejningsboliger

Det er tilladt at sælge én eller flere udlejningsboliger mens der bor lejere, men køber overtager i så fald pligterne som udlejer. Køber kan kun opsigte lejer hvis køber selv ønsker at bo i lejligheden, og lejer skal have et års varsel. En lejlighed med lejer(e) vil typisk sælge for mindre end en lejlighed, som ikke er udlejet (Lejeloven, 2023).

5. Metoder og materialer

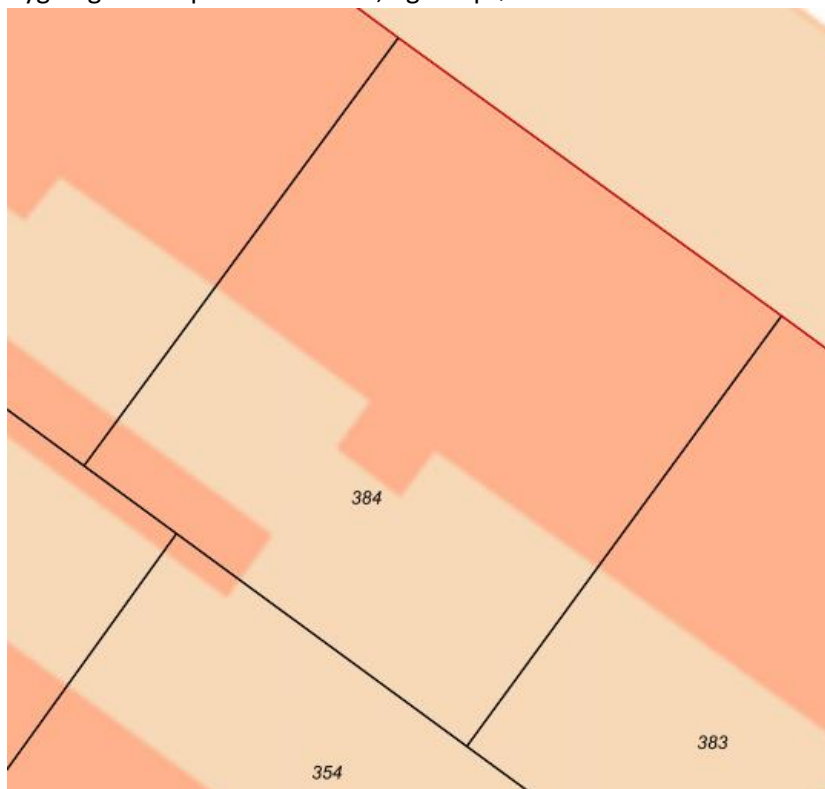
5.1 Casebygning – nuværende tilstand

5.1.1 Arkitektur

Casebygningen er en 5 etagers etagebolig i København K opført i 1883, samt udnyttet tagetage og høj opvarmet kælder. Facaden ud mod gaden fremstår tidstypisk for sin opførelsesperiode med tydelige træk fra Historicismen, som spændte fra 1850-1910 i Danmark (Historicisme (arkitektur), 2022). Efter de gamle voldes fald i 1856 begyndte København for alvor at vokse. Historicismens periode spænder over næsten samme periode som industrialiseringen i Danmark, som var fra 1850-1920 (Industrialiseringen i Danmark, u.d.). København fra landet og dermed behovet for arbejderboliger betød at byggematadorer og spekulanter opførte etageboliger i stor stil. Historicismen kaldes også for eklekticismen, hvilket betyder stilblanding. Historicismen, eller eklekticismen, er præget af facader med udtryk fra en masse forskellige tidligere arkitektoniske perioder, udtrykt som stuk 'påklisset' på facaderne i form af trekantede hvælvinge over vinduer, løvehoveder, halve græske søjler, osv.

Indre by (pånær Nyboder, som er overvejende ældre arkitektur), vesterbro og nørrebro er stærkt præget af bygninger opført under Historicismen. Markante eksempler på områder i København som er domineret af bygninger fra Historicismen er Israels Plads og Søtorvet, herunder Ole Suhrs Gade, hvor casebygningen er lokaliseret på nr. 21 (Arkitektur i København, 2023). Bygningen har undergået en række indvendige renoveringsarbejder siden opførelsen, hvoraf de største omfatter installering af badekabiner, og mekanisk ventilation af badekabine og køkken i 1989 (Hansen A. A., 1989), installering af fjernvarmeanlæg i 1999 (I. L. Consult Aps, 1999). Derudover kan det ses af energiberegningsmodellen for det eksisterende energimærke, at tagetagen er efterisoleret indvendigt med 125mm antaget mineraluld ved det flade tag, skråvægge og skunke, og vinduer og døre i facader er udskiftet til 2-lags dannebrogsvinduer, men det vides ikke hvornår disse renoveringer har fundet sted, da de ikke har krævet byggetilladelse og der dermed ikke findes nogen dokumentation for renoveringsarbejderne i Københavns Kommunes filarkiv (Bolig- og Planstyrelsen, BR18). Bygningen er ikke fredet, men har bevaringsværdi 3 i Slots- og Kulturstyrelsens SAVE-undersøgelse (Slots- og Kulturstyrelsen, 1995). Skalaen for bevaringsværdi spænder fra 1-9, hvor 1-3 er høj bevaringsværdi, 4-6 er middel bevaringsværdi, og 7-9 er lav bevaringsværdi. Bygningen er underlagt Københavns Kommunalplan, men ingen lokalplan. Som typisk for historicistiske etageboliger er kun facaden ud mod vejen dekoreret med stuk. Facaden mod gården fremstår udekoreret (Slots- og kulturstyrelsen, 2022). Det må antages primært at være facaden mod vejen, som ligger til grund for bygningens høje bevaringsværdi.

Bygningen står på matrikel 384, og er opført helt ud til matrikelskel mod vejen, se Figur 10.



Figur 10. Matrikelkort over casebygningens placering i matrikel 384. Gullig farve repræsenterer ubebygget areal. Laksefarvet optegning repræsenterer casebygningen. Rød streg repræsenterer matrikelskellinje mod vej (Geodatastyrelsen, u.d.).

5.1.2 Energiforhold

Bygningen fik foretaget energimærkning i august 2016, hvor bygningen fik energimærke C (Sparenergi, u.d.). Da bygningen fik sit energimærke, var det ifølge den dengang gældende energimærkningsskala, 2013-skalaen, som galdt i perioden fra 08-09-2013 til 30-06-2018. Den eneste forskel på 2013-skalaen og den nuværende gældende 2018-skala er grænseværdien for A2020, som er lempet fra 20,0 kWh/m²/år til 27,0 kWh/m²/år.

Bygningen har 1060m² opvarmet bygningsareal i alt, hvoraf 920m² er boligareal, og 70m² er erhvervsareal (Sparenergi, u.d.). Den aktuelle energimærkningsskala for boliger er gældende, og ikke skala for blandet anvendelse, fordi erhvervsarealet udgør under 20% af det samlede opvarmede etageareal i bygningen, og samtidigt er under 1000m².

Energimærkning af bygninger er opdelt i skalatrin med en grænseværdi for hvert trin, som en given bygning skal komme under for at opnå et givent trin. I Tabel 6 ses grænseværdierne for den gældende 2018-skala, samt beregnede specifikke grænseværdier for casebygningen.

Tabel 6. Gældende 2018- energimærkningsskala. A=opvarmet areal i m² (Energistyrelsen, u.d.).

Skalatrin	Gældende 2018-energimærkningsskala	
	Grænseværdi kWh/m ² /år	Specifik grænseværdi kWh/m ² /år
A2020	27,0	27,0
A2015	$\leq 30,0 + 1000/A$	$\leq 30,9$
A2010	$\leq 52,5 + 1650/A$	$\leq 54,1$

B	$\leq 70,0 + 2200/A$	$\leq 72,1$
C	$\leq 110 + 3200/A$	≤ 113
D	$\leq 150 + 4200/A$	$\leq 154,0$
E	$\leq 190 + 5200/A$	$\leq 194,9$
F	$\leq 240 + 6500/A$	$\leq 246,1$
G	$> 240 + 6500/A$	$> 246,1$

Ifølge Be18-modellen, som ligger til baggrund for bygningens energimærkning, er bygningens samlede energibehov $84,2 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$ (Energistyrelsen). I Tabel 7 er bygningens nuværende energibehov sammenstillet med relevante grænseværdier ifm. energioptimering. Ved sammenligning mellem Tabel 6 og Tabel 7 ses det at grænseværdien for energimærke B og grænseværdien for renoveringsklasse 2 er den samme, ligesom det er tilfældet for energimærke A2010 og renoveringsklasse 1, energimærke A2015 og energiramme BR 2018, samt energimærke A2020 og energiramme lavenergi.

Tabel 7. (Bolig- og Planstyrelsen, BR18)

Skalatrín	Grænseværdi $\text{kWh/m}^2/\text{år}$	Specifik grænseværdi $\text{kWh/m}^2/\text{år}$
Lavenergiklasse	27,0	27,0
Energiramme BR 2018	$\leq 30,0 + 1000/A$	$\leq 30,9$
Renoveringsklasse 1	$\leq 52,5 + 1650/A$	$\leq 54,1$
Renoveringsklasse 2	$\leq 70,0 + 2200/A$	$\leq 72,1$
Case bygning – nuværende tilstand	84,2	$\leq 84,2$

5.1.3 Konstruktioner

Etageejendommen er bygningstype 1, som primært blev opført i perioden fra 1850-1890. Især mod slutningen af perioden, var det stort set den eneste type etageejendomme, der blev opført i Københavns arbejderboligkvarterer (<http://www.danskebyggningsmodeller.dk/pages/type1.html>)

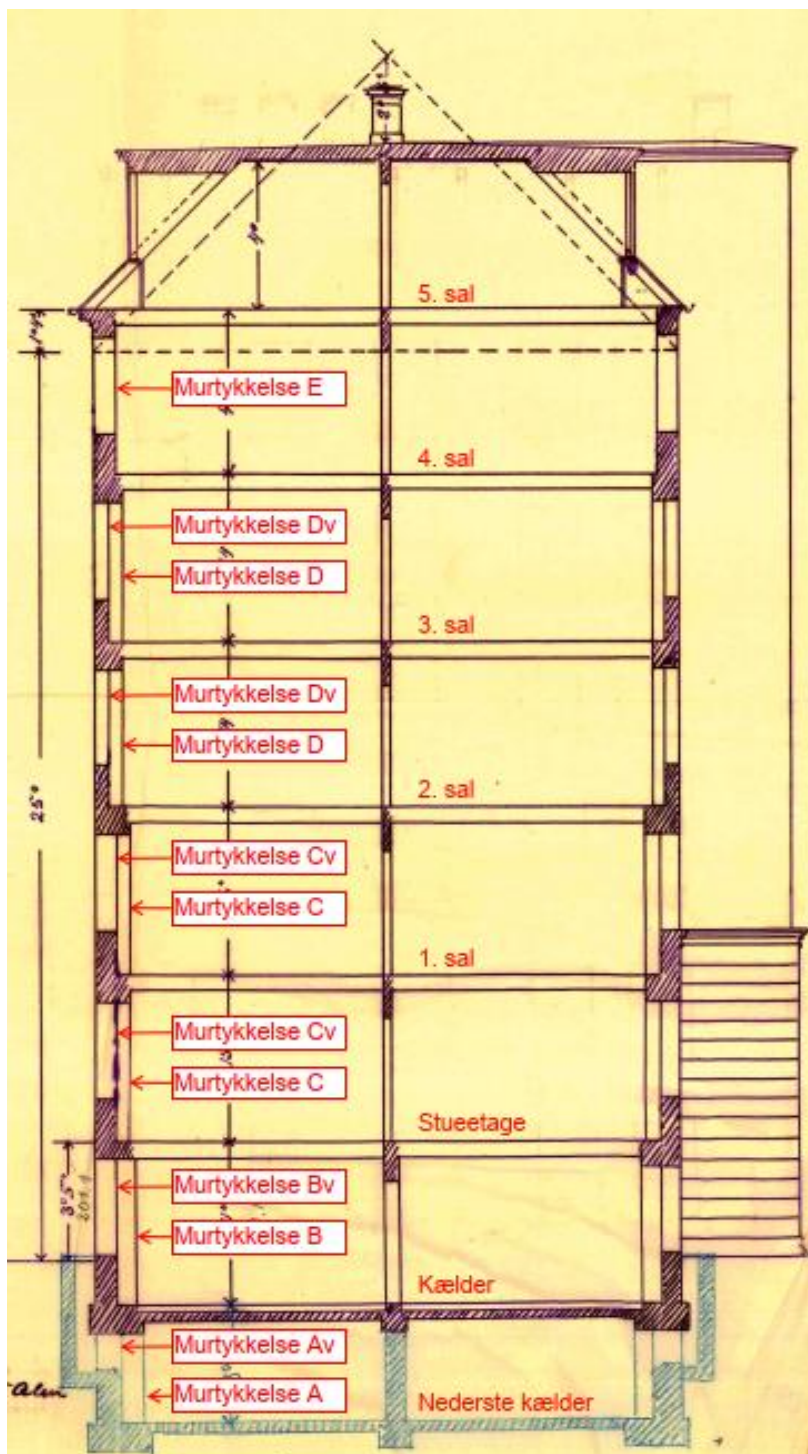


Figur 11. Etagebolig opført i 1883 bestående af udlejningsboliger på nær høj kælder, som udlejes til erhverv.

Etageboligen har 5 etager med 2 udlejningsboliger på hver etage, en udnyttet tagetage med yderligere to udlejningsboliger, samt en høj opvarmet kælder opdelt i 2 erhvervslejemål. Under den høje opvarmede kælder findes en ventileret uopvarmet kælder.

Fundamenter og ydervægge er opbygget i massivt murværk. Facaderne er udført i gradvist tyndere mur fra den uopvarmede nederste kælder og op gennem bygningen til tagfoden, se Figur 12 og Tabel 8. Etageboligen har murede gavle, som tilstøder lignende etageboliger, og som derfor ikke indgår i klimaskærmen. Taget er udført som et Københavnertag,

der er kendetegnet ved stejle tagflader mod facaderne, og næsten vandrette tagflader øverst ved mod tagryggen. Vinduer er udført som dannebrogsvinduer. Tagetagen har 4 kviste på begge sider af bygningen, som ligeledes er udfyldt med dannebrogsvinduer.



Figur 12. Tværsnit gennem casebygning ved ventilationsskakte og murtykkelser i facaderne (Hein & Møller-Holsts Sanitetsafdeling ved Andreasen og Henningsen, 1907). Se Tabel 8 for murtykkelser.

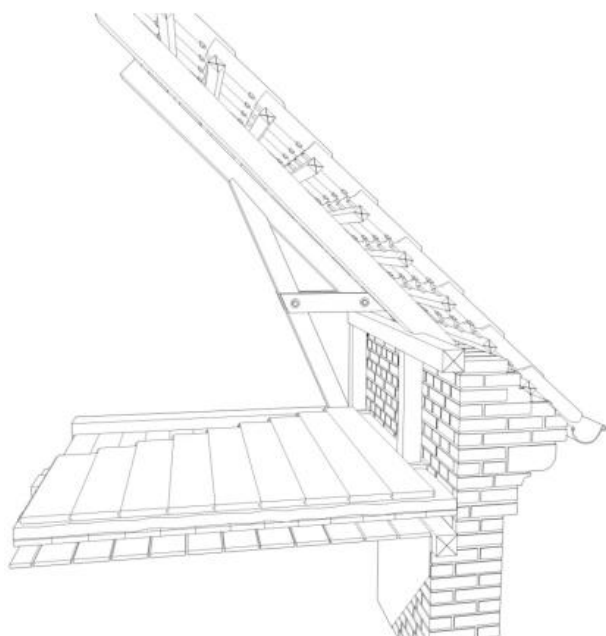
Tabel 8. Murtykkelser i facaderne som angivet i Figur 12. Mursten er antaget som dansk normalstensformat på 228mm x 108mm x 54mm. Alle murmål er stenmål, som går op i en petring på 60mm inkl fuge. Murmål er opmålt i bluebeam med kalibreret skala og afrundet til nærmeste petring inkl fuge.

	Opmålt i Bluebeam	Afrunding til nærmeste petring inkl fuge	Murmål (stenmål)
Murtykkelse A	818mm	$818 / 60 = 13,63 = 14$	$14 * 60 = 840\text{mm}$
Murtykkelse Av	431mm	$431 / 60 = 7,18 = 7$	$7 * 60 = 420\text{mm}$
Murtykkelse B	720mm	$720 / 60 = 12$	$12 * 60 = 720\text{mm}$
Murtykkelse Bv	381mm	$381 / 60 = 6,35 = 6$	$6 * 60 = 360\text{mm}$
Murtykkelse C	592mm	$592 / 60 = 9,87 = 10$	$10 * 60 = 600\text{mm}$
Murtykkelse Cv	381mm	$381 / 60 = 6,35 = 6$	$6 * 60 = 360\text{mm}$
Murtykkelse D	494mm	$494 / 60 = 8,23 = 8$	$8 * 60 = 480\text{mm}$
Murtykkelse Dv	261mm	$261 / 60 = 4,35 = 4$	$4 * 60 = 240\text{mm}$
Murtykkelse E	386mm	$386 / 60 = 6,43 = 6$	$6 * 60 = 360\text{mm}$

For tegningsmateriale og opmålinger, se bilag 1, 2 og 3.

5.1.4 Tagkonstruktion

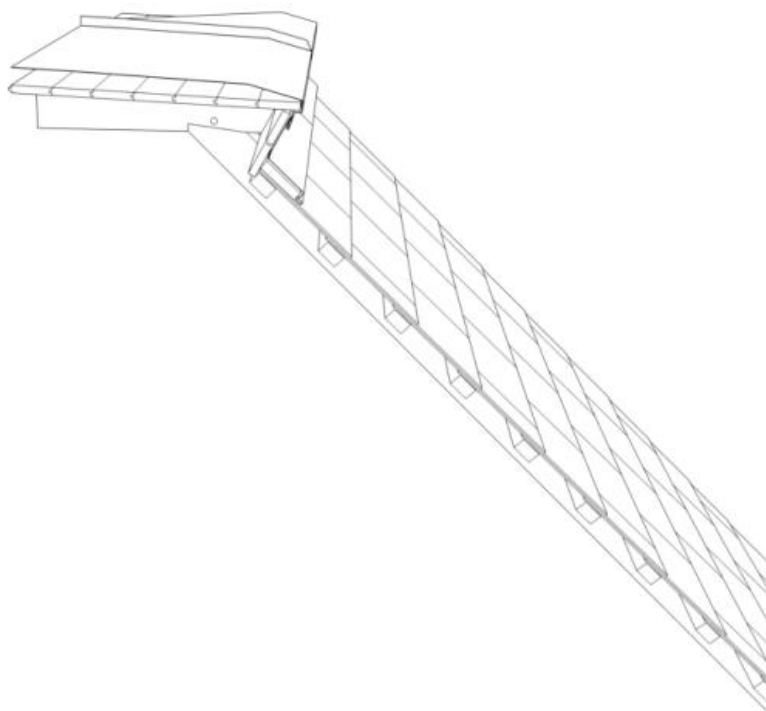
Taget er udformet som et københavnertag med bjælker som den bærende konstruktion. Københavneretaget er en afart af manzardtaget, med den primære karakteristiske forskel, at toppen af taget er langt fladere på et københavnertag end på et mansardtag. Københavneretaget ses oftest udført asymmetrisk, hvor facaden er hævet ud mod vejen og der er udført trempelværk ved tagfoden. Trempelværk har den fordel, at rumhøjden øges ved facaden og rummet bedre kan udnyttes, se Figur 13. Ved at bygge taget som et københavnertag med trempelværk kan næsten hele tagetagen udnyttes. Som det kan ses af Figur 12, er tagkonstruktionen udført symmetrisk på casebygningen, hvilket tyder på at der er udført trempelværk ved begge tagfødder.



Figur 13. Principtegning af trempelværk (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden)

Grundet den meget lave hældning på tagfladerne, som hælder væk fra tagryggen og den medfølgende

risiko for vandindtrængning i samlinger blev disse tagflader belagt med valsede zinkplader, samlet med stående false (Rhein-zink, u.d.). De langt stejlere tagflader mod facaderne blev beklædt med naturskifer, se Figur 14.



Figur 14. Principtegning af beklædning af københavntag (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden)

Den tekniske middellevetid for zinkbeklædning på et tag er 50 år, og 100 år for naturskifer. Den tekniske middellevetid er et udtryk for hvor mange år tagbeklædningen i gennemsnit kan opretholde sin funktion med vedligehold (Niels-Jørgen Aagard, 2013). Da bygningen blev opført for 140 år siden i 1883, og de oprindelige tagbeklædninger for længst har udtjent deres tekniske middellevetid må det antages at taget ikke længere har sin oprindelige beklædning. Der er i mange tilfælde brændt tagpap ovenpå den eksisterende zinkbeklædningen (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden). Satellitbilleder antyder at det også er tilfældet for casebygningen, ligesom det ligner, at resten af tagets flader senere er blevet dækket med tagpap, inkl. kviste, se Figur 15. På de stejle tagflader, som oprindeligt var beklædt med naturskifer, formodes det at naturskifer og lægter er fjernet, og der er etableret et fast underlag af brædder med fer og not direkte på bjælkelaget, hvorpå der er brændt tagpap (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden).

Loftshøjden til underside bjælker i det flade tag er 2,51m. Som nævnt i afsnit 5.1.1 er der efterisoleret indvendigt med 125mm antaget mineraluld ved det flade tag, skråvægge og skunke. Det antages desuden at efterisolering af det flade tag og skråvægge er sket mellem bjælker, så loftshøjden er upåvirket.



Figur 15. Satellitbillede af casebygning
 (<https://earth.google.com/web/@55.68959722,12.5712065,24.42990655a,48.03563841d,35y,-140.84122785h,30.64967247t,Or>)

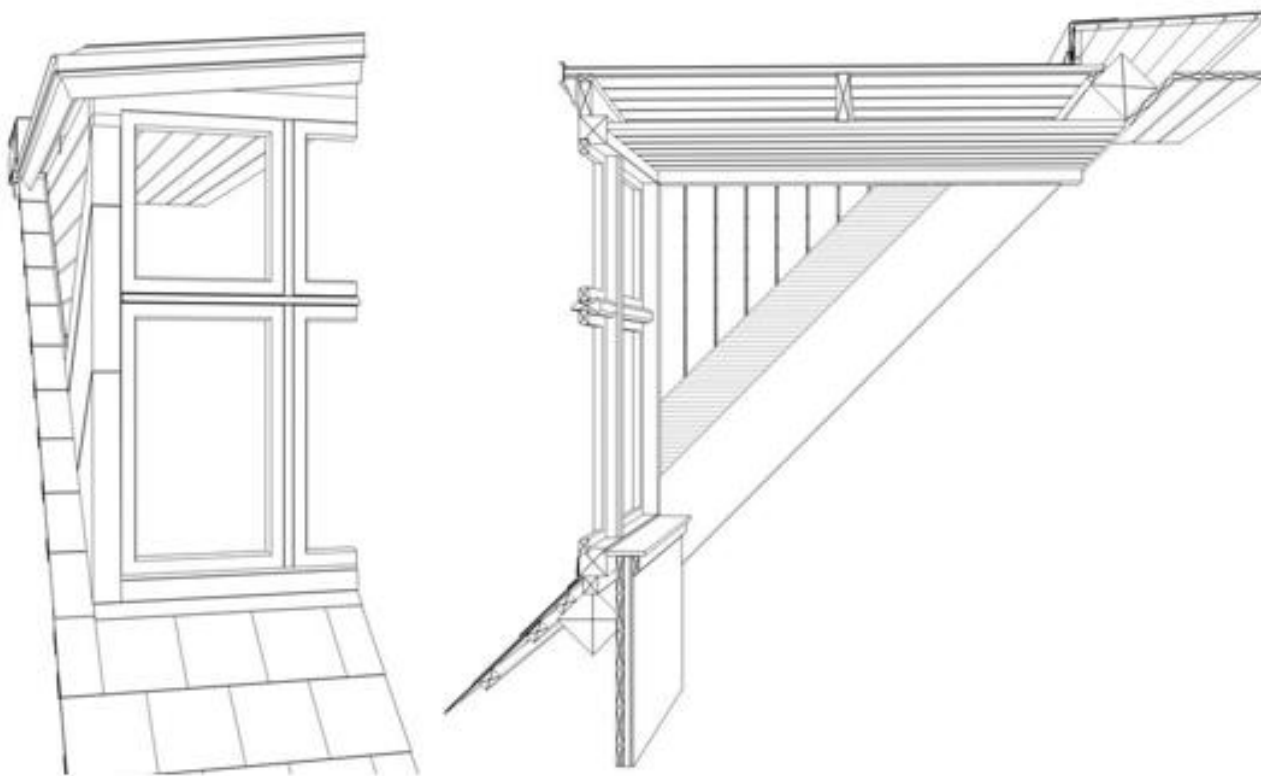
5.1.5 Kviste

Tagkonstruktionen på kviste minder meget om tagkonstruktionen på det primære tag, idet det oprindeligt blev opført som en let spærkonstruktion med bræddebeklædning og zink udvendigt, og i nogle tilfælde et lag brædder på undersiden af den lette spærkonstruktion som indvendig loftoverflade. Taget på kviste er udformet med to-sidet fald ud til kvistens siddevægge/flunker, med højderyggen placeret i midten. Den lette spærkonstruktion i taget er udformet flad på undersiden, og tilpasset tagets hældning på oversiden. Spærtykkelsen vurderes at spænde fra omtrent 50mm på det tyndeste ved flunkerne, til 100mm på det tykkeste i midten, hvilket giver den lette spærkonstruktion en gennemsnitlig tykkelse på 75mm.

Udefra består de trekantede siddevægge på kviste, flunkerne, af et lag zink, horizontale brædder, lodrette brædder, og til slut et pudslag indvendigt.

Kvistvinduerne karm indgår i tagkonstruktionen, og er derfor kun delvist synlig inde- og udefra, se Figur 16. Tagdækningen ved brystningen afsluttes ved vindues bundkarm, og inddækkes med zink. Brystningen under kvistvinduet er således på indvendig side af tagdækningen, og består blot af to lag brædder med indvendigt pudslag.

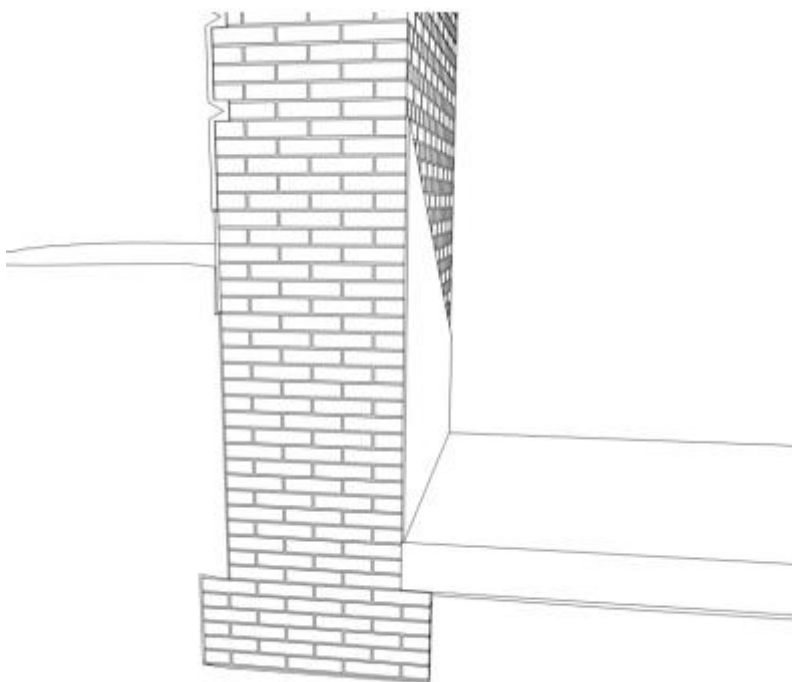
Vinduespladen er indsat i vinduets karm i en fræset rille, og flugter næsten med oversiden af vinduets karm, så bunden af karmen næsten ikke er synlig indefra. Langs siderne og toppen af vinduet er brædder ligeledes indsat i karmen i fræsedede riller, men her er omtrent halvdelen af karmen synlig indefra. Hvis loftsbeklædning af brædder fjernes vil der være omtrent 50mm karm synlig langs flunker og tag indefra.



Figur 16. Princip af kvist (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden)

5.1.6 Facader, kældervægge og fundamenter

Facader, kældervægge og fundamenter er alle udført som murværk. Under terræn har man anvendt hårdt brændte mursten, som suger mindre vand og har en højere trykstyrke, i kombination med hydraulisk mørtel. Til forskel for luft- og vandmørtler, som hærdner i enten kontakt med luft- eller vand, kan hydraulisk mørtel hærdne både i kontakt med luft og vand. Dette har været en fordelagtig egenskab for murværk under terræn, som både er kontakt med fugtig jord på udvendig side og luft på indersiden af konstruktionen, se Figur 17 (Knutsson, 1992).



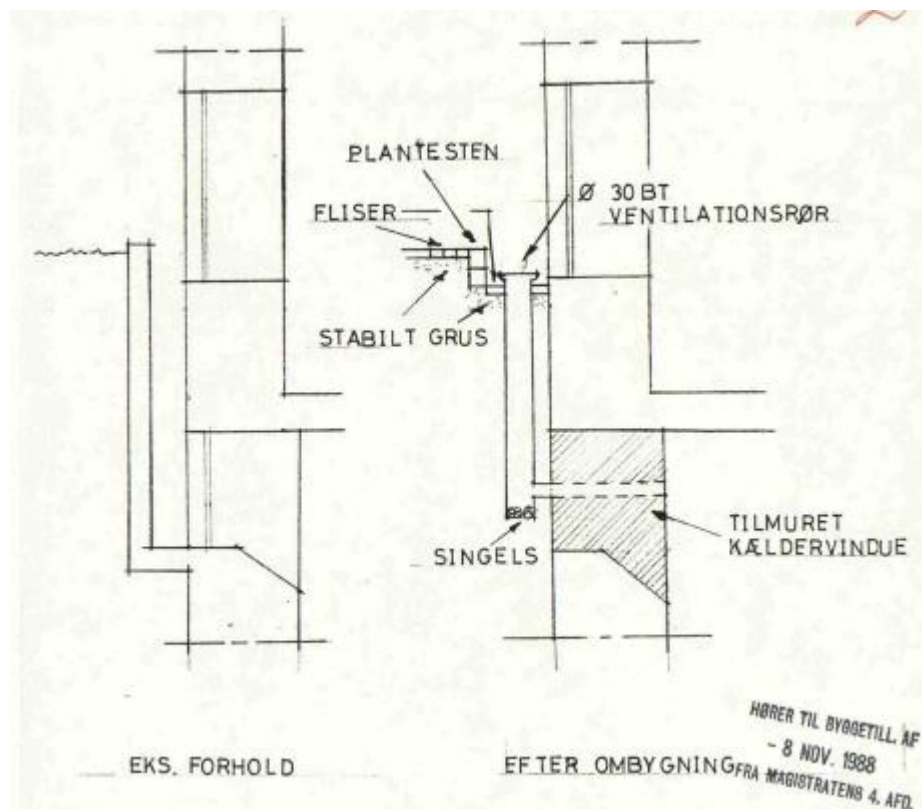
Figur 17. Principtegning af fundament (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden)

Anvendelsen af hårdt brændte mursten under terræn har haft en vis effekt på hindringen af kapillarsugning op gennem de murede konstruktioner, udover øget trykstyrke, og man har måske derfor allerede været opmærksom på problematikkerne med opstigende grundtfugt i begyndelsen af perioden fra 1850-1890 hvor bygningstype 1 blev opført (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden).

Omkring slutningen af 1800-tallet blev man dog med sikkerhed opmærksom på problematikkerne med opstigende grundfugt, idet man begyndte at indføre fugtspærrende lag mellem bærende kælderskillevægge og fundament, samt over terræn mellem kælderydervægge og facader.

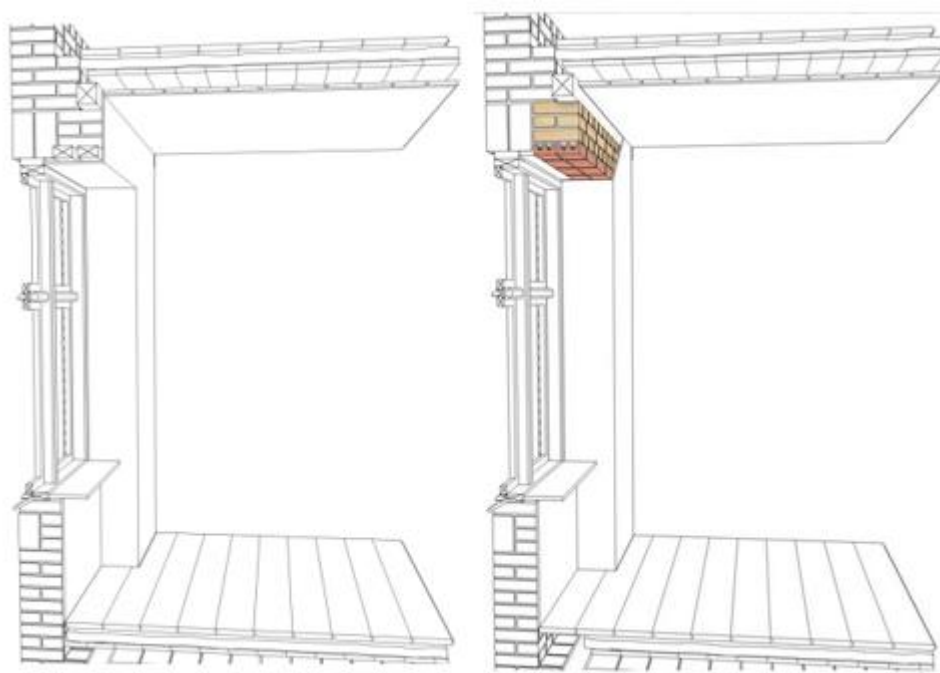
Casebygningen er opført i 1883, og det er derfor muligt, at bygningen er udført med fugtspærrende lag i de murede konstruktioner, selvom det ikke fremgår af tegningsmaterialet. Man kan ikke se en fugtspærre på facaden udefra, så hvis kælderydervægge er udført med fugtspærrende lag kan det konkluderes at fugtspærren er kortsluttet af facadepudsen, som kører forbi fugtspærren.

Som det kan aflæses af Tabel 8 er murtykkelsen i nederste ventilerede kælder 840mm, og 420mm ved vindueshuller, som blev tilmurede og ændret til ventilationsåbninger i 1988, se Figur 18.



Figur 18. Tilmuring af kældervinduer (Tilmuring af kældervinduer, 1988)

Samtlige etager er udført i tyndere murværk ved vindueshuller i fuld højde fra etagedæk og op til vinduesoverligger, på nær 4. etage, som er udført i ens tykkelse i hele facaden. Facader over terræn varierer i tykkelse fra 720mm som tykkeste murtykkelse i høj kælder og 240mm som tyndeste murtykkelse på 3. sal ved vindueshuller, se Figur 12 og Tabel 8. Vinduesoverliggeren blev oprindeligt udført som vist Figur 19 med murplanker, som bærer stenene mellem etagedækket og murplankerne. Murplankerne bærer også en del af lasten fra etageadskillelsen. Hvis vinduesoverliggeren senere er blevet udskiftet er dette som regel sket ved at pille hele den eksisterende vinduesoverligger end, dvs. murplanker og evt. sten mellem vinduesåbning og overliggende etageadskillelse, og derefter etableret en ny vinduesoverligger af ståltegl i murplankernes sted og nye tegl over hvis stenene ikke har kunnet genbruges. En udskiftning af vinduesoverliggeren vil have været et indgreb i bygningens statiske system, med en potentielt høj konsekvens, men lav kompleksitet. Det vurderes at dette vil falde under konstruktionsklasse 1 i dag iht. BR18, og dermed ikke kræve en byggetilladelse. Hvis renoveringen er foretaget før BR18 vurderes det ligeledes at arbejdet ikke har udløst krav om ansøgning om byggetilladelse. Det kan derfor ikke vides med sikkerhed om vinduesoverliggeren i dag er af murplanker eller af ståltegl, men eftersom vinduer er udskiftede til 2-lags ruder antages det at vinduesoverliggeren også er udskiftet.

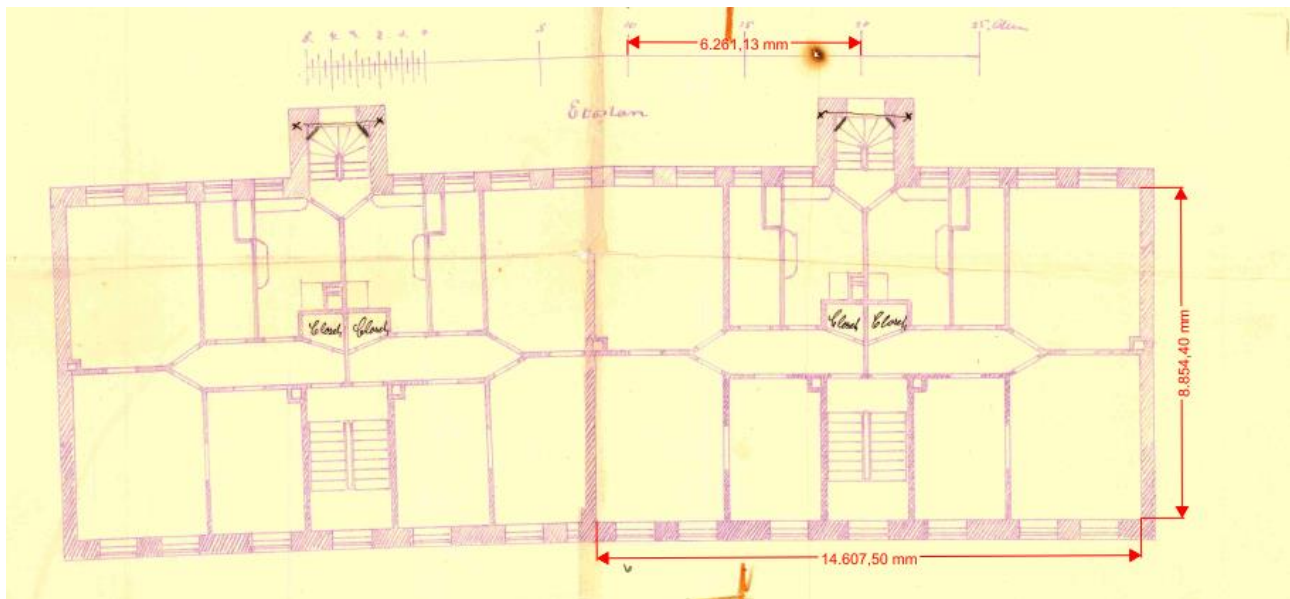


Figur 19. Principtegning af etagedæk og facade. Oprindelig detalje (t.v.), ændret detalje (t.h.) (Grundejernes Investeringsfond, Realania og Byggeskadebogen)

5.1.7 Gavle og etagedæk

Gavlene er ligesom facaderne udført i murværk, udført tykkere i fundamentet og gradvist tyndere op gennem bygningen. Etagedækkets bjælker spænder i retning fra facade til facade og ligger af i facadens murværk mellem vindueshullerne, samt på bærende langsgående skillevæg. I tilfælde hvor bjælkeender rammer facaden ved et vindues- eller dørhul laves der en udveksling, så lasten overføres til andre bjælker (Engelmark, 1983). Lasten fra etagedækkets bjælkeender breder sig ud i facaden ved hjælp af murværkets forbandt, men den største last fra etagedækket er alligevel der hvor bjælkeenderne ligger af, hvorfor murtykkelsen mellem vindueshuller er betydeligt større end ved vindueshullerne, se Tabel 8.

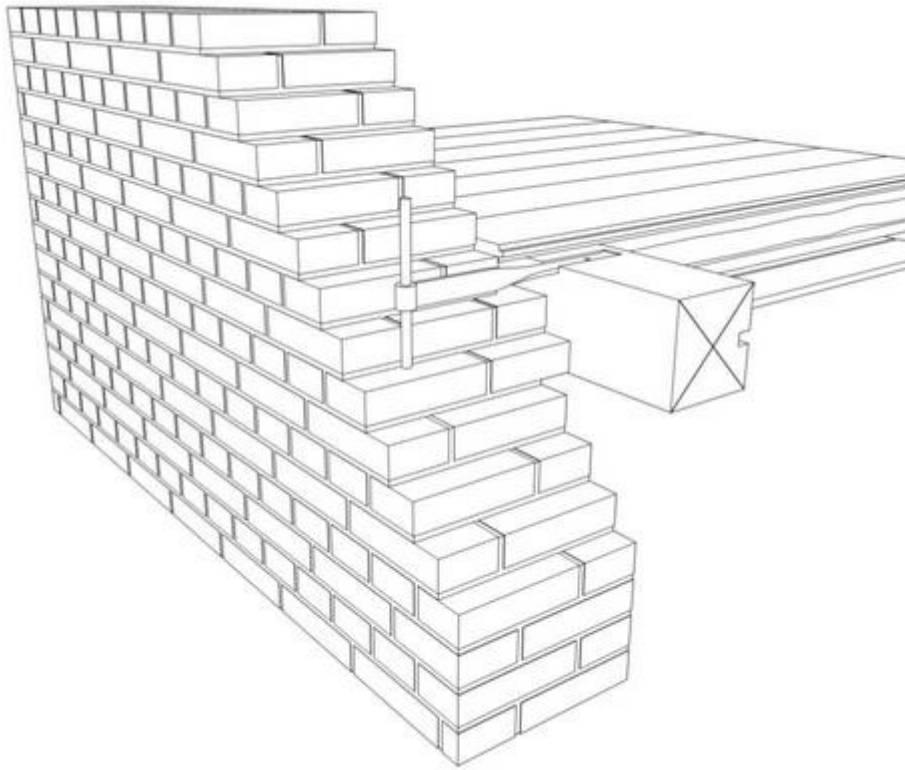
Etageplanen på Figur 20 er opgjort i alen, som det kan ses øverst i figuren. Metersystemet blev indført i Danmark i 1907, samme år som etageplanen er tegnet, men tegningsmaterialet fra 1907 blev altså tegnet efter det gamle længesystem i alen og tommer. En alen ved tegningsmaterialets udførsel svarer til 627,7mm i dag, eller 0,6277m (Aarhus Universitet, u.d.). Målestoksforholdet er kalibreret i Bluebeam, og afstanden mellem facaderne er målt til 8,854m. Det vides ikke om bjælkerne er gennemgående og dermed omtrent 9m lange, eller om bjælkerne er opdelt ved den bærende langsgående skillevæg og dermed omtrent det halve i længden. I begge tilfælde er den langsgående skillevæg bærende.



Figur 20. Etageplan (Hein & Møller-Holsts Sanitetsafdeling ved Andreasen og Henningsen, 1907)

På hver tredje bjælkeende er der monteret et gavlanker på bjælkeenden i fladjern, som er indmuret i facaden. Gavlankre sikrer muren mod uønskede vandrette bevægelser ved at fastholde muren til etagedækket, så muren ikke vælter ind- eller ud.

Det samme er gjort for gavlene, hvor der er monteret gavlanker på langsiden af den nærmeste etagedæksbjælke med indbyrdes afstand tilsvarende afstanden mellem gavlankre i facaden, se Figur 21. Casebygningen ligger mellem to lignende etageboliger i næsten samme dimensioner, som også primært er udgjort af boliger. Det dimensionerende indeklima er det samme på begge sider af gavlene, hvilket vil sige at gavlene kan ignoreres ift. varmetab og vandret udefrakommende fugttilskud gennem murværket.

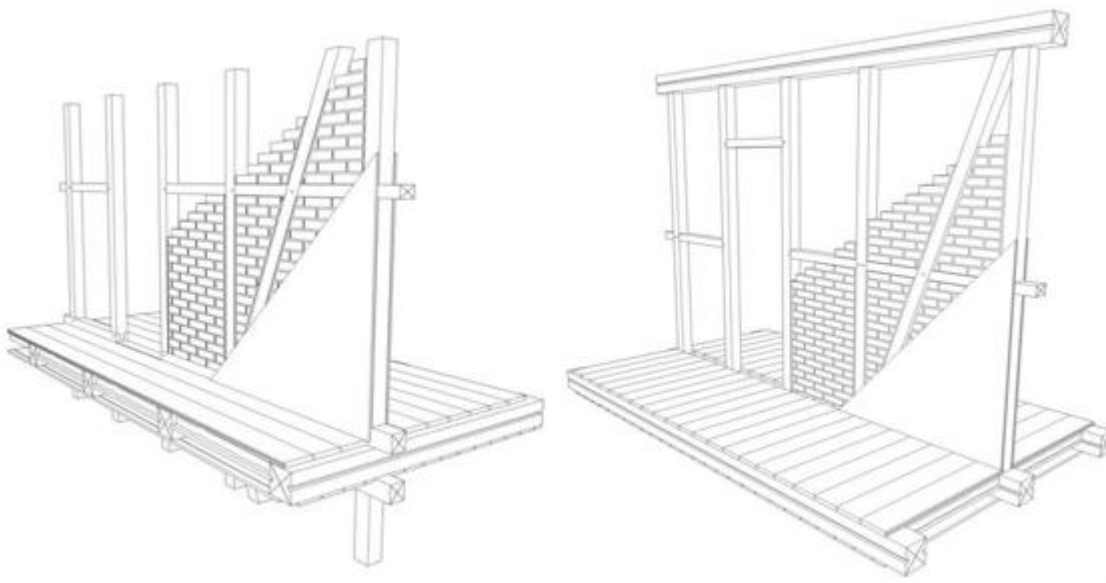


Figur 21. Principtegning af gavl og etagedæk (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskedefonden).

5.1.8 Indervægge

Alle bygningens indervægge er udført som udmuret bindingsværk, enten som en langsgående skillevæg, som løber parallelt med bygningens facader, eller som en tværgående skillevæg, der løber på tværs af bygningens langside (på tværs af facadernes retning), se Figur 22. De langsgående skillevægge er placeret omtrent i midten af bygningen og bærer bjælkerne i etagedækket sammen med facaderne. Bindingsværket i langsgående skillevægge har en bjælke i top og bund, som spænder på tværs af etagedækkets bjælker, hvorimellem resten af det udmurede bindingsværk er konstrueret. De langsgående skillevægge er placeret lodret over hinanden på etagerne, så de langsgående skillevægge på etagerne tilsammen udgør ét bærende element op gennem hele bygningen, som hjælper med at bære lasten fra etagedækkene. De tværgående skillevægge er opbygget direkte på bjælkerne i etagedækkene, som udgør skillevæggens bund- og toprem. I kraft af dette er skillevæggene delvist bærende.

Grundmurede indervægge i massivt murværk blev først almindeligt i etageboliger i København efter det blev lovkrav i byggeloven 1889, at bjælkelagsbærende vægge skal udføres som massivt murværk (Engelmark, 1983).



Figur 22. Principtegning af langsgående skillevæg t.v. og tværgående skillevæg t.h. (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskedefonden).

5.2 Casebygning – passive renoveringstiltag

Passive renoveringstiltag har både karakter af energirenovering, som tjener til at sænke bygningens samlede energibehov, samt at fremtidssikre bygningen mod et klima i forandring over de næste 70 år som minimum.

Efterisolering indvendigt vil være det mindst effektive tiltag for casebygningen, da der ved indvendig efterisolering fortsat vil være store konstruktive kuldebroer i samlinger mellem tunge bygningsdele, som ved samling mellem tag og facade, samling mellem facade og etagedæk, samt samling mellem facade og muret skillevæg. Ved udvendig efterisolering kan hele konstruktionen pakkes ind i fuld isoleringstykkel, hvormed hele konstruktionen bliver varm, og store varmetab gennem konstruktive kuldebroer undgås. Da konstruktionen bliver varm overalt undgås udfordringer med kolde indvendige overflader, kuldenedfald og følelse af træk selvom bygningen er tæt. Ved udvendig efterisolering flyttes dugpunktet længere ud i konstruktionen, hvormed udfordringer med fugtrelaterede problemer som kondens og skimmelvækst også mindskes.

Da bygningen står helt op mod matrikelskel mod vejen kan der ikke isoleres udvendigt på facaden mod vejen. Der er rigeligt plads på matriklen mod gårdhavesiden. Bygningen har høj bevaringsværdi, men da det antages primært at skyldes den dekorerede facade ud mod vejen, og ikke den udekorerede facade mod gårdhavesiden, kan facaden mod gårdhavesiden isoleres udvendigt med max 250mm, da dette ikke betragtes som udvidelse af etagearealet (Bolig- og Planstyrelsen, BR18).

Hvis bygningen kunne efterisoleres på begge facader kunne taget med fordel løftes, hvormed isolering kan føres rundt om tagfoden på udvendig side, men da kun facaden mod gårdhaven kan efterisoleres udvendigt, vurderes det at være et for dyrt indgreb ift. energibesparelse. Bygningens høje bevaringsværdi vil muligvis også resultere i en afvist byggeansøgning om at løfte taget, da indgrebet vil være synligt fra vejen. Taget efterisoleres indvendigt i så vidt muligt omfang det vurderes muligt samtidigt med at konstruktionen er fugtteknisk robust.

Renoveringstiltag undersøges for kondensrisiko og kuldenedfald gennem varmetransmissionssimulering i HEAT2. "Hvis det ved beregning kan vises, at overfladetemperaturen ved kuldebroer er mindst 16,5 °C ved 0 °C ude og 20 °C inde, vil kondensrisikoen være lille og kuldenedfaldet næppe give væsentlige gener." (Aagaard, 2008).

Hvis de passive renoveringstiltag tilsammen gør, at bygningen opfylder grænseværdien for energibehov iht. renoveringsklasse 1 skal det sikres at minimumskrav til ventilation i bygningens boliger og erhvervslokaler opfyldes, se afsnit 4.6.1.

5.2.1 Tagkonstruktion

Mineraluld som varmeisolering i en tagkonstruktion har en middellevetid på 80 år (Niels-Jørgen Aagard, 2013). Eksisterende 125mm mineraluld mellem spær tages ned hvis det vurderes at være mere end 10 år gammelt, men lades ellers blive. Hvis der er mistanke om at mineralulden er fra før år 1997 anvendes, der åndedrætsværn (David Rebouh, 2018).

Renoveringstiltaget omfatter det flade tag, det skrå tag og skunke. Kviste behandles særskilt.

”§205: Beboelsesrum og køkken skal have en loftshøjde, der tilgodeser, at der er tilstrækkeligt dagslys i rummet. Loftshøjden skal fastsættes i forhold til boligens rumdybder, rumstørrelser og vinduers placering.” (Bolig- og Planstyrelsen, BR18)

”Sbi-anvisning (§205): Etageboliger bør have en loftshøjde på mindst 2,5 meter. En loftshøjde på 2,8 meter kan dog ofte give en forbedret rumlighed” (Hansen E. J., 2018)

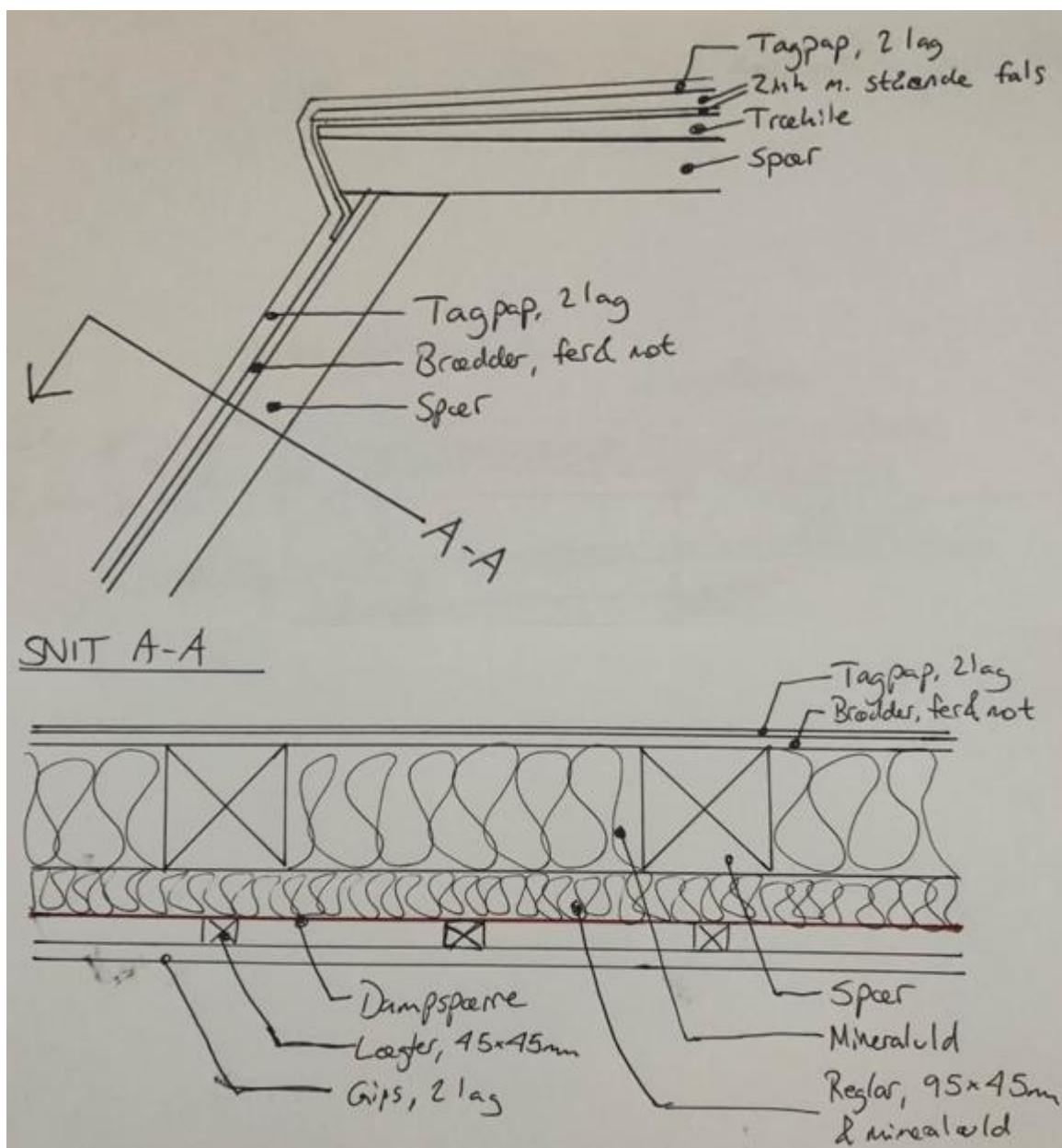
Loftshøjden til underside bjælker i det flade tag er 2,51m som nævnt i afsnit 5.1.4, og må ikke reduceres til under 2,5m.

Option A – Mineraluld, dampspærre og installationslag

Der udfyldes indvendigt mellem spær med mineraluldsbatts, til hele spærlaget er fyldt ud.

På indvendig side af spær monteres 45x95mm reglar på højkant med c-c afstand på 600mm. Der udfyldes mellem reglar med 95mm mineraluldsbatts.

På indvendig side af reglar monteres 45x45mm lægter med en dampspærre klemt mellem reglar og lægter. Hulrummet mellem lægter kan anvendes til at trække skjulte kabler til loftslamper og lignende uden at penetrere dampspærren. På indvendig side af lægter monteres to lag gips á 12,5mm tykkelse. Se Figur 23.



Figur 23. Skitse af nuværende tagkonstruktion (foroven) og renoveringstiltag (forneden).

Efter gennemførelse af renoveringstilaget vil den fri loftshøjde blive reduceret med 165mm ved det flade tag, fra 2,51m fri loftshøjde til 2,35m; 2,4m med ét decimal. Renoveringstilaget vil kræve dispensation fra Københavns Kommune, da loftshøjden reduceres til under 2,5m.

Option B – Damp tæt efterisolering

Eksisterende 125mm mineraluld mellem spær fjernes ligegyldigt dets alder.

Der fyldes ud mellem spær med 200mm tykke celleglasblokke, som koldklæbes direkte på undersiden af bræddebeklædningen, som danner underlag for tagdækningen, med en uorganisk og diffusionstæt klæber som bitumenklæber. Der klæbes ligeledes mellem spær og celleglasblokke.

Der monteres løbende stålinkelprofiler pr. 500mm på undersiden af tagspær, til fastholdelse af celleglasblokke, som substitut for almindelig mekanisk fastgørelse af celleglasblokke til underside af betondæk med 4 fastgørelser pr m². Stålinkelprofil udføres som rustfrit stål i størrelse 45x45mm og 2mm godstykkelse.

Mellem stålprofiler klæbes der 50mm tykke celleglasblokke på undersiden af 200mm celleglasblokke og spær. Samlinger udfyldes og overklæbes med glasfibervæv og en uorganisk og diffusionstæt klæber som bitumenklæber. Til sidst fuldspartles på indvendig side med 5mm puds og maling.

Efter gennemførelse af renoveringstiltaget vil den fri loftshøjde blive reduceret med 55mm ved det flade tag, fra 2,51m fri loftshøjde til 2,46m; 2,5m med ét decimal.

Option C – Mineraluld

Der udfyldes indvendigt mellem spær med mineraluldsbatts, til hele spærlaget er fyldt ud. Reglar i standardmål 45x45mm høvles til 35x45mm og monteres med den bredde side på underside af spær. Der fyldes ud med mineraluld mellem reglar. Der monteres to lag gips med en dampspærre klemmt mellem gipslag. Til slut spartles og males gips indvendigt.

Efter gennemførelse af renoveringstiltaget vil den fri loftshøjde blive reduceret med 60mm ved det flade tag, fra 2,51m fri loftshøjde til 2,45m; 2,5m med ét decimal.

5.2.2 Kviste

Hvis der er indvendig bræddebeklædning på undersiden af den lette spærkonstruktion tages det ned. Vinduesplade ved brystning under dannebrogsvindue fjernes. Den lette spærkonstruktion udfyldes med tilpasset mineraluld i en gennemsnitlig tykkelse på 75mm.

Reglar i standardmål 45x45mm høvles til 40x45mm og monteres med den bredde side på indvendig side af spær, flunker, hjørnebjælker og brystning. Der fyldes ud med mineraluld mellem reglar med en varmeledningsevne på 0,032 W/mK (klasse 32 mineraluld). Der udføres dampspærre, som klemmes af indvendig beklædning af malet aluminium. Aluminium bukkes og samles ved hjørner uden at skade dampspærren. Der udføres ny dybere vinduesplade, som skjuler den indvendige efterisolering ved brystningen.

Renoveringstiltaget fylder 42mm i tykkelsen, og efterlader 8mm synlig vindueskarm langs flunker og tag, tilsvarende den tynde kant, der er synlig ved vinduespladen.

5.2.3 Facade mod vejen

Maling, tapet, fodlister og stuk fjernes på indvendig side af facader på alle opvarmede etager på nær tagetagen, vinduesoverligger og vindueslysninger, så muren er blottet. Ved vinduesbrystninger afmonteres radiatorer, og lodrette strenge til fremløb og retur rykkes længere ud fra facaden hvis det er nødvendigt for at gøre plads til efterisoleringen.

Option A – Hygroskopisk efterisolering

Ved vinduesbrystninger, hvor muren er tyndere, påmures der 100mm letklinkerblokke direkte på den eksisterende mur indvendigt. I vindueslysninger påmures der 40mm letklinkerblokke rundt på alle

lysningens 4 sider. På lodret flade af vinduesoverlægger og den øvrige mur mellem vinduer, hvor muren er tykkere på mures der 70mm letklinkerblokke direkte på den eksisterende mur.

Letklinkerblokke spartles med puds og males med diffusionsåben maling som silikatmaling.

Ved gennemførsel af renoveringstiltaget reduceres bygningens opvarmede etageareal med:

$$0,07 \text{ m} * 15,4 \text{ m} * 6 \text{ opvarmede etager (ekskl. tagetage)} = 6,47 \text{ m}^2 \text{ i alt}$$
$$6,47 \text{ m}^2 / 14 = 0,46 \text{ m}^2 \text{ reduktion af gulvareal pr. bolig og erhvervslokale}$$

Option B – Damptæt efterisolering

60mm celleglasblokke klæbes direkte på den eksisterende mur overalt indvendigt, på nær i vindueslysninger, hvor der på mures 30mm celleglasblokke rundt på alle lysningens 4 sider.

Celleglasblokke koldklæbes til eksisterende mur, samt i samlinger mellem celleglasblokke, med en uorganisk og diffusionstæt klæber som bitumenklæber.

2 lag fiberarmerede gipsplader klæbes på celleglasisolering med bitumenklæber, og fastgøres mekanisk til den eksisterende mur gennem celleglaslaget. I vindueslysninger anvendes kun 1 lag gips. Gipsplader spartles og males.

Efter renoveringstiltag Option A eller Option B genetableres fodliste og stuk på den indvendige overflade ved gulv og loft. Radiatorer genmonteres ved den nye indvendige overflade ved vinduesbrystninger.

Ved gennemførsel af renoveringstiltaget reduceres bygningens opvarmede etageareal med:

$$0,06 \text{ m} * 15,4 \text{ m} * 6 \text{ opvarmede etager (ekskl. tagetage)} = 5,52 \text{ m}^2 \text{ i alt}$$
$$5,52 \text{ m}^2 / 14 = 0,39 \text{ m}^2 \text{ reduktion af gulvareal pr. bolig og erhvervslokale}$$

5.2.4 Facade mod gården

Da bygningen blev opført havde man mindre fokus på facaden mod gårdhaven, som ofte blev udført i en billigere sten end facaden mod vejen (Slots- og kulturstyrelsen, 2022). Da bygningen også er 140 år gammel må det forventes at muren mod gårdhaven ikke er helt plan i overfladen. Afstandsklodser i neopren monteres punktvis på facaden med 600mm c-c afstand vandret og lodret. Afstandsklodserne skal danne plant og lodret underlag for 200mm slidsede c-profiler i aluminium. Udenpå slidsede c-profiler monteres diffusionsåben fibercementplade som vindspærre. Til sidst afsluttes med diffusionsåben puds og maling. Hvis afstandsklodser i neopren antages til max 20mm i tykkelse bliver samlede tykkelse af tilføjet efterisoleringskonstruktion 234mm med et 5mm pudslag udvendigt, hvilket er under den maksimale efterisoleringstykkelse på 250mm.

5.2.5 Køkkenvæg mod bagtrappe

Køkkenvægge kan ikke efterisoleres udvendigt i trapperummet, da det vil reducere gangbredden af bagtrappen. Bagtrappen, der fungerer som flugtvej i tilfælde af brand, er i forvejen kun 1 alen bred inkl. håndlister, hvilket svarer til ca 63cm. Ved nybyggeri skal en flugtvejstrappe være 1m i fribredde mellem håndlister. Der efterisoleres derfor i stedet indvendigt som den af optionerne beskrevet i afsnit 5.2.3, der findes mest optimal.

Ved gennemførsel af renoveringstiltaget reduceres bygningens opvarmede etageareal med:

$$0,06 \text{ m} * 1 \text{ m} * 14 = 0,84 \text{ m}^2 \text{ i alt}$$
$$0,06 \text{ m} * 1 \text{ m} = 0,06 \text{ m}^2 \text{ reduktion af gulvareal pr. bolig og erhvervslokale}$$

5.2.6 Kældervægge og fundamenter

Der gøres ikke noget ved fundamenter og nederste uopvarmede kælder da konstruktionerne er uopvarmede og renoveringstiltag dermed vil have nogen betydelig effekt på bygningens varmetab.

5.2.7 Vinduer

Eksisterende dannebrogsvinduer med to-lags ruder udskiftes med nye dannebrogsvinduer med tre-lags ruder i begge facader og kviste. Karm forlænges indad i vindueslysningen og samlingen mellem karm og mur udfyldes med mineraluld. Nye vinduer i facaden mod gårdhaven sættes ud i efterisoleringslaget, båret af metalbeslag i den eksisterende mur. Vinduerne udføres tilbagetrukket fra facadens udvendige side med samme afstand som nuværende – omtrent 50mm.

5.3 Casebygning – aktive renoveringstiltag

5.3.1 PV-T paneler

PV-T paneler genererer både el og varme, se afsnit 4.2.1. Hvis der produceres mere el end bygningens behov for el til bygningsdrift kan den overskydende el enten sælges til en produktionsleverandør eller anvendes til bygningens elforbrug, selvom elforbrug ikke indgår i bygningens primære energiforbrug.

Bygningens høje bevaringsværdi forventes primært at tilskrives facaden ud mod vejen, og renoveringstiltag, der ændrer udtrykket mod vejen forventes derfor ikke at være mulige, se afsnit 5.1.1. Det efterlader mulighed for opstilling af PV-T paneler på den stejle tagflade mod gårdhavesiden med orientering mod sydøst, samt på bygningens flade tag.

Det foreslås at der fortrinsvist opsættes PV-T paneler på bygningens flade tag, samt suppleres med PV-T paneler på bygningens stejle tag mod sydøst, hvis det viser sig nødvendigt for at opnå et energibehov tilsvarende lavenergiklassen iht. BR18.

5.4 Beregningsværktøjer

5.4.1 Heat2 – Varmetransmission og fugtteknisk robusthed

Heat2 er et program til simulering af varmetransmission gennem materialer og konstruktioner. Der kan opbygges projektspecifikke konstruktioner med materialedata og dimensioner iht. den konstruktion, der ønskes beregnet varmetransmission for. Programmet inddeler modellen i små firkantede tern, og beregner varmeoverførslen fra tern til tern. Inddelingen af tern kan gøres finere i de områder, hvor der er mest varmeoverførsel for at få et mere retvisende resultat – typisk ved kuldebroer i konstruktionen, såsom ved et c-profil i et inhomogent isoleringslag. Ved simulering af varmetransmission gennem bygningens mest kritiske punkter i klimaskærmen kan temperaturen på indvendig- og udvendig overflade beregnes, samt temperaturen gennem konstruktionen. Temperaturen kan bruges til at vurdere om der er risiko for fugtproblemer. Simuleringsresultater kan dog kun give en antydning af de faktiske forhold, da programmet har en række begrænsninger:

- Programmet beregner varmetransmission i to dimensioner. Der kan ikke beregnes varmetransmission gennem konstruktioner i 3d.
- Programmet beregner med stationære randbetingelser. Der tages ikke højde for temperaturudsving.
- Programmet beregner med stationære materialeegenskaber. Der tages ikke højde for parametre som opfugtning, der kan påvirke et materiales varmeledningsevne og varmekapacitet.

Heat 2 er anvendt til varmetransmissionssimuleringer af bygningens eksisterende kuldebroer i klimaskærmen, som primært er ved samlinger mellem tunge materialer, såsom samling mellem etagedæk og ydervæg. Simuleringer er gentaget efter gennemførsel af passive renoveringstiltag.

5.4.2 Be18 – Energibehov og sommerkomfort

Be18 er et program til beregning af en bygnings primære energibehov, som omfatter "(...) leveret energi til ejendommen til opvarmning, ventilation, varmt vand, køling og eventuel belysning, multipliceret med den relevante energifaktor for hver energibærer" (Bolig- og Planstyrelsen, BR18). Energirammeberegningen kan anvendes til at eftervise overholdning af grænseværdien for en given energiramme.

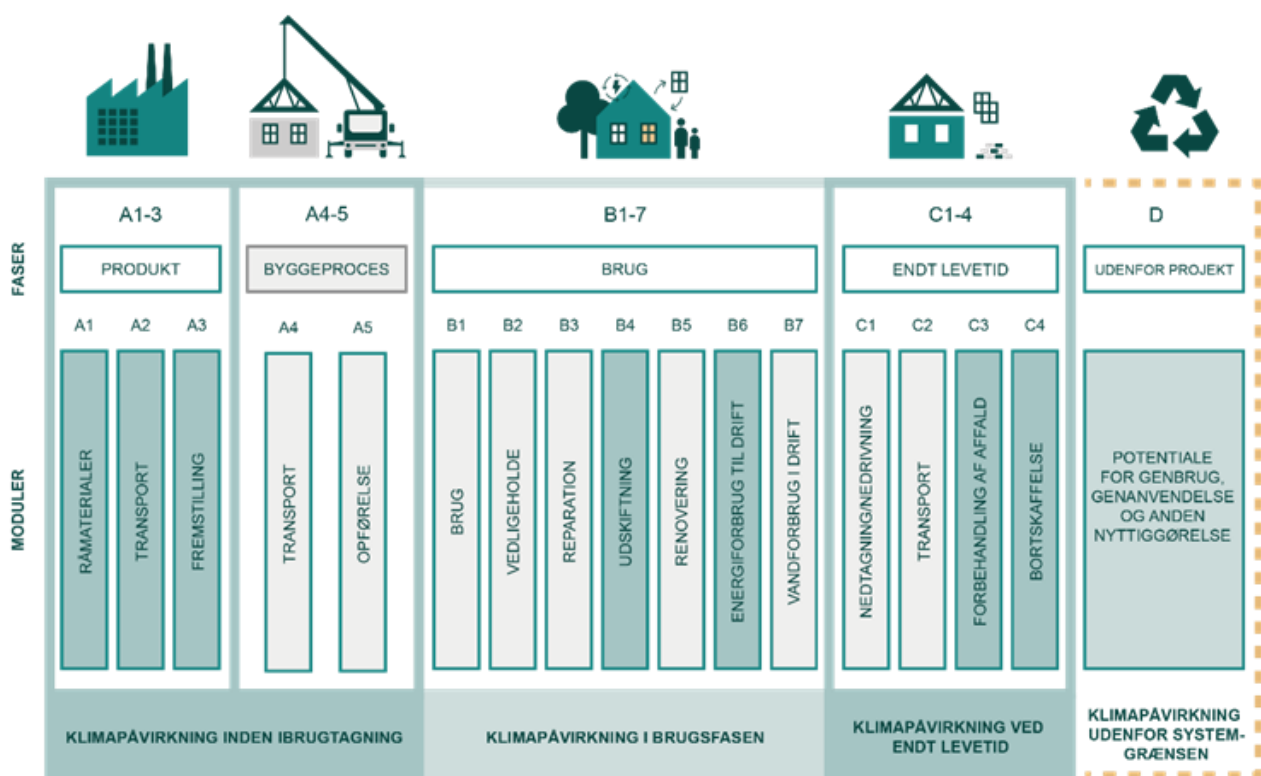
Be18 er anvendt til at beregne bygningens primære energibehov efter gennemførsel af passive renoveringstilag, bygningens primære energibehov efter både passive- og aktive renoveringstilag, samt sommerkomfort i det mest kritiske rum i bygningen. Der er udført beregninger med nuværende designklimadata DR2013, samt fremskrevne klimadata for 2050'erne og 2090'erne.

Fremskrevne klimadata er hentet fra Sbi (Statens byggeforskningsinstitut, u.d.) og bygger på fremskrevne klimadata fra IEA EBC Annex 80 Resilient Cooling of Buildings CORDEX projekt som beskrevet i afsnit 4.5.

5.4.3 LCAByg – Udledning af drivhusgasser

LCAByg er et program til LCA-beregning, der beregner udledningen af CO₂-ækvivalenter i forbindelse med et byggeri gennem en analyse af de anvendte materials livscyklus. Programmet tager højde for vedligeholdelse og udskiftning af materialer med baggrund i indbyggede middellevetider for materialer. Som udgangspunkt anvender programmet en betragtningsperiode på 50 år, enten iht. den frivillige bæredygtighedsklasse eller bygningsreglementet, men der kan også beregnes med en brugerspecifik betragtningsperiode.

LCAByg beregner kun på de fremhævede faser i Figur 24, som der kræves dokumentation for i BR18. BR18 stiller ikke krav til LCA-beregning ved renovering. Det forventes at der i fremtidens bygningsreglementer vil stilles krav til inddragelse af flere af byggeriets faser i LCA-beregning, samt krav om LCA-beregning ved flere typer af nybyggeri, samt renoveringsprojekter.



Figur 24. Faser i LCA-beregning, som er omfattet af LCAByg, og som skal dokumenteres iht. BR18 (Bolig- og Planstyrelsen, BR18).

LCAByg anvendes som dokumentation for overholdelse af lovmæssige grænseværdier fastsat i BR18, men kan ikke anses som et fuldstændigt billede af udledningen af CO₂-ækvivalenter i forbindelse med et byggeri, da kun nogle af byggematerialernes faser er inddraget i LCABygs beregning. Programmets indbyggede middellevetider kan være begrænsende/pessimistisk idét programmet foreslår at nedrive og genopføre eksisterende konstruktioner ved renoveringsarbejdets opstart hvis den indbyggede middellevetid for et materiale er overskredet. Der er dog ingen krav om, eller grund til, at eksisterende konstruktioner skal nedrives hvis der ikke er nogen begrundet mistanke om at materialet/konstruktionen har udtjent sin levetid.

LCAByg er anvendt til beregning af CO₂-ækvivalent udledning af drivhusgasser i forbindelse med byggeriet (inkl. vedligeholdelse og udskiftning indenfor betragtningsperioden) over en betragtningsperiode på 50 år hvis der foretages ingen tiltag, ved gennemførsel af passive renoveringstiltag, samt ved gennemførsel af både passive- og aktive renoveringstiltag. Da der ikke krav om LCA-beregning ved renovering er resultaterne af LCA-beregning kun relevante for en bygherre, der ønsker at inddrage miljøpåvirkning i sine overvejelser.

5.4.4 Molios prisdata - Økonomi

Molio prisdata er et indeksbaseret værktøj til beregning af udgifter forbundet med et byggeprojekt. Prisdataene tilgås gennem et program, Sigma Browser, hvori der sammensættes en liste over de konstruktioner, der indgår i byggeprojektet. Ved indtasting af mængder for hver konstruktion beregner programmet selv udgifter til materialeforbrug og arbejdstid.

Molio prisdata fra 2023 er anvendt til beregning af udgifter forbundet med ikke at foretage nogen renoveringstiltag, gennemførsel af passive renoveringstiltag, samt gennemførsel af både passive- og aktive renoveringstiltag over en betragtningsperiode på 50 år. Der tages udgangspunkt i LCAByg-beregninger for vedligeholdelse og udskiftning af materialer. De økonomiske beregner kan i nogen grad være pessimistiske idet LCAByg foreslår nedrivning og genopførsel af konstruktioner i højere grad end det forventes at være nødvendigt, se afsnit 5.4.3.

På trods af, at der er anvendt prisdata fra 2023 kan der ske store udviklinger i priserne på arbejdskraft og materialer over korte perioder. Hvis der f.eks. skrives kontrakt på byggearbejder i 2024 kan priserne have udviklet sig meget indtil da grundet forskellige udviklinger i Danmark og verden, såsom inflation, høj efterspørgsel, krigen i Ukraine, osv.

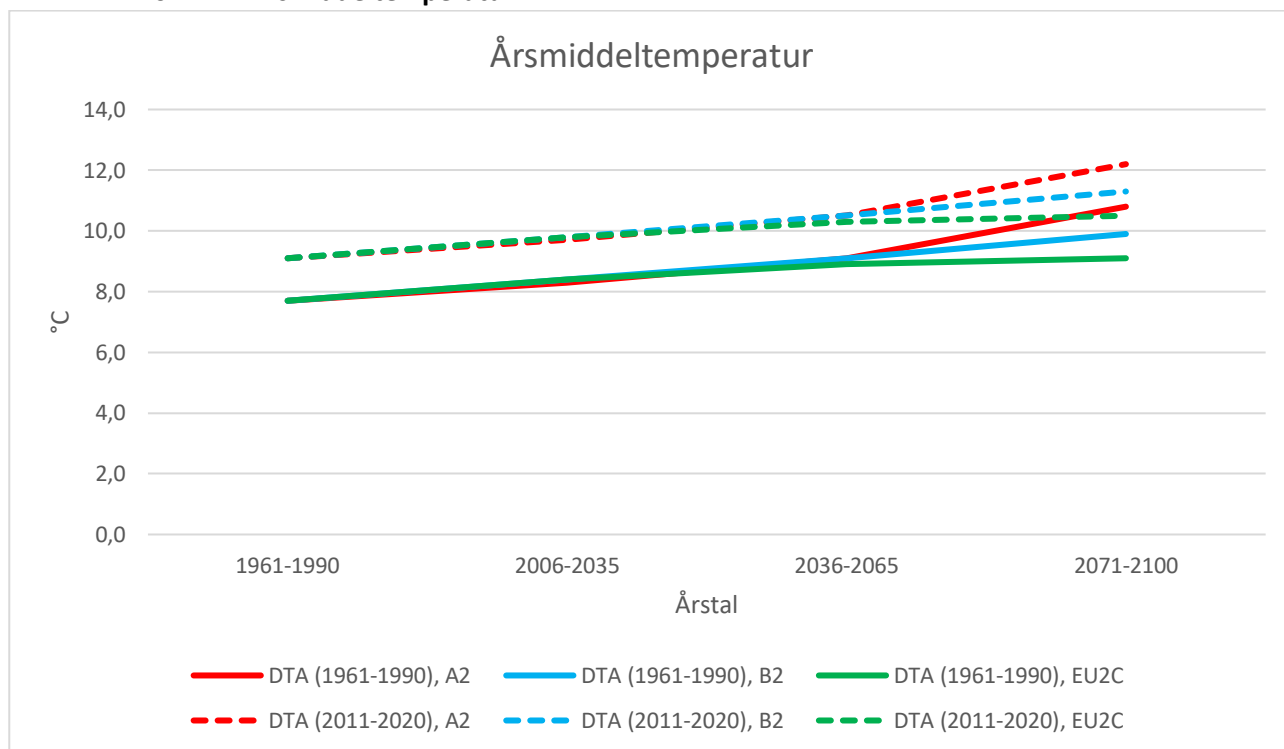
Der er anvendt en udvikling i årlig inflation på 2% i de økonomiske beregninger, se afsnit 4.3.

6. Resultater

6.1 Fremtidsscenarier

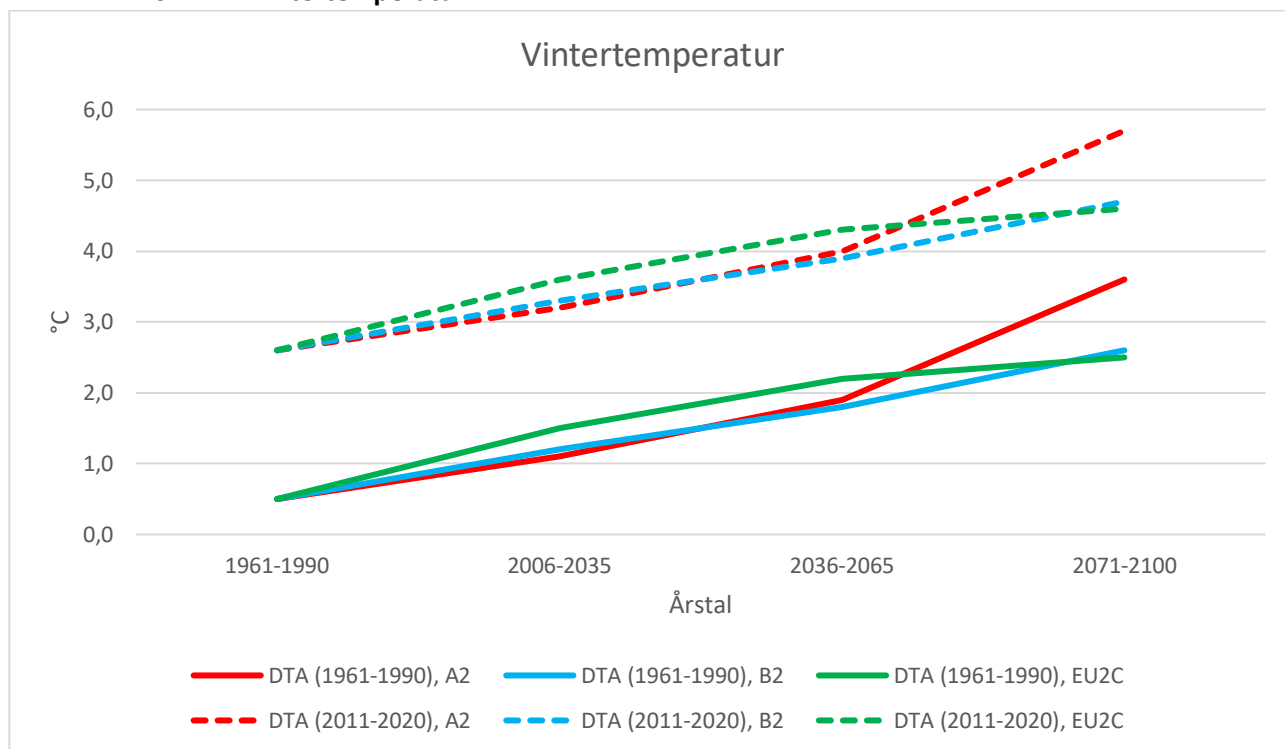
Tabel 5 viser fremskrivning af klimaværdier fra den danske klimanormal fra 1961-1990 som oplyst i Tabel 4. Der er udarbejdet en graf for hvert klimaparameter, som viser denne fremskrivning af klimadata, samt hvordan fremtidens klima vil se ud, hvis samme fremskrivningsmodel anvendes for klimadata fra dekadene 2011-2020 som oplyst i Tabel 4. For beregninger se bilag 12.

6.1.1 Årsmiddeltemperatur



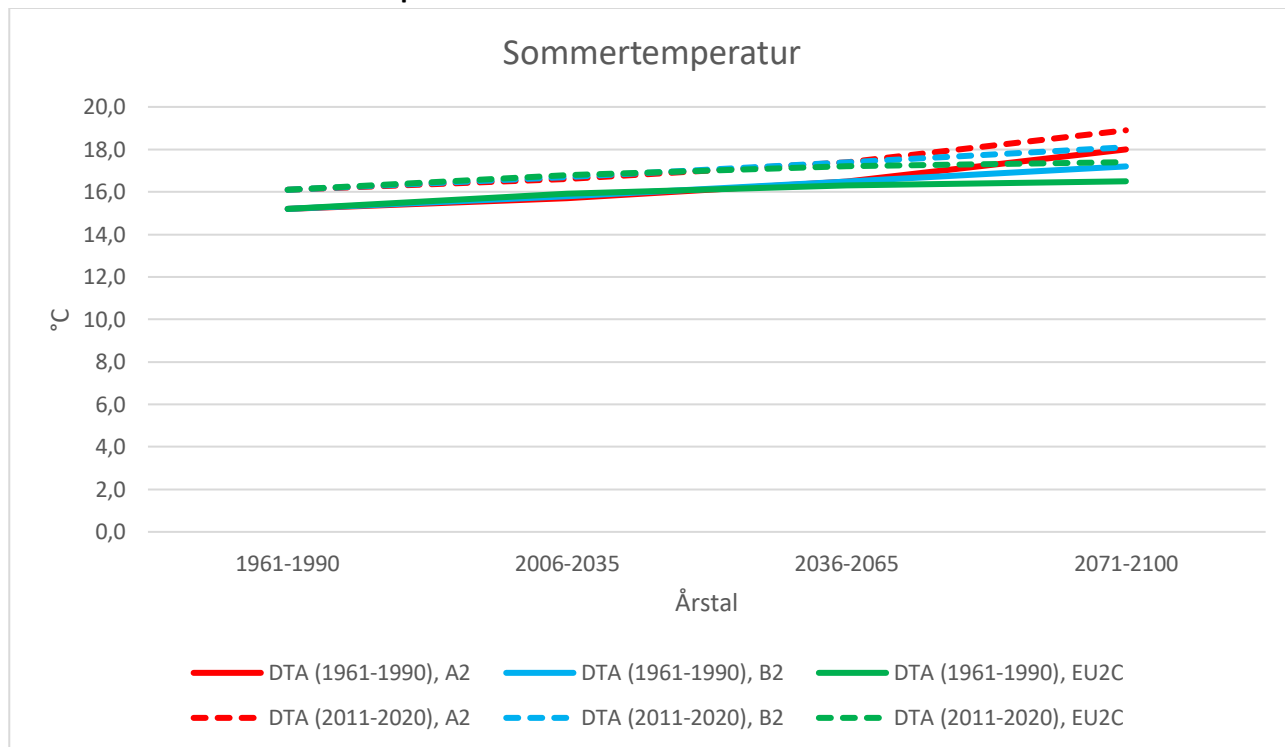
Figur 25. Fremskrivning af dansk årsmiddeltemperatur fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.

6.1.2 Vintertemperatur



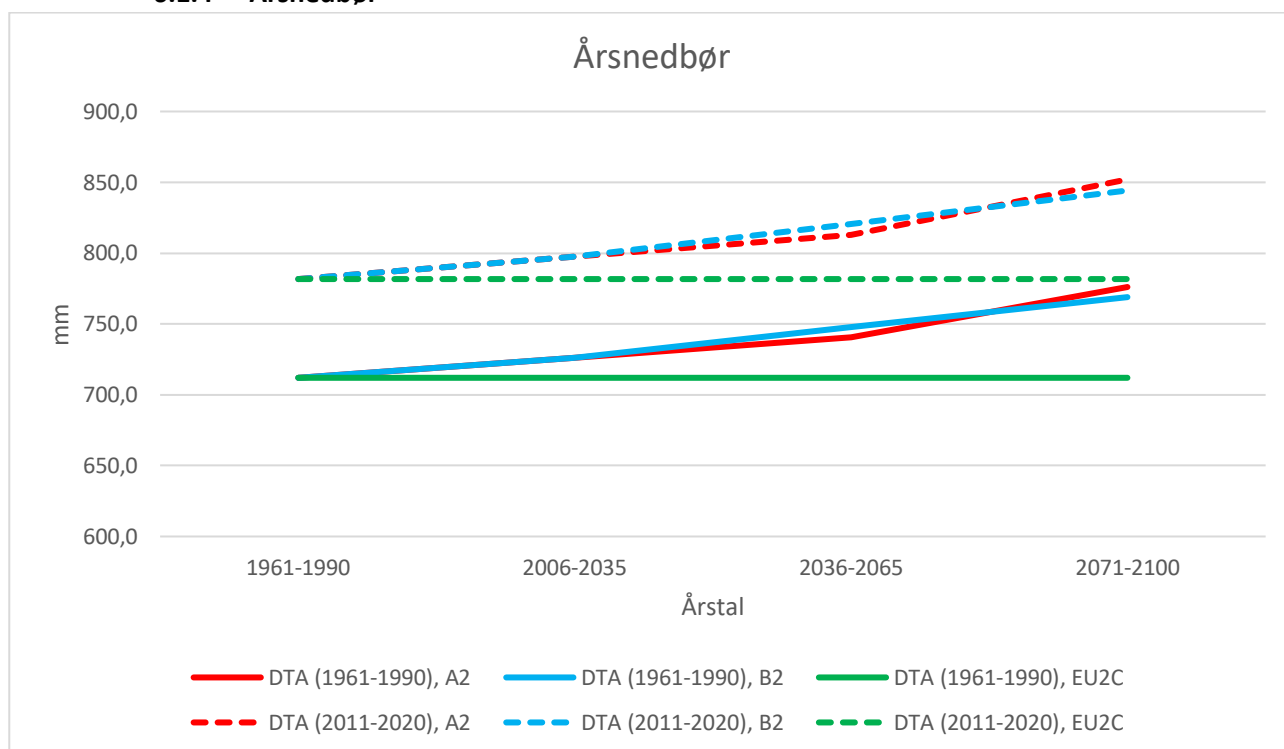
Figur 26. Fremskrivning af dansk vintertemperatur fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadern 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministrielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.

6.1.3 Sommertemperatur



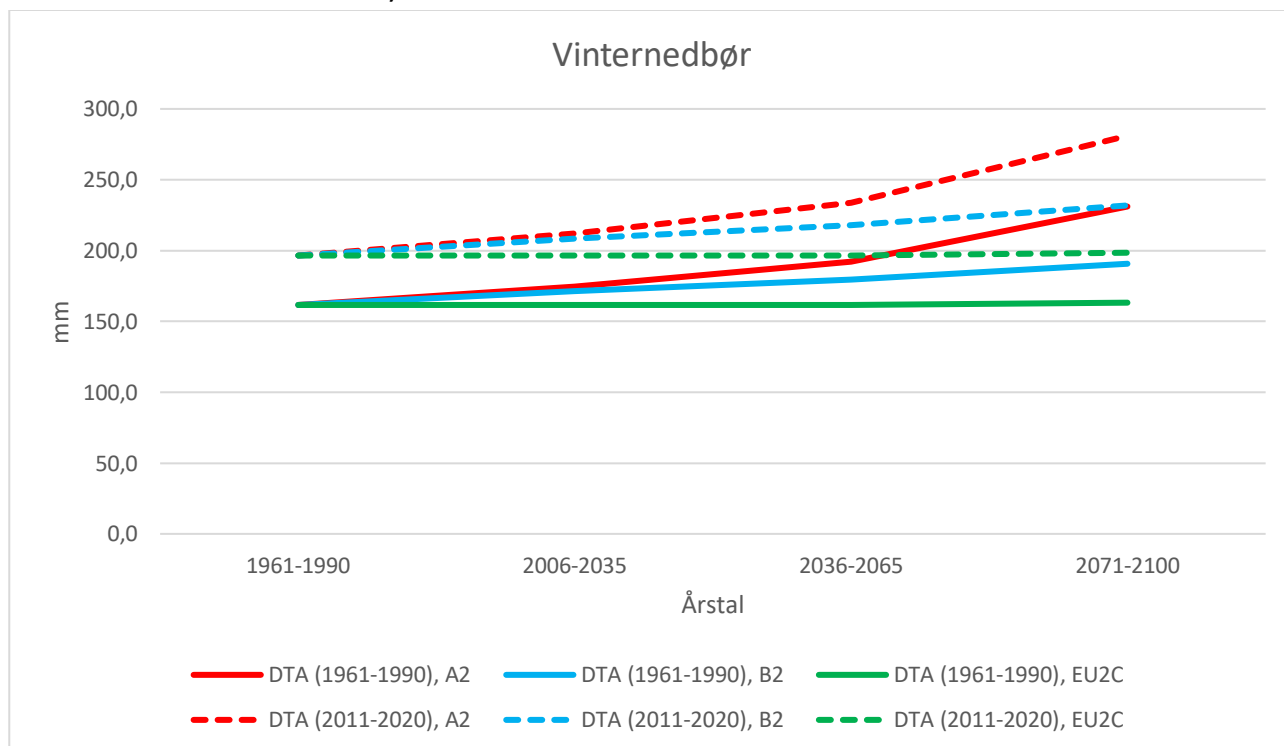
Figur 27. Fremskrivning af dansk sommertemperatur fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadern 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministrielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.

6.1.4 Årsnedbør



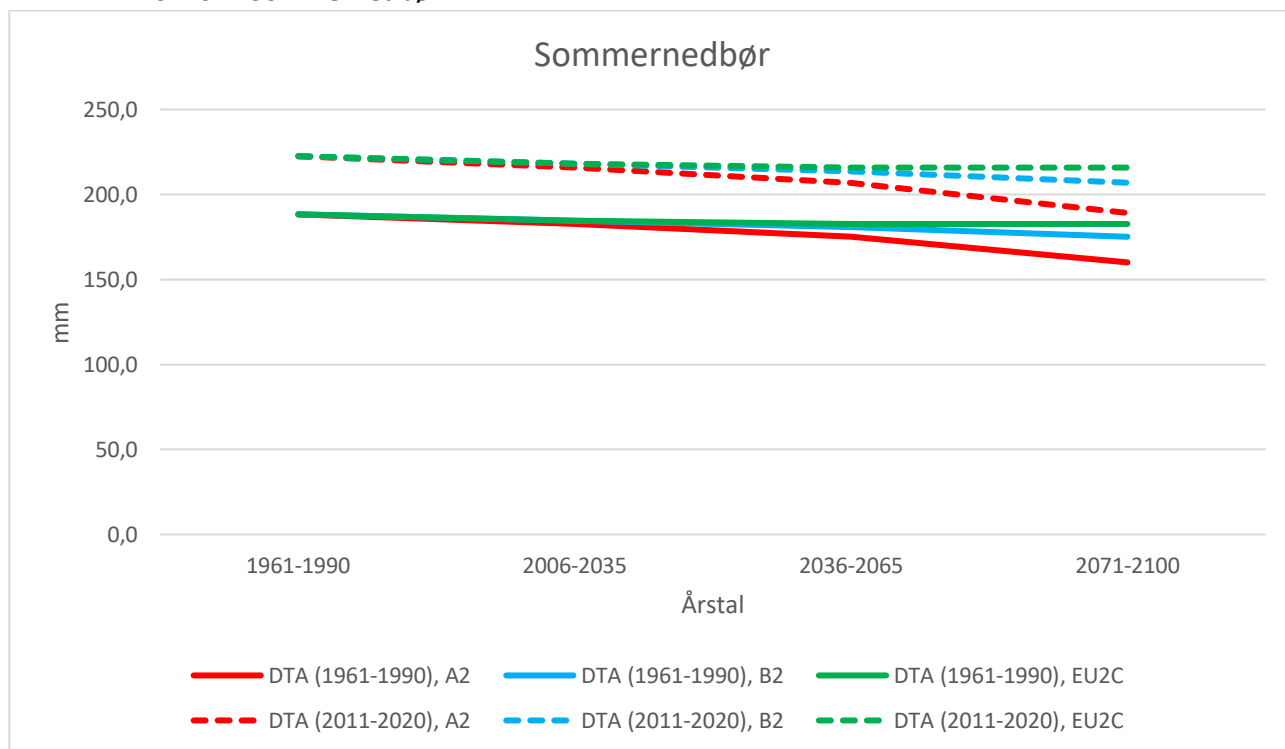
Figur 28. Fremskrivning af dansk årsnedbør fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadern 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.

6.1.5 Vinternedbør



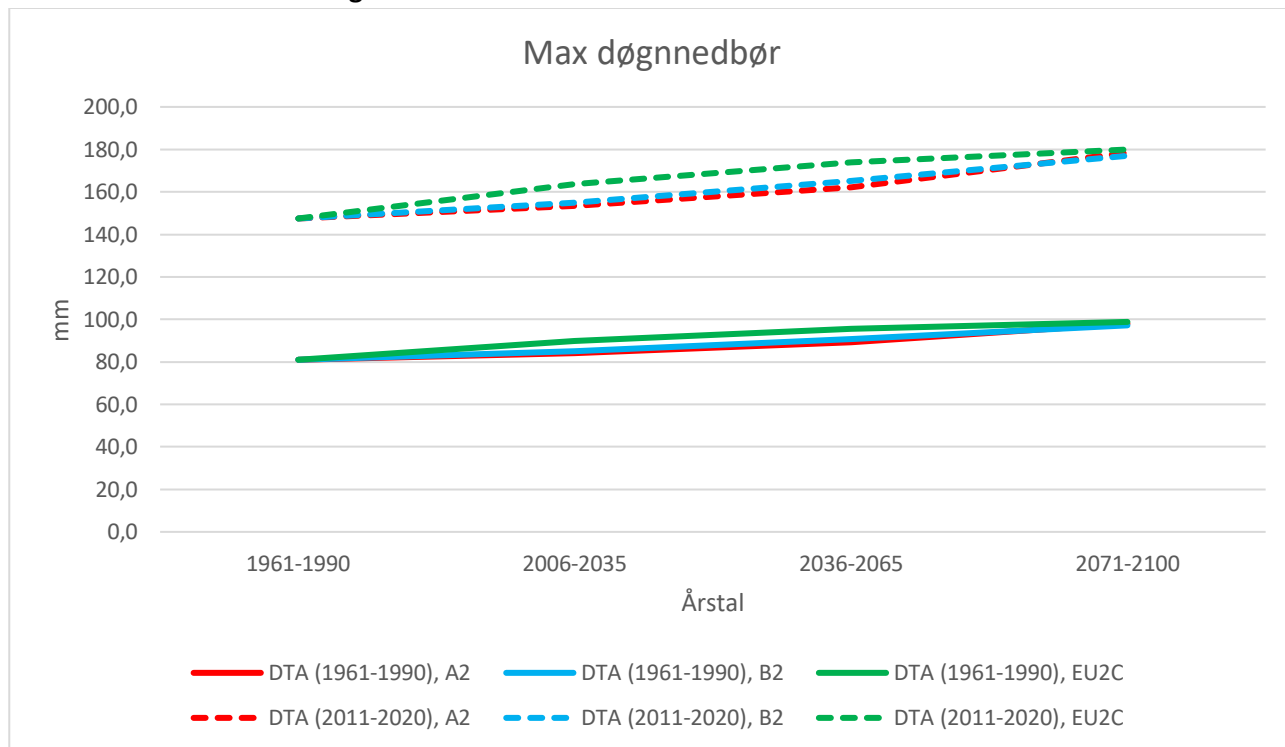
Figur 29. Fremskrivning af dansk vinternedbør fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadern 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.

6.1.6 Sommernedbør



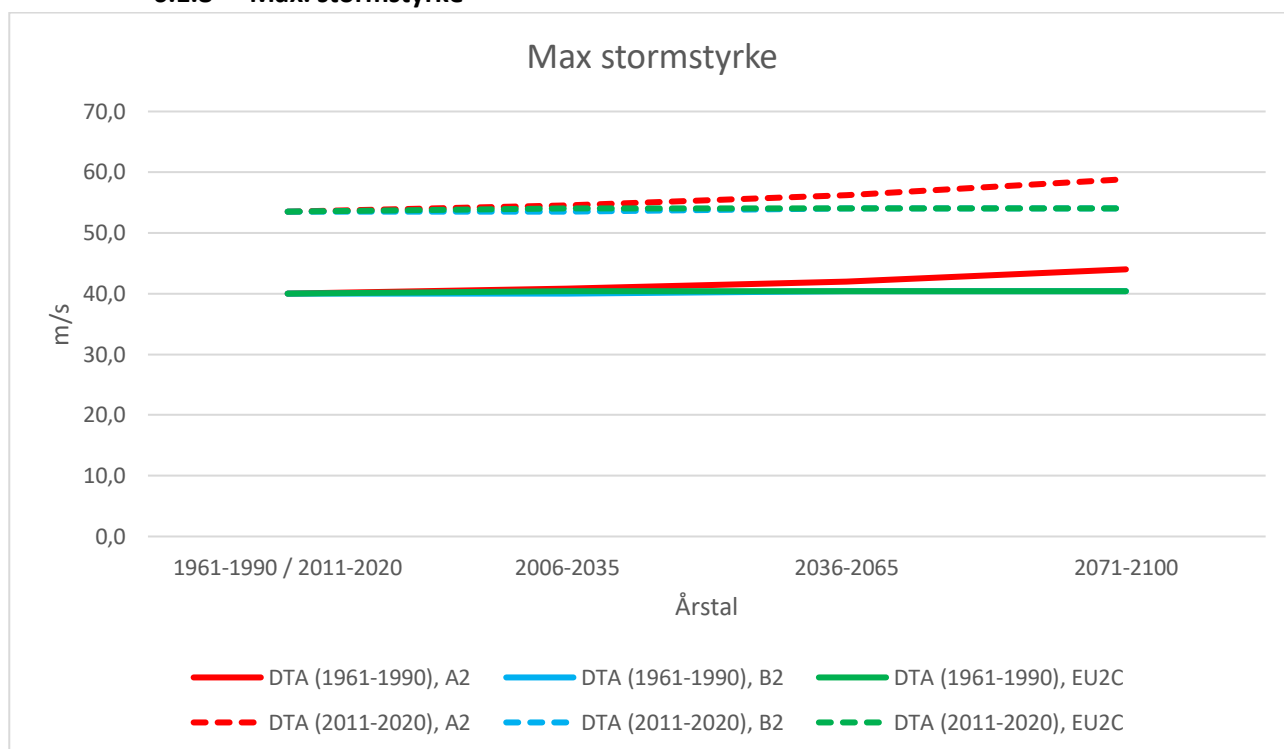
Figur 30. Fremskrivning af dansk sommernedbør fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministrielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.

6.1.7 Max. døgnedbør



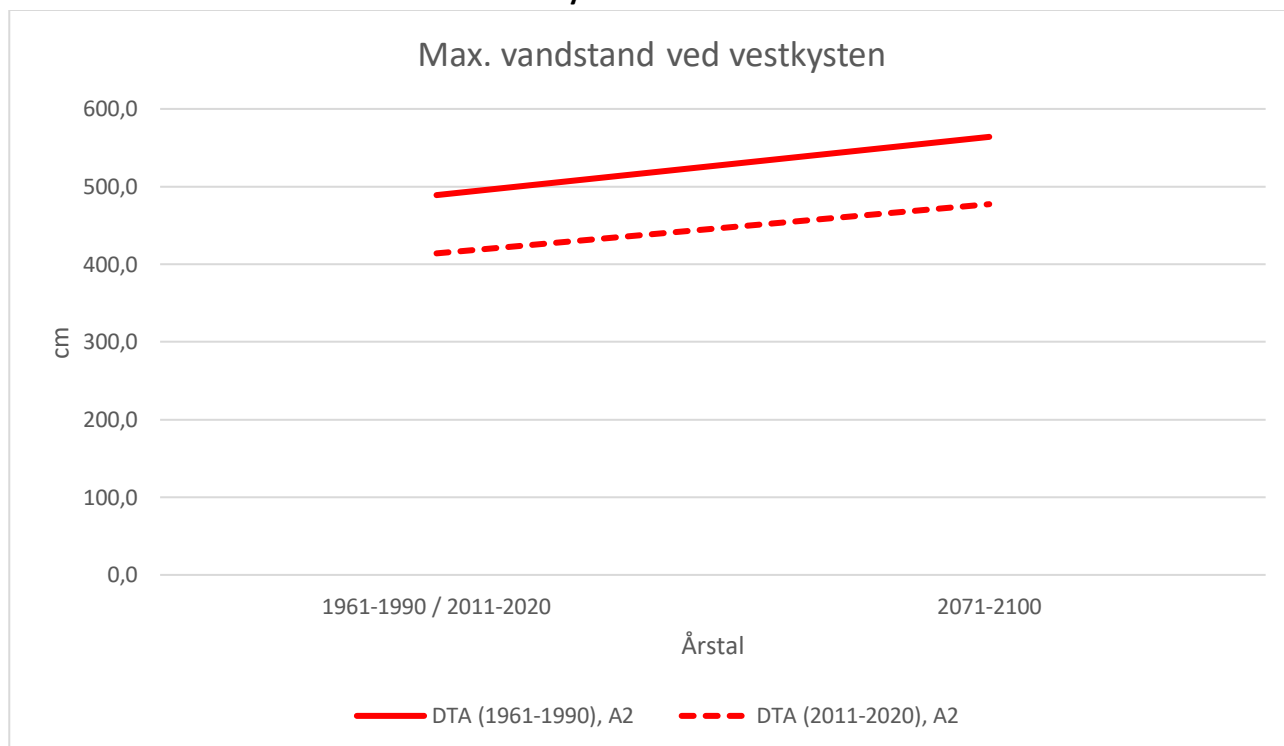
Figur 31. Fremskrivning af max. døgnedbør i Danmark fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministrielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.

6.1.8 Max. stormstyrke



Figur 32. Fremskrivning af max. stormstyrke i Danmark fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.

6.1.9 Max. vandstand ved vestkysten



Figur 33. Fremskrivning af max. vandstand ved vestkysten i Danmark fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning. Ved fremskrivning af

vandstand fra dekadern 2011-2020 til 2071-2020 er der taget udgangspunkt i den procentvise stigning i vandstand fra klimanormalen 1961-1990 til 2071-2100.

6.2 HEAT2 - Varmetransmission

Der er foretaget varmestrømssimuleringer af konstruktioner i klimaskærmen i HEAT2, først af nuværende forhold og dernæst af renoverede forhold. Samtlige simuleringer er foretaget med de samme randbetingelser: 0 °C udvendigt og 20 °C indvendigt.

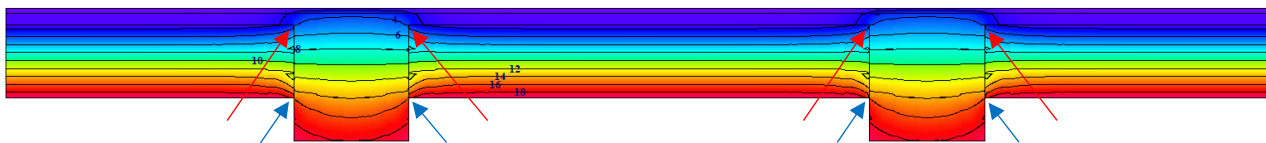
Overgangsisolanser ved indvendig og udvendig overflade er sat til standardværdier, se Tabel 9.

Tabel 9. Overgangsisolanser i m²K/W (Dansk Standards Association, 2020).

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

6.2.1 Tagkonstruktion – Eksisterende forhold

Der er beregnet på den stejle tagflade. Den koldeste indvendige overfladetemperatur er i samlingerne mellem spær og mineraluld. Temperaturen i samlingen mellem bjælker og bræddebeklædning, som danner underlag for tagpap er langt koldere, se Figur 34. For beregning se bilag 20.



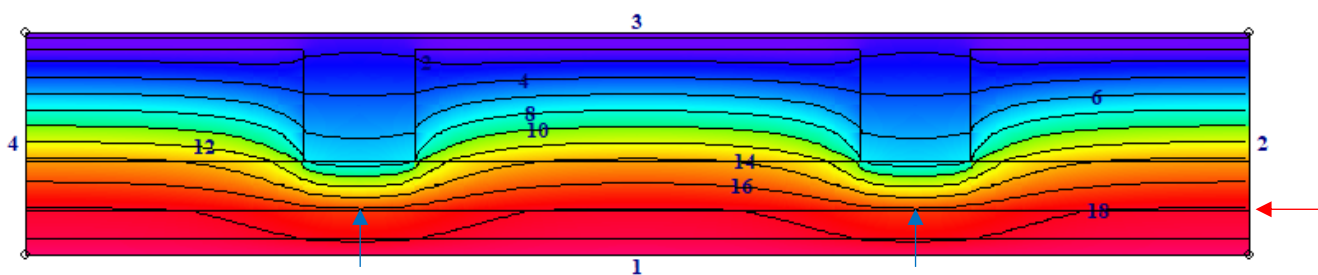
Figur 34. HEAT2-beregning af nuværende forhold. Snit vinkelret på tag.

Temperatur i samling ved røde pile 3,8 °C.

Overfladetemperatur i samling ved blå pile: 15,4 °C.

6.2.2 Tagkonstruktion – Renoverede forhold (Option A)

Efter renovering iht. Option A i afsnit 5.2.1 er de koldeste punkter i dampspærrelaget midt under spær, se Figur 35. For beregning se bilag 21.



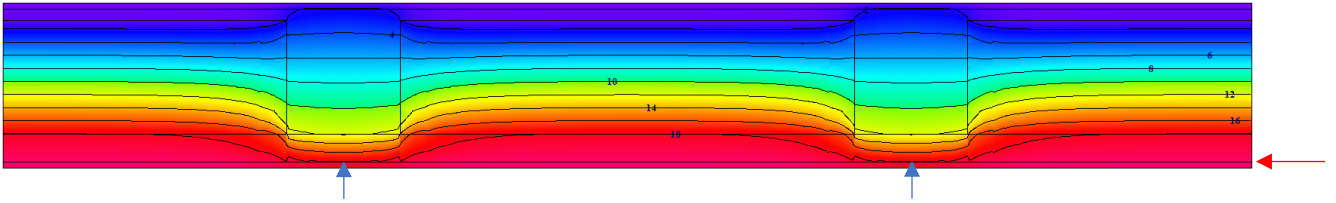
Figur 35. HEAT2-beregning af renoverede forhold iht. Option A i afsnit 5.2.1. Snit vinkelret på tag.

Rød pil indikerer placering af dampspærrelag i konstruktionen, mellem lægtelag.

Temperatur på dampspærre ved blå pile: 16,5 °C.

6.2.3 Tagkonstruktion – Renoverede forhold (Option B)

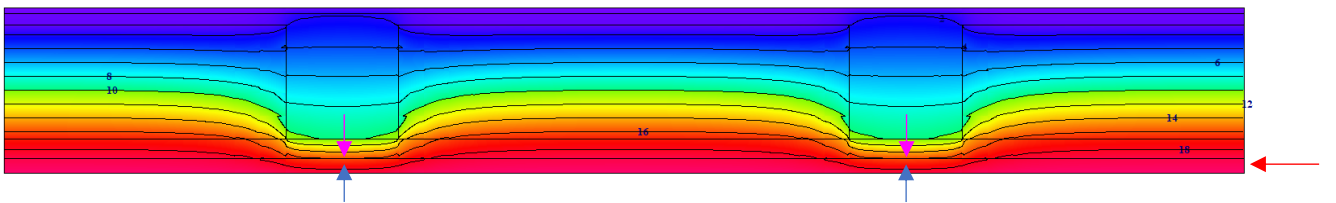
Efter renovering iht. Option B i afsnit 5.2.1 er de koldeste punkter i dampspærrelaget midt under spær, se Figur 36. For beregning se bilag 22.



Figur 36. HEAT2-beregning af renoverede forhold iht. Option B i afsnit 5.2.1. Snit vinkelret på tag. Rød pil indikerer placering af dampspærrelag i konstruktion, på underside af celleglas. Laveste temperatur på dampspærre ved blå pile: 18,2 °C.

6.2.4 Tagkonstruktion – Renoverede forhold (Option C)

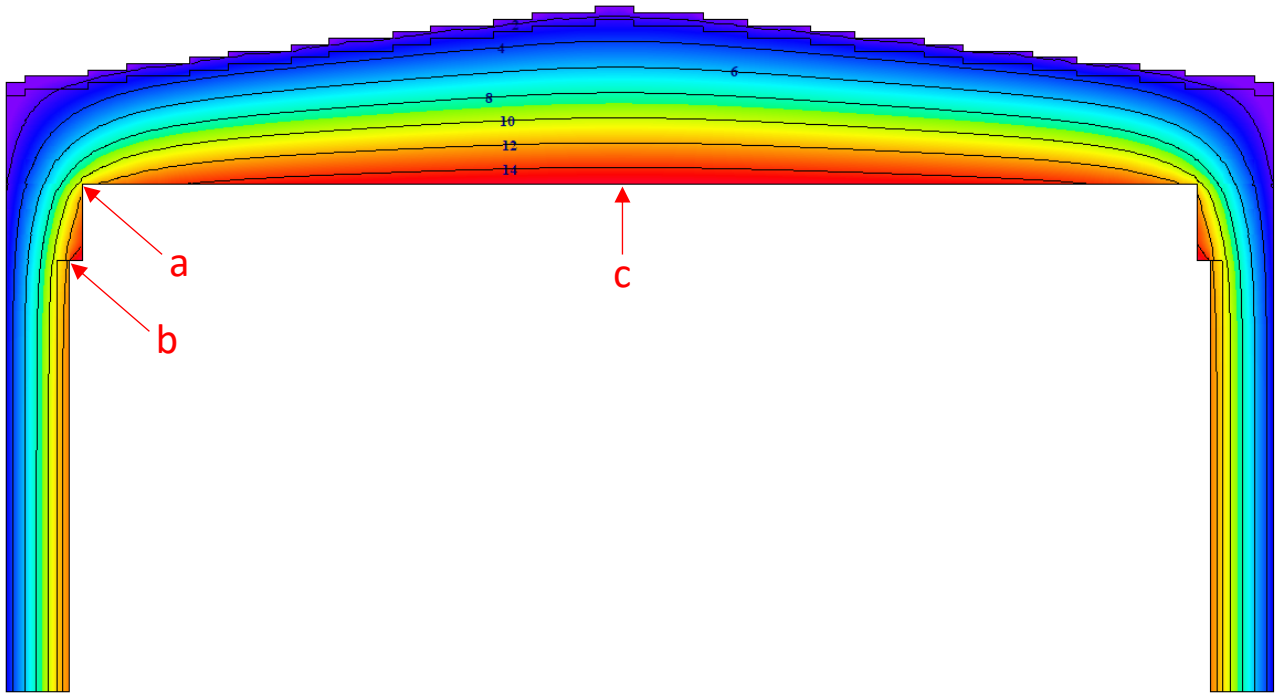
Efter renovering iht. Option C i afsnit 5.2.1 er de koldeste punkter i dampspærrelaget midt under spær, se Figur 37. For beregning se bilag 23.



Figur 37. HEAT2-beregning af renoverede forhold iht. Option C i afsnit 5.2.1. Snit vinkelret på tag. Rød pil indikerer placering af dampspærrelag i konstruktion, mellem gipslag. Laveste temperatur på dampspærre ved blå pile: 17,2 °C. Laveste temperatur på udvendig side af gipsplader ved lyserøde pile: 16,1 °C.

6.2.5 Kviste – Eksisterende forhold

Der er beregnet på taget og flunkerne på en kvist med 2-fags dannebrogsvindue. De koldeste indvendige overfladetemperaturer er i samlingerne mellem tag og flunker. Den varmeste indvendige overfladetemperatur er på bræddebeklædning i loft, lodret under tagryg, se Figur 38. For beregning se bilag 24.

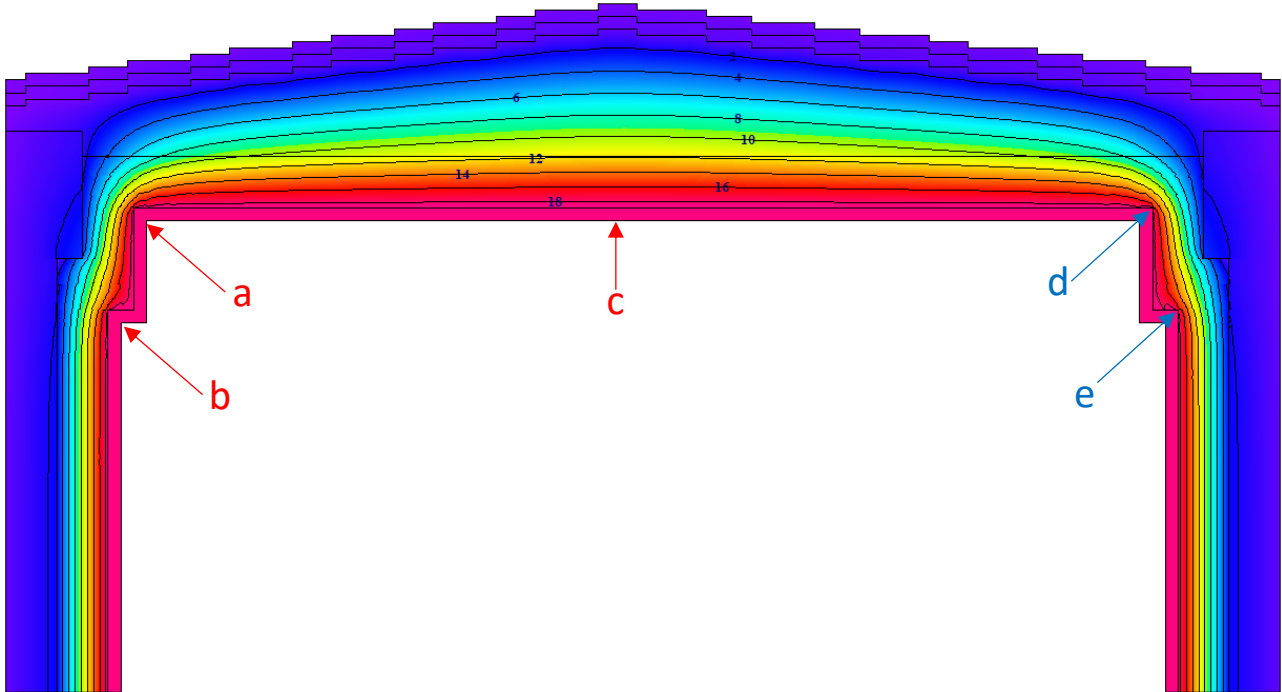


Figur 38. HEAT2-beregning af nuværende forhold. Lodret snit gennem konstruktionen.

- a. 11 °C
- b. 12,2 °C
- c. 15,4 °C

6.2.1 Kviste – Renoverede forhold

Efter renovering iht. afsnit 5.2.2 er den indvendige overfladetemperatur næsten den samme over hele konstruktionen. De koldeste punkter på dampspærrelaget er i de udadgående hjørner ved hjørnebjælken i samlingen mellem flunke og tag. For beregning se bilag 25.



Figur 39. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Lodret snit gennem konstruktionen.

Laveste indvendige overfladetemperaturer:

a. 18,7 °C

b. 18,7 °C

c. 18,8 °C

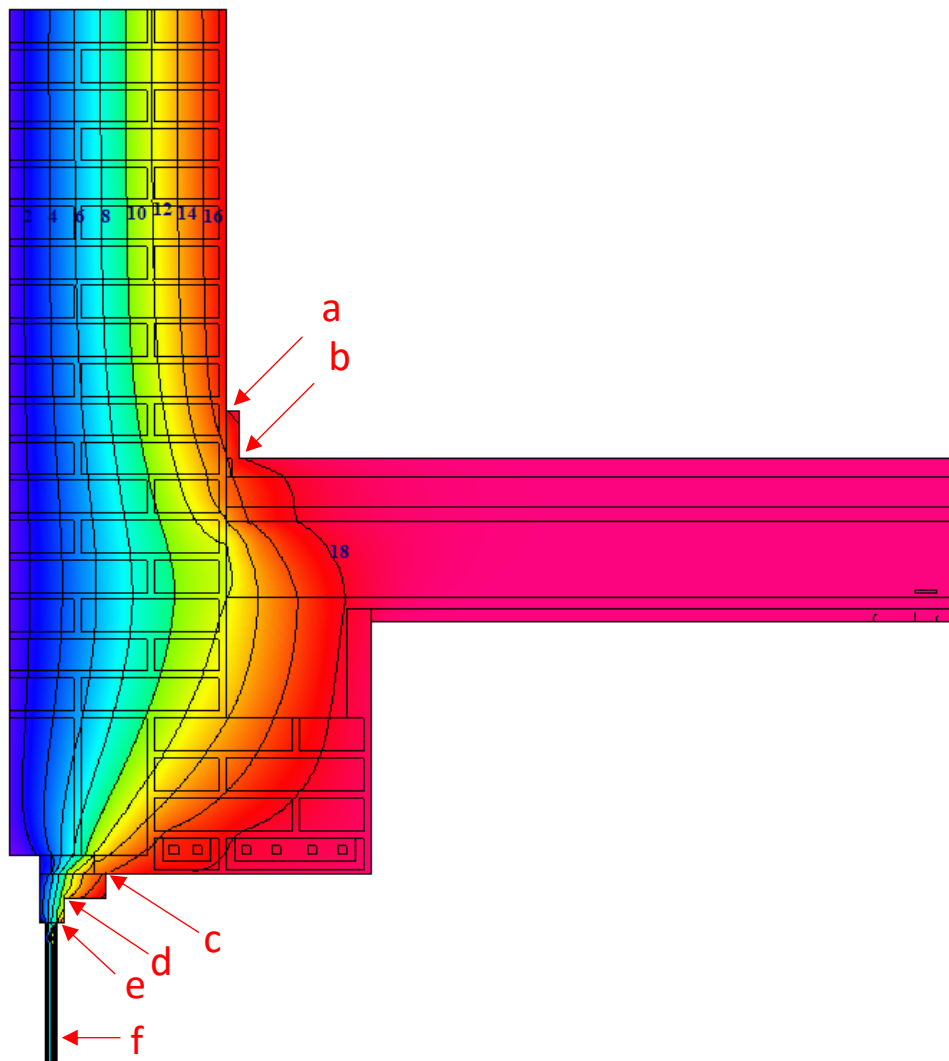
Laveste temperaturer på dampspærre:

d. 18,7 °C

e. 18,7 °C

6.2.2 Samling mellem facader, etagedæk og vinduer – Eksisterende forhold

Der er beregnet på facadekonstruktionen ved samling med etagedæk mellem stueetagen og 1. sal, hvor muren er hhv. 600mm tyk mellem vindueshuller og i vinduesoverligger, og 360mm tyk ved vindueshuller i fuld højde op til næste vinduesoverligger, se Figur 40. De 3 punkter med koldest beregnede indvendige overfladetemperatur er i vinduet; på glasset, i samlingen mellem glas og ramme, og i samlingen mellem ramme og karm. Det fjerde koldeste punkt er i samlingen mellem vindueskarm og mur. Det femte og sjette koldeste punkt er ved fodlisten i samlingen mellem fodliste og mur, og i samlingen mellem fodliste og trægulv. Se Figur 40. For beregning se bilag 26.

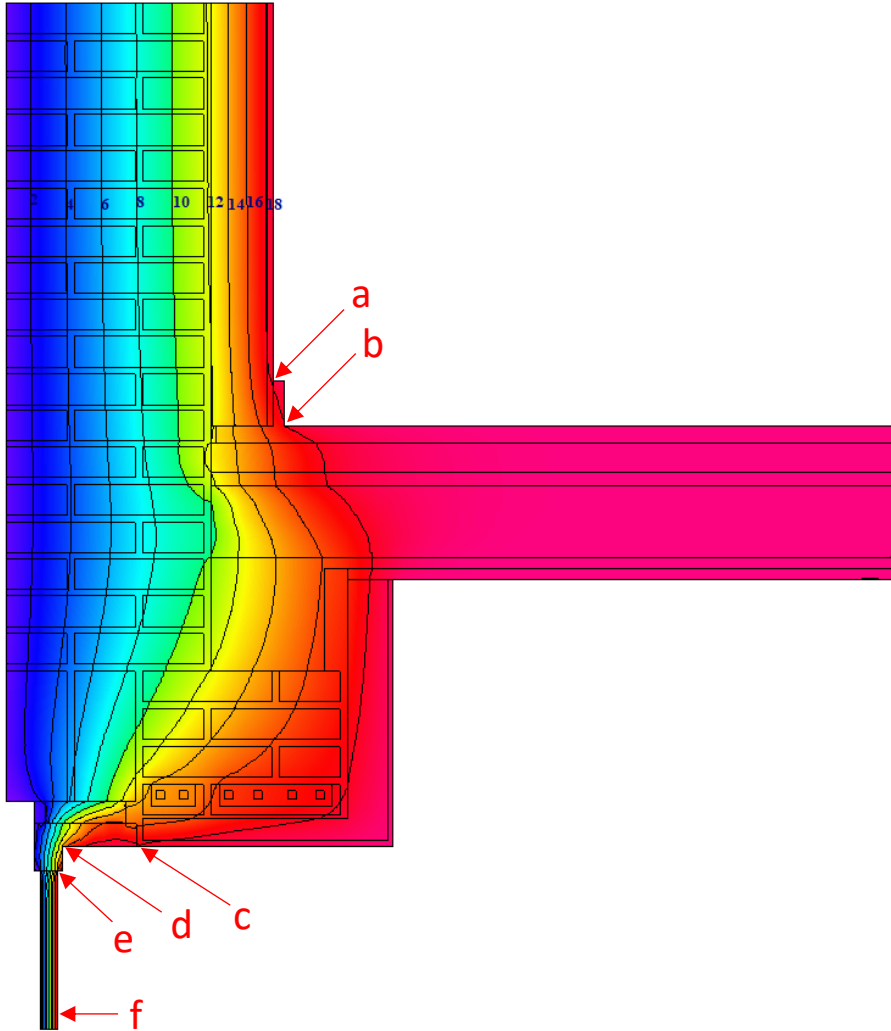


Figur 40. HEAT2-beregning af nuværende forhold. Lodret snit.

- a. 17,3 °C
- b. 17,5 °C
- c. 15,8 °C
- d. 13,2 °C
- e. 14,4 °C
- f. 17,2 °C

6.2.3 Samling mellem vejfacade, etagedæk og vinduer – Renoverede forhold (Option A)

Efter renovering iht. afsnit 5.2 Option A er de 6 punkter med koldest beregnede indvendige overfladetemperatur fortsat de samme steder som før renoveringstiltag. De to koldeste punkter er i samlingen mellem glas og ramme, og mellem ramme og karm, se Figur 41. For beregning se bilag 27.

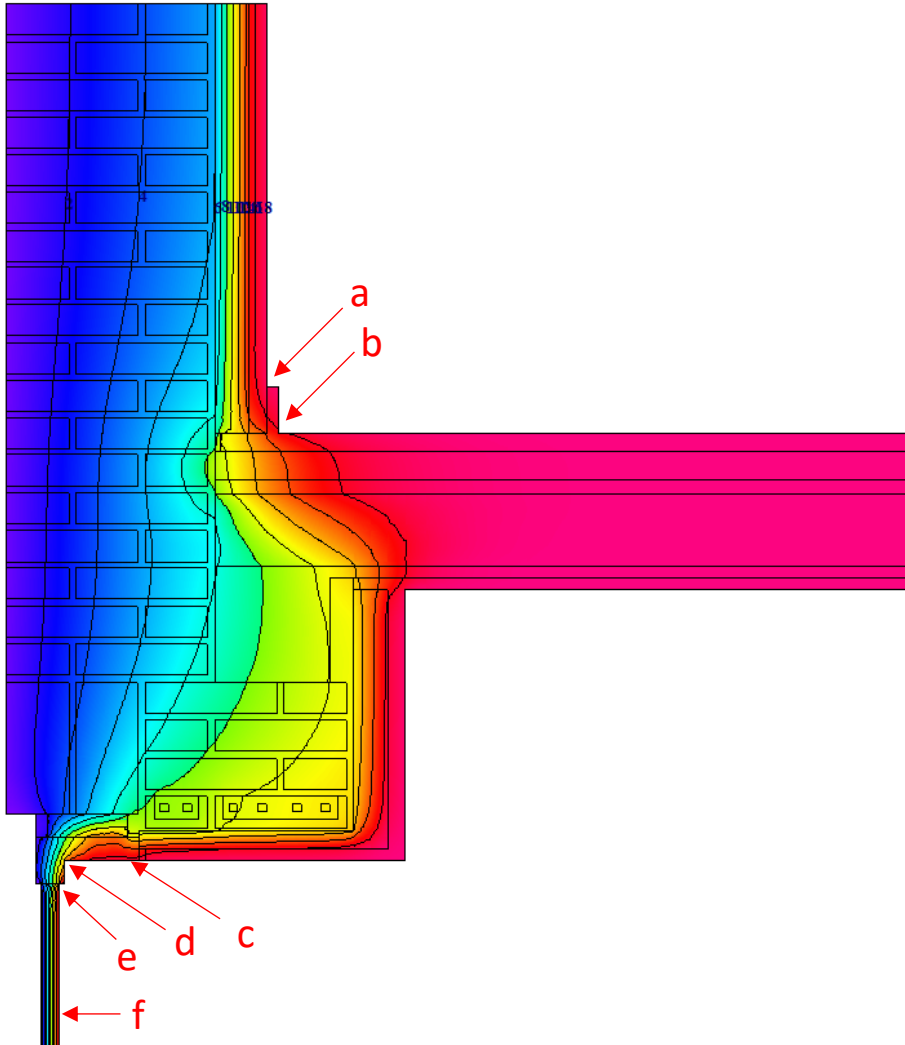


Figur 41. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Lodret snit.

- a. 18,6 °C
- b. 17,8 °C
- c. 18,1 °C
- d. 14,0 °C
- e. 14,9 °C
- f. 18,2 °C

6.2.4 Samling mellem vejfacade, etagedæk og vinduer – Renoverede forhold (Option B)

Efter renovering iht. afsnit 5.2 Option B er de 6 punkter med koldest beregnede indvendige overfladetemperatur fortsat de samme steder som før renoveringstiltag. De to koldeste punkter er i samlingen mellem glas og ramme, og mellem ramme og karm, se Figur 42. For beregning se bilag 28.

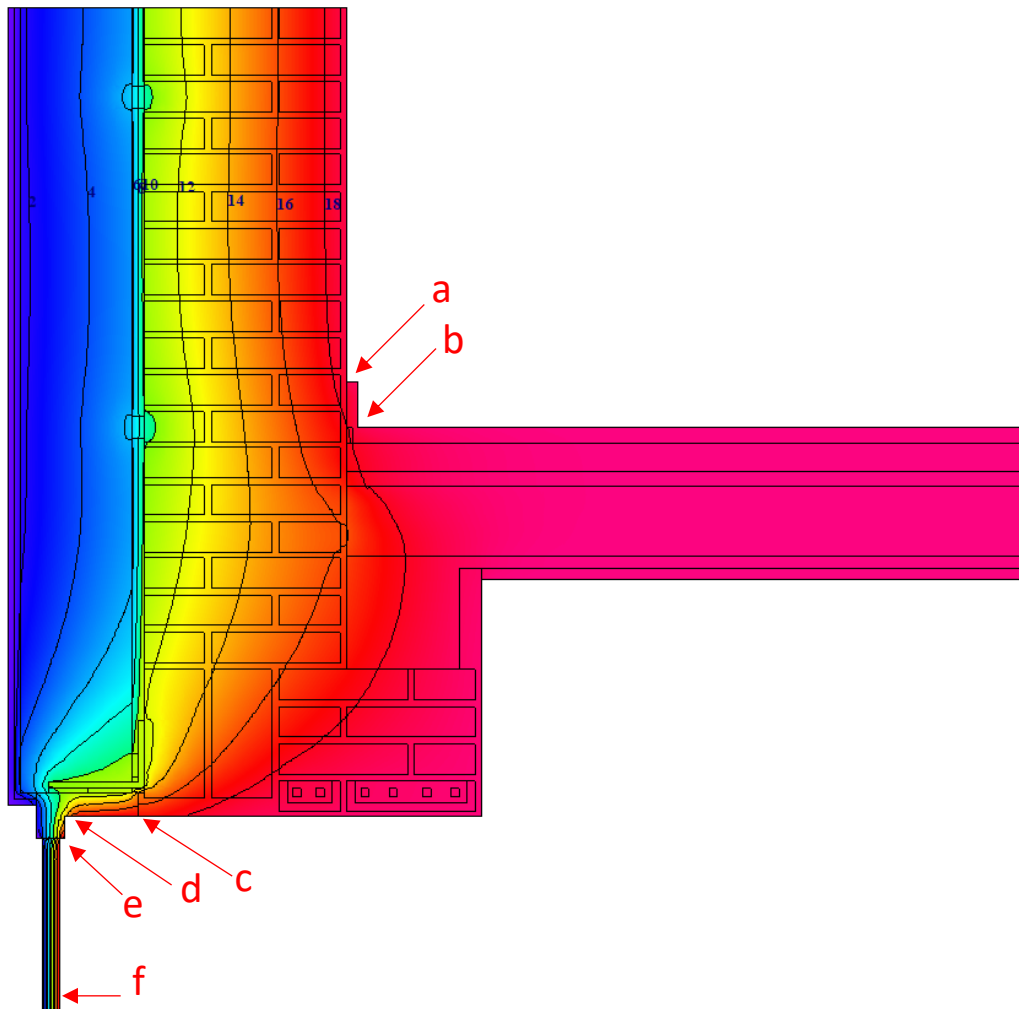


Figur 42. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Lodret snit.

- a. 19,1 °C
- b. 17,4 °C
- c. 18,3 °C
- d. 13,7 °C
- e. 14,6 °C
- f. 18,2 °C

6.2.5 Samling mellem gårdfacade, etagedæk og vinduer – Renoverede forhold

Efter renovering iht. afsnit 5.2 er de 6 punkter med koldest beregnede indvendige overfladetemperatur fortsat de samme steder som før renoveringstiltag. De to koldeste punkter er i samlingen mellem glas og ramme, og mellem ramme og karm, se Figur 43. For beregning se bilag 29.

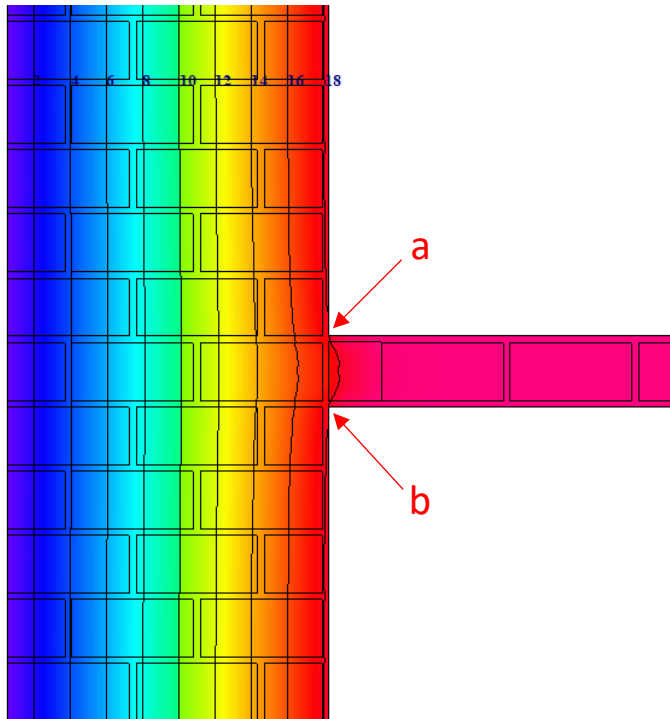


Figur 43. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Lodret snit.

- a. 18,7 °C
- b. 18,7 °C
- c. 17,7 °C
- d. 12,5 °C
- e. 14,0 °C
- f. 18,0 °C

6.2.6 Samling mellem facader og tværgående skillevægge – Eksisterende forhold

Der er beregnet varmetransmission ved mødet mellem facaden på stueetagen eller 1. sal, hvor muren er 600mm tyk, og tværgående skillevæg i bindingsværk. De koldest beregnede indvendige overfladetemperaturer er i samlingerne mellem facade og skillevæg, se Figur 44. For beregning se bilag 30.



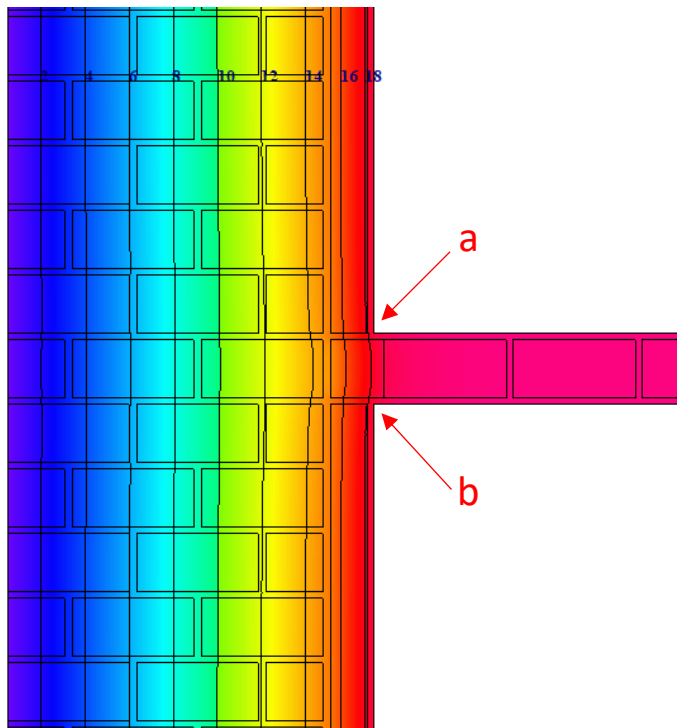
Figur 44. HEAT2-beregning af nuværende forhold. Vandret snit.

a. 17,9 °C

b. 17,9 °C

6.2.7 Samling mellem vejfacade og tværgående skillevægge – Renoverede forhold (Option A)

Efter renovering iht. afsnit 5.2 Option A er de koldeste punkter fortsat i samlingen mellem facade og skillevæg, se Figur 45. For beregning se bilag 31.



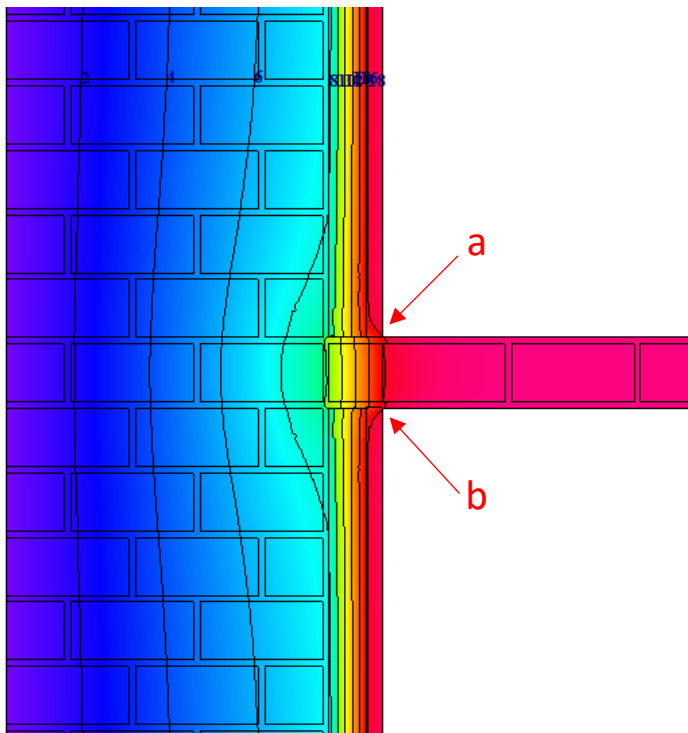
Figur 45. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Vandret snit.

a. 18,4 °C

b. 18,4 °C

6.2.8 Samling mellem vejfacade og tværgående skillevægge – Renoverede forhold (Option B)

Efter renovering iht. afsnit 5.2 Option B er de koldeste punkter fortsat i samlingen mellem facade og skillevæg, se Figur 46. For beregning se bilag 32.



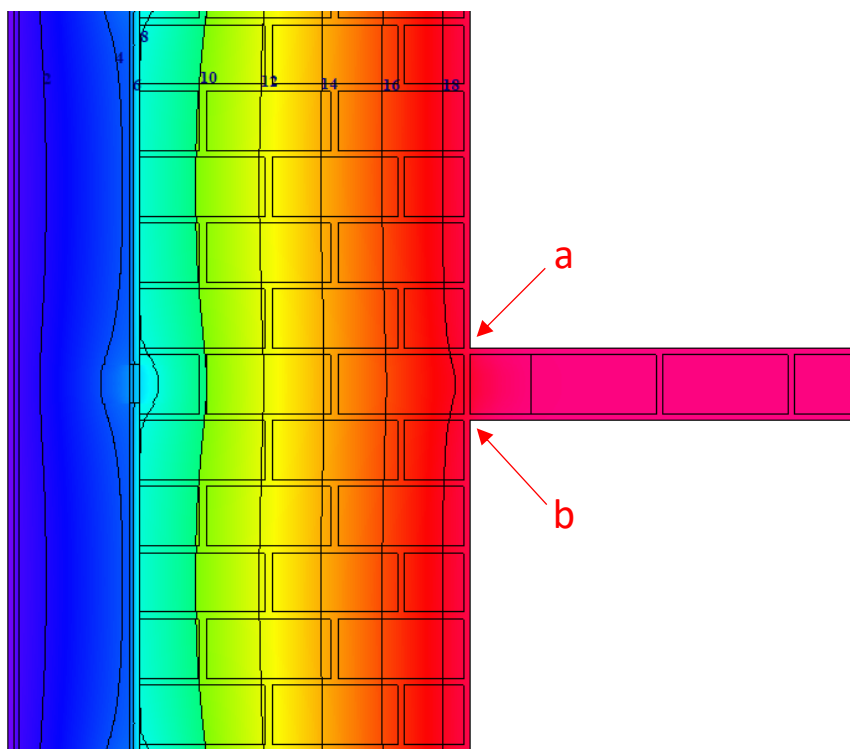
Figur 46. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Vandret snit.

a. 17,7 °C

b. 17,7 °C

6.2.9 Samling mellem gårdfacade og tværgående skillevægge – Renoverede forhold

Efter renovering iht. afsnit 5.2 er de koldeste punkter fortsat i samlingen mellem facade og skillevæg, se Figur 47. For beregning se bilag 33.



Figur 47. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Vandret snit.

a. 18,8 °C

b. 18,8 °C

6.3 Be18 – Energibehov

6.3.1 Eksisterende forhold

Som nævnt i afsnit 5.1.2 er bygningens nuværende energibehov 84,2 kWh/m² år, se bilag 40 (Energistyrelsen).

Med fremskrevne klimadata for år 2050 er bygningens energibehov 70,8 kWh/m² år, se bilag 41.

Med fremskrevne klimadata for år 2090 er bygningens energibehov 61,8 kWh/m² år, se bilag 42.

6.3.2 Passive renoveringstiltag

Efter gennemførelse af passive renoveringstiltag beskrevet i afsnit 5.2, eksklusiv køkkenvæg til bagtrappe, er bygningens energibehov reduceret til 56,4 kWh/m² år, se bilag 43.

Efter gennemførelse af samtlige passive renoveringstiltag beskrevet i afsnit 5.2 er bygningens energibehov reduceret til 50,6 kWh/m² år, se bilag 44.

Med fremskrevne klimadata for år 2050 er bygningens energibehov 42,4 kWh/m² år, se bilag 45.

Med fremskrevne klimadata for år 2090 er bygningens energibehov 37,2 kWh/m² år, se bilag 46.

For alle vinduerne på gårdhavefacaden er der regnet med komplet skygge, fordi højre-venstre skygger i Be18 er 2-dimensionelle og gårdhaven er komplet omsluttet af bygninger i omtrent samme højde som casebygningen. For beregning af skygger se bilag 4.

For u-værdi beregninger af konstruktioner efter passive renoveringstiltag, vinduer og døre, se bilag 5, 10 og 11.

6.3.3 Passive- og aktive renoveringstiltag

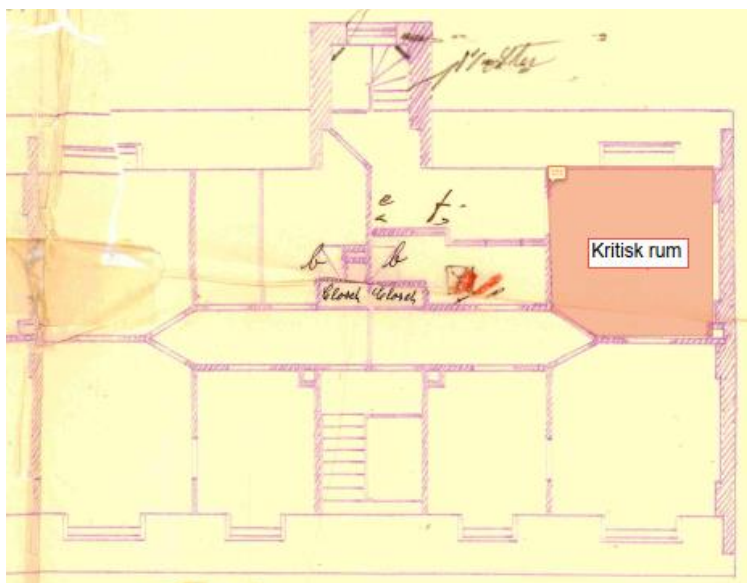
Efter yderligere gennemførelse af aktive renoveringstiltag beskrevet i afsnit 5.3 er bygningens energibehov reduceret til 25,2 kWh/m² år, se bilag 47.

Med fremskrevne klimadata for år 2050 er bygningens energibehov 19,0 kWh/m² år, se bilag 48.

Med fremskrevne klimadata for år 2090 er bygningens energibehov 16,8 kWh/m² år, se bilag 49.

6.3.4 Sommerkomfort

Ved beregning af sommerkomfort er der taget udgangspunkt i værelse på tagetagen, på gårdhaveside af bygningen, med orientering mod sydøst, som det mest kritiske rum. Værelset har et dannebrogsvindue med 3 fag, se Figur 48. Beregning af sommerkomfort er gjort i separat model hvor højre-venstre skygger for kvistvinduet ind til det kritiske rum er fjernet komplet. Horisontskygge er derudover beregnet specifikt for det kritiske rum, for beregninger se For beregning af skygger se bilag 4.



Figur 48. Kritisk rum på tagetagen.

Ved beregning af sommerkomfort i det kritiske rum med nutidens designmæssige klima, DRY2013, og bygningens eksisterende forhold blev der ikke fundet nogen timer med overophedning, se Figur 49. For beregning af sommerkomfort se bilag 50.

Mest solbelastede rum (kun boliger)

Gulvareal, m²

Ventilation, l/s m²

Vinter

Sommer, dag nat

Antal timer over

27 °C	28 °C
0	0

Figur 49. Resultat af sommerkomfortberegning i Be18 med eksisterende forhold og DRY2013-klima.

Efter gennemførelse af passive- og aktive renoveringstiltag, blev der fundet 5 timer over 27 °C, se Figur 50. For beregning se bilag 51.

Mest solbelastede rum (kun boliger)

Gulvareal, m²

Ventilation, l/s m²

Vinter

Sommer, dag nat

Antal timer over

27 °C	28 °C
5	0

Figur 50. Resultat af sommerkomfortberegning i Be18 efter passive- og aktive renoveringstiltag og DRY2013-klima.

Ved gennemførelse af passive- og aktive renoveringstiltag med fremskrevne klimadata for TMY2050s, blev der fundet 1460 timer over 27 °C og 1460 timer over 28 °C, se Figur 51. For beregning se bilag 52.

Mest solbelastede rum (kun boliger)

Gulvareal, m²

Ventilation, l/s m²

Vinter

Sommer, dag nat

Antal timer over

27 °C	28 °C
1460	1460

Figur 51. Resultat af sommerkomfortberegning i Be18 efter passive- og aktive renoveringstiltag og fremskrevne klimadata for TMY2050s.

Ved samme beregning, men med fremskrevne klimadata for TMY2090s, blev der fundet 180 timer over 27 °C, se Figur 52. For beregning se bilag 53.

Mest solbelastede rum (kun boliger)

Gulvareal, m²

Ventilation, l/s m²

Vinter

Sommer, dag nat

Antal timer over

27 °C	28 °C
180	3

Figur 52. Resultat af sommerkomfortberegning i Be18 efter passive- og aktive renoveringstiltag og fremskrevne klimadata for TMY2090s.

6.4 LCA – CO₂-udledning

6.4.1 Eksisterende forhold

Der er udført en LCA-beregning for bygningens eksisterende forhold som beskrevet i afsnit 5.1 over en betragtningsperiode på 50 år med start fra 2024. LCAs tekniske middellevetider for materialer er anvendt i beregningen. Der er taget højde for tidligere udført tagrenovering som nævnt i afsnit 5.1.4 og tidligere udført udskiftning af vinduer som nævnt i afsnit 5.1.6. Begge renoveringstiltag skønnes at være udført for omtrent 20 år siden. Da bygningens alder på 140 år overgår samtlige af tekniske middellevetider for materialer oplyst i LCA, som casebygningen er sammensat af, skal hele bygningen rives ned og genopføres ved arbejdets opstart.

LCA-beregning for bygningens eksisterende forhold resulterer i en udledning på 27,83 kg CO₂-eq/m²/år (eq=ækvivalenter). For beregning se bilag 60.

Det kan beregnes hvor mange kg CO₂-ækvivalenter dette svarer til over en betragtningsperiode på 50 år:

$$1060 \text{ m}^2 \text{ opvarmet etageareal} \cdot 27,83 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^2\text{/år} = 29.500 \text{ kg CO}_2\text{-eq/år}$$

$$29.500 \text{ kg CO}_2\text{-eq/år} \cdot 50 \text{ år} = 1.475.000 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

Bygningens nuværende primære energibehov er på 84,2 kWh/m² år jf. afsnit 5.1.2, og forbliver uændret de næste 50 år, hvis der ikke tages højde for indflydelsen af klimaforandringer. Det samlede primære energibehov består af 97,5 kWh/m² år fjernvarme ganget med en faktor på 0,85 og 0,7 kWh/m² år el til bygningsdrift ganget med en faktor på 1,9:

$$(97,5 \text{ kWh/m}^2 \text{ år fjernvarme} \cdot \text{faktor } 0,85) + (0,7 \text{ kWh/m}^2 \text{ år el} \cdot \text{faktor } 1,9) = 84,2 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}.$$

I 2022 var CO₂-udledningen pr kWh 43,1 gram for fjernvarme og 132 gram for el, som nævnt i afsnit 4.4.3. CO₂-udledningen over de næste 50 år til bygningens primære energibehov kan beregnes, hvis der tages udgangspunkt i låste værdier fra 2022:

Fjernvarme over 50 år:

$$1060 \text{ m}^2 \text{ opvarmet etageareal} \cdot 97,5 \text{ kWh/m}^2 \text{ år fjernvarme} = 103.350 \text{ kWh/år}$$

$$103.350 \text{ kWh/år} \cdot 50 \text{ år} = 5.167.500 \text{ kWh fjernvarme}$$

5.167.500 kWh fjernvarme * 43,1 gram CO₂/kWh = 222.719.250 gram CO₂
222.719.250 gram CO₂ / 1000 = 222.719 kg CO₂

El til bygningsdrift over 50 år:

1060 m² opvarmet etageareal * 0,7 kWh/m² år el = 742 kWh/år

742 kWh/år * 50 år = 37.100 kWh el

37.100 kWh el * 132 gram CO₂/kWh = 4.897.200 gram CO₂

4.897.200 gram CO₂ / 1000 = 4.897 kg CO₂

Bygningens primære energibehov over 50 år:

222.719 kg CO₂ + 4.897 kg CO₂ = 227.616 kg CO₂

CO₂-udledning pr. m² pr. år til bygningens primære energibehov:

227.616 kg CO₂ / 50 år = 4.552 kg CO₂

4.552 kg CO₂ / 1060 m² opvarmet etageareal = 4,3 kg CO₂

Det kan beregnes hvor mange kg CO₂-ækvivalenter der samlet set vil udledes til bygningens primære energibehov og udskiftning af bygningsdele over en betragtningsperiode på 50 år:

1.475.000 kg CO₂-eq + 227.616 kg CO₂ = 1.702.616 kg CO₂

6.4.2 Passive renoveringstiltag

Beregningerne i afsnit 6.4.1. gentages, men med yderligere gennemførsel af passive renoveringstiltag som beskrevet i afsnit 5.2. Følgende resultater fås:

- Bygningens udledning = 36,26 kg CO₂-eq/m²/år. For beregning se bilag 61.
- Byggearbejder, udledning af CO₂-ækvivalenter over de næste 50 år = 1.921.800 kg CO₂-eq
- Fjernvarme, behov over de næste 50 år = 2.681.800 kWh
- Fjernvarme, udledning af CO₂ over de næste 50 år = 115.586 kg CO₂
- El, behov over de næste 50 år = 31.800 kWh
- El, udledning af CO₂ over de næste 50 år = 4.198 kg CO₂
- Primært energiforbrug, udledning af CO₂ over de næste 50 år = 119.784 kg CO₂
- Primært energiforbrug, udledning af CO₂ over de næste 50 år / m² = 2,9 kg CO₂
- Samlet udledning, byggearbejder og drift over de næste 50 år = 2.041.584 kg CO₂

6.4.3 Passive- og aktive renoveringstiltag

Beregningerne i afsnit 6.4.1. gentages, men med yderligere gennemførsel af både passive- og aktive renoveringstiltag som beskrevet i afsnit 5.2 og 5.3. Følgende resultater fås:

- Bygningens udledning = 41,67 kg CO₂-eq/m²/år. For beregning se bilag 62.
- Byggearbejder, udledning af CO₂-ækvivalenter over de næste 50 år = 2.208.500 kg CO₂-eq
- Fjernvarme, behov over de næste 50 år = 2.575.800 kWh
- Fjernvarme, udledning af CO₂ over de næste 50 år = 111.017 kg CO₂
- El, behov over de næste 50 år = -450.500 kWh
- El, udledning af CO₂ over de næste 50 år = -59.466 kg CO₂
- Primært energiforbrug, udledning af CO₂ over de næste 50 år = 51.551 kg CO₂
- Primært energiforbrug, udledning af CO₂ over de næste 50 år / m² = 0,97 kg CO₂
- Samlet udledning, byggearbejder og drift over de næste 50 år = 2.260.051 kg CO₂

6.5 Molios prisdata - Økonomi

Der er lavet prisberegninger over en betragtningsperiode på 50 år, for omkostningerne forbundet med byggearbejder (inkl. vedligeholdelse og udskiftning indenfor betragtningsperioden) samt omkostningerne forbundet med bygningens primære energibehov indenfor betragtningsperioden.

Prisberegninger er udført så de tilsvarende LCA-bygs anvisninger om middellevetider for materialer og konstruktioner. Som nævnt i afsnit 6.4.1 foreslår LCA-byg at bygningen rives ned og genopføres grundet bygningens alder på 140 år.

6.5.1 Eksisterende forhold

Byggeomkostningerne (inkl. vedligeholdelse og udskiftning indenfor betragtningsperioden) forbundet med at rive bygningen ned, og genopføre den uden nogen renoveringstiltag er beregnet til en samlet kostpris på 7.403.533 kr. For beregning se bilag 70.

Hvis der ikke tages hensyn til klimaforandringer vil bygningens primære energibehov samlet set for de næste 50 år være 5.167.500 kWh fjernvarme og 37.100 kWh el til bygningsdrift, se afsnit 6.4.1.

Hvis der ikke tages hensyn til prisudvikling for henholdsvis fjernvarme og el, kan prisen for bygningens fjernvarme- og elbehov over de næste 50 år beregnes:

Fjernvarme:

Fjernvarmeprisen for privatkunder ved effektbetaling var 217,28 kr. pr. tilsluttet kW pr. år (Hofor, u.d.). Det årlige energibehov i fjernvarme er på 103.350 kWh, se afsnit 6.4.1. Det gennemsnitlige effektforbrug over 1 år: $103.350 \text{ kWh} / 8760 \text{ timer} = 11,8 \text{ kW}$.

Prisen for fjernvarme i 1 år: $11,8 \text{ kW} * 217,28 \text{ kr./kW/år} = 2.561,18 \text{ kr.}$

Prisen for fjernvarme i 50 år: $2.561,18 \text{ kr.} * 50 = 128.059 \text{ kr.}$

El til bygningsdrift:

Elprisen var i gennemsnit 1.596 kr. pr. MWh i 2022 (Dansk Industri, 2023) = 1,596 kr / kWh
 $37.100 \text{ kWh} * 1,596 = 59.211,6 \text{ kr.}$

Prisen for bygningens primære energibehov over de næste 50 år kan beregnes som:

Fjernvarme 128.059 kr. + El til bygningsdrift 59.211,6 kr. = 187.270,6 kr.

Den samlede udgift til byggearbejder (inkl. vedligeholdelse og udskiftning indenfor betragtningsperioden) og bygningens primære energibehov over de næste 50 år kan beregnes som:

$7.403.533 \text{ kr. byggearbejder} + \text{energiebehov } 187.270,6 \text{ kr.} = 7.590.803,6 \text{ kr.}$

6.5.2 Passive renoveringstiltag

Byggeomkostningerne (inkl. vedligeholdelse og udskiftning indenfor betragtningsperioden) forbundet med at rive bygningen ned, og genopføre den med passive renoveringstiltag er beregnet til en samlet kostpris på 8.149.926 kr. For beregning se bilag 71.

Beregningerne i afsnit 6.5.1 gentages, men med yderligere gennemførelse af passive renoveringstiltag. Følgende resultater fås:

- Fjernvarme, udgifter over de næste 50 år = 66.271 kr.
- El, udgifter over de næste 50 år = 50.753 kr.

- Primært energibehov, udgifter over de næste 50 år = 117.024 kr.
- Samlede udgifter til byggearbejder og drift over de næste 50 år = 8.266.950 kr.

Hvis kun de passive renoveringsarbejder gennemføres, og ingen af de eksisterende konstruktioner udskiftes, hverken ved renoveringsarbejdets opstart eller over de næste 50 år, fås følgende resultater:

- Byggearbejder: 8.149.926 kr. - 7.403.533 kr. = 746.393 kr.
- Samlede udgifter til byggearbejder og drift over de næste 50 år: 746.393 kr. + 117.024 kr. = 863.417 kr.

6.5.3 Passive- og aktive renoveringstiltag

Byggeomkostningerne (inkl. vedligeholdelse og udskiftning indenfor betragtningsperioden) forbundet med at rive bygningen ned, og genopføre den med både passive- og aktive renoveringstiltag er beregnet til en samlet kostpris på 8.442.776 kr. For beregning se bilag 72.

Beregningerne i afsnit 6.5.1 gentages, men med yderligere gennemførsel af både passive- og aktive renoveringstiltag. Følgende resultater fås:

- Fjernvarme, udgifter over de næste 50 år = 64.098 kr.
- El, udgifter over de næste 50 år = -112.625 kr. (indtægt)
- Primært energibehov, udgifter over de næste 50 år = -48.527 kr. (indtægt)
- Samlede udgifter til byggearbejder og drift over de næste 50 år = 8.394.249 kr.

Hvis kun de passive- og aktive renoveringsarbejder gennemføres, og ingen af de eksisterende konstruktioner udskiftes hverken ved renoveringsarbejdets opstart eller over de næste 50 år, fås følgende resultater:

- Byggearbejder: 8.442.776 kr. - 7.403.533 kr. = 1.039.243 kr.
- Samlede udgifter til byggearbejder og drift over de næste 50 år: 1.039.243 kr. - 48.527 kr. = 990.716 kr.

Hvis kun de aktive renoveringsarbejder gennemføres, og ingen af de eksisterende konstruktioner udskiftes hverken ved renoveringsarbejdets opstart eller over de næste 50 år, fås følgende resultater:

- Byggearbejder: 1.039.243 kr. - 746.393 = 292.850 kr.
- Samlede udgifter til byggearbejder og drift over de næste 50 år: 990.716 kr. - 863.417 kr. = 127.299 kr.

6.5.4 Finansieringsmodeller, nedrivning og genopførsel – Huslejestigning

Hvis bygningen rives ned og genopføres er de samlede byggeudgifter over de næste 50 år 7.403.533 kr., se afsnit 6.5.1. Bygningen har 6 etager med to lejeboliger på hver etage, samt to erhvervslejemål i kælderen, se afsnit 5.1.3, hvilket giver 14 enheder af omtrent samme størrelse. Bygningen har 1060 m² opvarmet etageareal fordelt på de 14 enheder hvilket giver 76 m² pr. enhed (lejebolig/erhvervslejemål).

For at dække byggeudgifterne med 1 års huslejeindtægter skal huslejen stige med:

$$\begin{aligned} 7.403.533 \text{ kr.} / 14 \text{ enheder} &= 528.824 \text{ kr. pr. enhed / år} \\ 528.824 \text{ kr. pr. enhed} / 12 \text{ måneder} &= 44.069 \text{ kr. / måned} \\ (44.069 \text{ kr./måned}) / 76 \text{ m}^2 &= 580 \text{ kr. / m}^2 / \text{måned} \end{aligned}$$

For at dække byggeudgifterne med 30 års huslejeindtægter skal huslejen stige med:

$$7.403.533 \text{ kr.} / 14 \text{ enheder} / 30 \text{ år} = 17.627 \text{ kr. pr. enhed / år}$$

$$17.627 \text{ kr. pr. enhed} / 12 \text{ måneder} = 1.469 \text{ kr. / måned}$$

$$(1.469 \text{ kr./måned}) / 76 \text{ m}^2 = 19 \text{ kr. / m}^2 / \text{måned}$$

For at dække byggeudgifterne med 50 års huslejeindtægter skal huslejen stige med:

$$7.403.533 \text{ kr.} / 14 \text{ enheder} / 50 \text{ år} = 10.576 \text{ kr. pr. enhed} / \text{år}$$

$$10.576 \text{ kr. pr. enhed} / 12 \text{ måneder} = 881 \text{ kr. / måned}$$

$$(881 \text{ kr./måned}) / 76 \text{ m}^2 = 12 \text{ kr. / m}^2 / \text{måned}$$

6.5.5 Finansieringsmodeller, passive tiltag – Huslejestigning

Hvis bygningen rives ned og genopføres med passive renoveringstiltag er de samlede byggeudgifter over de næste 50 år 8.149.926 kr., se afsnit 6.5.2. Efter gennemførelse af passive renoveringstiltag er bygningens opvarmede etageareal reduceret som følger af indvendig efterisolering, se afsnit 5.2.3 og 5.2.5. Bygningens reducerede etageareal er 1054 m² fordelt på de 14 enheder hvilket giver 75,3 m² pr. enhed (lejebolig/erhvervslejemål).

Beregningerne i afsnit 6.5.4 gentages, men med yderligere gennemførelse af passive renoveringstiltag. Følgende resultater fås:

Nødvendig stigning i husleje pr. enhed for at dække byggeudgifter:

- 1 års huslejeindtægter = 48.511 kr. / måned
- 1 års huslejeindtægter = 644 kr. / måned / m²
- 30 års huslejeindtægter = 1.617 kr. / måned
- 30 års huslejeindtægter = 21 kr. / måned / m²
- 50 års huslejeindtægter = 970 kr. / måned
- 50 års huslejeindtægter = 13 kr. / måned / m²

Nødvendig stigning i husleje pr. enhed for at dække byggeudgifter hvis kun de passive renoveringsarbejder gennemføres, og ingen af de eksisterende konstruktioner udskiftes hverken ved renoveringsarbejdets opstart eller over de næste 50 år:

- 1 års huslejeindtægter = 4.443 kr. / måned
- 1 års huslejeindtægter = 59 kr. / måned / m²
- 30 års huslejeindtægter = 148 kr. / måned
- 30 års huslejeindtægter = 2 kr. / måned / m²
- 50 års huslejeindtægter = 89 kr. / måned
- 50 års huslejeindtægter = 1 kr. / måned / m²

6.5.6 Finansieringsmodeller, aktive- og passive tiltag – Huslejestigning

Hvis bygningen rives ned og genopføres med både passive- og aktive renoveringstiltag er de samlede byggeudgifter over de næste 50 år 8.442.776 kr., se afsnit 6.5.3. Efter gennemførelse af passive renoveringstiltag er opvarmet etageareal er reduceret til 75,3 m² pr. enhed (lejebolig/erhvervslejemål), se afsnit 6.5.5.

Beregningerne i afsnit 6.5.4 gentages, men med yderligere gennemførelse af både passive- og aktive renoveringstiltag. Følgende resultater fås:

Nødvendig stigning i husleje pr. enhed for at dække byggeudgifter:

- 1 års huslejeindtægter = 50.255 kr. / måned

- 1 års huslejeindtægter = 667 kr. / måned / m²
- 30 års huslejeindtægter = 1.675 kr. / måned
- 30 års huslejeindtægter = 22 kr. / måned / m²
- 50 års huslejeindtægter = 1.005 kr. / måned
- 50 års huslejeindtægter = 13 kr. / måned / m²

Nødvendig stigning i husleje pr. enhed for at dække byggeudgifter hvis kun de passive- og aktive renoveringsarbejder gennemføres, og ingen af de eksisterende konstruktioner udskiftes hverken ved renoveringsarbejdets opstart eller over de næste 50 år:

- 1 års huslejeindtægter = 5.897 kr. / måned
- 1 års huslejeindtægter = 78 kr. / måned / m²
- 30 års huslejeindtægter = 197 kr. / måned
- 30 års huslejeindtægter = 3 kr. / måned / m²
- 50 års huslejeindtægter = 118 kr. / måned
- 50 års huslejeindtægter = 2 kr. / måned / m²

6.5.7 Finansieringsmodel – Salg af boliger og erhvervslokaler

For at indtjene renoveringstiltag ved salg af boliger og erhvervslokaler skal salgsprisen justeres efter hvilke renoveringstiltag, der gennemføres, se Tabel 10.

Tabel 10. Oversigt over udgifter forbundet med renoveringstiltag over 50 års betragtningsperiode og salgspris for nuloverskud, se afsnit 6.5.2 og 6.5.3.

	Byggeudgifter over 50 år	Salgspris for indtjent renovering pr. enhed
Bygningen rives ned og genopføres	7.403.533 kr.	Salgspris + 528.824 kr.
Bygningen rives ned og genopføres med passive tiltag	8.149.926 kr.	Salgspris + 582.138 kr.
Kun passive tiltag	746.393 kr.	Salgspris + 53.314 kr.
Bygningen rives ned og genopføres med passive- og aktive tiltag	8.442.776 kr.	Salgspris + 603.055 kr.
Kun passive- og aktive tiltag	990.716 kr.	Salgspris + 70.765 kr.

7. Deldiskussion

7.1 Fremtidsscenarier

Fremskrivningsmodellen i Tabel 5 forudser at alle klimaparametre vil være stigende frem mod år 2100, indenfor alle 3 udviklingsscenarier, på nær sommernedbør som forudses at falde. Som det kan ses af Figur 25-Figur 33 i afsnit 6.1, på nær Figur 30 for sommernedbør, er fremskrivningen af klimadata med klimanormalen 1961-1990 alt for optimistisk, da fremskrivningen bygger på data fra en uddateret klimanormal. Tendenserne i den forudsete udvikling der ses i Figur 25-Figur 33 stemmer med den tendens, der kan observeres at være sket i det danske klima når klimanormaler og dekadeværdier sammenlignes fra 1961-1990 og frem til 2020, på nær Figur 30 for sommernedbør. Sommernedbør forudses at falde frem mod år 2100, til trods for at målinger i Tabel 3 viser en tendens i stigende sommernedbør fra 1961-1990 og frem til 2020. Forudsigelserne i udviklingen af det danske klima vil give en række forandringer, der kan give udfordringer for gamle danske etageboliger i København, som ved opførelstidspunkt var tiltænkt et andet klima end det vi har i dag, og det vi kan forvente at få i fremtiden. Ved renoveringstiltag af en eksisterende etagebolig skal det sikres at bygningen er fremtidssikret til at modstå forandringer i det danske klima. Ved fremtidssikring af casebygningen tages der udgangspunkt i en betragtningsperiode på 50 år for at give mulighed for sammenligning med vurderinger af CO₂-beregning og økonomiberegning, hvor der også er anvendt en betragtningsperiode på 50 år. En betragtningsperiode på 50 år fra 2024 vil betyde, at casebygningen forsøget fremtidssikret frem til år 2074. Klimafremskrivninger i Figur 25-Figur 33 i afsnit 6.1 spænder frem til et tidsinterval fra 2071-2100. Da år 2074 ligger indenfor dette tidsinterval er det de værdier, der sammenlignes med ifm. fremtidssikring af casebygningen.

Ved sammenligning mellem dekadeværdier fra 2011-2020 og forudsete klimaværdier for tidsintervallet fra 2071-2100 forventes følgende ændringer til det danske klima fra år 2024 og frem mod år 2074:

- a. Hyppigere og kraftigere regnskyl på baggrund af:
 - Stigning i maksimal døgnnedbør i juni-juli-august fra 147,5 mm op til 180,0 mm, se Figur 31.
 - Stigning i årsnedbør fra 781,7 mm op til 852,1 mm, se Figur 28.
- b. Flere og længerevarende hedebølger på baggrund af:
 - Fald i sommernedbør i juni-juli-august fra 222,5 mm ned til 189,1 mm, se Figur 30.
 - Stigning i årsmiddeltemperatur fra 9,1 °C op til 12,2 °C, se Figur 25.
 - Stigning i sommertemperatur fra 16,1 °C op til 18,9 °C, se Figur 27.
- c. Varmere og fugtigere vintre på baggrund af:
 - Stigning i vintertemperatur fra 2,6 °C op til 5,7 °C, se Figur 26.
 - Stigning i vinter nedbør fra 196,5 mm op til 281,0 mm, se Figur 29.
- d. Kraftigere storme på baggrund af:
 - Stigning i max. stormstyrke fra 53,5 m/s op til 58,9 m/s, se Figur 32.
- e. Hyppigere og kraftigere oversvømmelser ved kyster på baggrund af:
 - Kraftige storme (punkt d), som medfører øget vandstand ved kyster. Ved vestkysten vil max. vandstand stige fra 414 cm op til 477,3 cm, se Figur 33.
- f. Mere sne og større snelast på baggrund af:
 - Varmere og fugtigere vintre (punkt c), som vil medføre en stigende tendens til våd nedbør. Da slud og tøsne har en højere densitet end sne, der ikke er ved at smelte, kan udhæng og tagflader i fremtiden opleve større ophobninger af våd sne og is, hvilket medfører en større snelast.

7.1.1 Tagrender og nedløbsrør - udfordring

Formålet med tagrender og nedløbsrør er at opsamle regnvand fra bygningers tage og lede det kontrolleret væk fra bygningen. I casebygningens tilfælde ledes tagvand ned til tagrender langs facaderne, og videre ned gennem nedløbsrør, som slutter ved gadeniveau hvor der er fortorv med fald ud mod vejen, og indbygget rende i fortorvet. I bunden af nedløbsrørene er der et knæk, som sender vandet fra nedløbsrørene i retning ud mod vejen. Hvis tagrender og nedløbsrør er underdimensionerede i forhold til de stigende nedbørsmængder der forventes i fremtiden vil tagrender og nedløbsrør ikke kunne bortlede vandet hurtigere end vandet vil ophobe sig i tagrenderne, og vandet vil flyde over tagrender og videre ned langs ydervægge og kældervægge, hvor vandet kan trænge ind gennem revner eller forårsage skadelig opfugtning af etageboligen. Tagrender og nedløbsrør skal renholdes for blade og snavs, som kan begrænse funktionen af systemet og i værste tilfælde medføre at systemet tilstoppes. Eventuelle utætheder på enten tagrender eller nedløbsrør, vil betyde at vandet finder en anden vej end den tiltænkte, og kan forårsage fugt- og vandskade på bygningen.

På Ole Suhrs Gade i København K, hvor casebygningen er beliggende, er der tæt flisebelægning på fortorvet, og asfalt på vejen. Regnvand siver meget langsomt ned gennem den tætte belægning og vil derfor primært løbe på overfladen i forbindelse med kraftige regnskyl. Fortorvet hælder væk fra bygningen, ud mod vejen. Vejen har en krumning på midten, som danner fald ud til vejens sider. Vand fra fortorv og vej bliver ledt ud til vejens sider, hvor der er afløbsriste til kloak. Den ensidede hældning på fortorvet, krumningen på vejen og dimensioneringen af afløbsrist skal være tilstrækkelig til at sikre, at vand ledes hurtigere til kloak end vandet kan nå at ophobe sig på gaden.

7.1.2 Tagrender og nedløbsrør - løsning

Det er vigtigt at dimensionere nye afløb, så de er i stand til at håndtere de forventede mængder nedbør i fremtiden. Derudover bør afløbene regelmæssigt inspiceres for utætheder og rengøres for blade og snavs for at undgå tilstopninger og sikre optimal udnyttelse af systemets kapacitet.

I dag indgår fortorv og vej som mellemlidende for bortledning af tagvand fra bygningen, mellem tagrender og kloak. Hvis det er muligt i forhold til udformning af kloak og fortorv vil det mest optimale være at lede tagvand fra nedløbsrør direkte ned i afløbsrist til kloak.

7.1.3 Kloakker – udfordring

De danske kloakker fungerer i princippet meget som et indvendigt afløbssystem, blot begravet under jorden, hvor indbygget fald sørger for bortledning af vand ved hjælp af tyngdekraften. I ældre fællessystemer blandes spildevand og regnvand fra bygninger og veje i kloakkens hovedledning før det opblandede spildevand og regnvand ledes til rensningsanlæg. I takt med hyppigere og kraftigere nedbør, som kloakken ikke er dimensioneret til at håndtere, kan hovedledningen blive fyldt hurtigere end vandet kan bortledes, hvormed opblandet spildevand og regnvand fra hovedledningen vil presses tilbage op gennem afløb. Lavtliggende afløb, såsom kælder afløb, er mest udsat for at blive indgang for tilbageløbende kloakvand.

Udfordringen med underdimensionerede kloakker vil blive et stigende problem i takt med, at der forventes hyppigere- og kraftigere regnskyl frem mod år 2071-2100.

7.1.4 Kloakker – mulig løsning

Ved at separere kloaksystemet i regn- og spildevand og etablere et nyt separat kloaksystem dedikeret til håndtering af regnvand vil det eksisterende kloaksystem blive aflastet, som dermed kan begrænses til at håndtere bortledning af spildevand. Rensningsanlæggene, som modtager en stor mængde opblandet regn- og spildevand i forbindelse med kraftige regnskyl vil samtidigt blive aflastet, idet regnvand fra det dedikerede kloaksystem til regnvand vil kunne ledes direkte ud i faskiner, vandløb eller søer. Som et

billigere alternativ, der ikke kræver gravearbejde, kan hovedledningens kapacitet øges gennem 'cracking' eller 'pipe bursting' hvor den gamle eksisterende hovedledning brydes indefra med en vandfyldt pose og fores med en ny inderskal. Metoden er mindre fremtidssikret end separering af kloak, da det er begrænset hvor meget dimensionen på hovedledningen kan øges, samt regn- og spildevand ikke separeres.

Hvis der vurderes stadig at være risiko for, at kloakken kan blive overfyldt, som kan medføre tilbageløb, kan gulvafløb i kælderetagen, der ligger under terrænniveau, udskiftes med afløb med bagløbssikring.

7.1.5 Forhøjet grundvandsspejl - udfordring

Grundvandsspejlet er defineret ved at jord under grundvandsspejlet er 100% vandmættet. I takt med at verdenshavene forventes at stige i fremtiden som følger af den globale opvarmning forventes det primære grundvandsspejl også at stige. Grundvandsspejlet kan også stige midlertidigt i forbindelse med kraftigt nedbør, hvilket kaldes for et sekundært grundvandsspejl.

Hvis grundvandsspejlet er højere end kældergulvniveau i bygningen vil der opstå et tryk nedefra på kældergulvet, hvor vand vil presses op gennem revner og materialer med et åbent poresystem, såsom et muret gulv af tegl og cement. Casebygningen har en ventileret uudnyttet nederste kælder under kælderetagen til erhverv, som de facto fungerer som en krybekælder, der adskiller den fugtige jord fra terrændækket/kælderdækket. Grundvandsspejlet, enten det primære, eller sekundære, skal stige meget før det når op til undersiden af etagedækket, men de eksisterende fundamenter er udført i murede massive teglvægge, som er kapillarsugende. Hvis fundamentet står i fugtmættet jord vil det øge kapillarsugningen op gennem fundamenter og vægge, som kan give fugtskader længere oppe i bygningen. Alle ydervægge og fundamenter er udført af kapillarsugende tegl og mørtel, som kan optage flydende vand fra jorden og luften, og afgive det igen til inde- eller udeluften. Fundamenter er dog formegentlig udført i hårdbrændt tegl med nedsat kapillarsugende evne. Transporten af fugt op gennem konstruktionen medbringer salte, som enten har været til stede i vandet, eller i konstruktionen. Ved mødet med det varme indeklima vil der afgives fugt, som kan afskalle indvendig puds eller maling, hvis laget mættes af salte, eller hvis laget ikke er tilstrækkeligt diffusionsåbent. Fugtvandring i forbindelse med kapillarsugning kan også medføre fugtskader som råd i bionedbrydelige materialer, såsom konstruktionstræ og skimmelvækst på indvendige fugtige overflader.

7.1.6 Forhøjet grundvandsspejl – løsning

En metode til at forhindre det primære grundvandsspejl i at stige til et højere niveau end det er i dag, er et pumpe vandet væk fra grunden. Metoden kræver energi til bortpumpning af vand, og er derfor forbundet med en udgift til elforbrug, samt en vis mængde CO₂-udledning forbundet med elproduktionen. Metoden er desuden forbundet med en risiko, da der kan forårsages sætningsskader for bygningen, og andre nærtliggende bygninger, hvis grundvandsspejlet sænkes til et lavere niveau end det er i dag.

Det sekundære grundvandsspejl kan begrænses ved at sørge for, at tagrender, nedløb og kloakker er dimensioneret til at håndtere fremtidens nedbørsmængder, se afsnit 7.1.2 og 7.1.4.

Hvis der er store udfordringer med opstigende grundfugt kan der indskydes en mekanisk fugtspærre i en vandret fuge i murværket over terræn. Den indskudte mekaniske fugtspærre udføres i metal, som et lukket materiale som ikke tillader fugtvandring gennem materialet. Metalspærren skal være komplet gennemgående i hele murens længde og tykkelse inklusiv pudslag, kun afbrudt ved kælderdøre, hvor der tættes rundt i dørhullet. Den nederste del af kælderetagen til erhverv vil stadig opleve opstigende grundfugt i den del af konstruktionen, der befinder sig under terræn og under den mekaniske fugtspærre, men det er nødvendigt at lægge fugtspærren over terræn, så fugtspærren ikke kortsluttes af fugtvandring gennem jorden.

Hvis der kun er mindre udfordringer med opstigende grundfugt, såsom afskallende maling og puds indvendigt i kælderetagen, men ingen tegn på skimmel eller råd, kan problemet afhjælpes ved at fjerne indvendig puds og maling, og genetablere et indvendigt pudslag på 15-40 mm tykkelse af saneringspuds, afhængigt af saltindholdet. På indvendig side af puds kan afsluttet med en diffusionsåben maling som silikatmaling. Løsningen vil holde i omtrent 10-15 år før det mættes af salte og skaller af, til sammenligning med et almindeligt tyndt pudslag på et par mm i tykkelse, der typisk vil mættes af salte og skaller af allerede efter et års tid.

7.1.7 Elektricitet og fugt - udfordring

Ledninger og elektriske apparater i kælderen udgør en udfordring på grund af risikoen for vandindtrængning, især i kælderetagen (se afsnit 7.1.1, 7.1.3 og 7.1.5), der kan forårsage kortslutninger. Vand og fugt fungerer desuden som en katalysator for korrosion, der kan nedsætte levetiden af elektriske apparater. Der er også fare for elektrisk stød, når mennesker befinder sig i en oversvømmet kælder med elektriske apparater, såsom vaskemaskiner og tørretumblere, der er tilsluttet stærk strøm.

7.1.8 Elektricitet og fugt - løsning

For at løse den problematiske kombination af elektricitet og fugt bør risikoen for opfugtning og oversvømmelse af især kælderetagen først og fremmest begrænses i videst muligt omfang (se afsnit 7.1.2, 7.1.4 og 7.1.6). Dernæst bør ledninger og elektriske apparater fjernes fra kælderen, eller som minimum flyttes væk fra opfugtede vægge, og hævet fra gulvet med uorganisk opklodsning, så de apparater og ledninger, som ikke kan fjernes fra kælderen undgås at komme i kontakt med flydende vand. Hvis kælderetagen oversvømmes skal strømmen afbrydes til kælderen.

7.1.9 Gennemføringer i kældervægge – udfordring

Rør og kabler, der går igennem en ydervæg i kælderen, skaber et sårbart punkt i klimaskærmen, som er særligt sårbart over for indtrængning af vand, især hvis rør-/kabel-gennemføringen er under terræn.

7.1.10 Gennemføringer i kældervægge – løsning

For at undgå, at der skabes et sårbart punkt i klimaskærmen skal rør-/kabel-gennemføringen i kælderydervæggen udføres mindst ligeså vandtæt som selve kælderydervæggen. Dette kan opnås ved at installere et føringsrør, som er udviklet til formålet, såsom en solid gummimanchet, hvorigennem rør eller kabler føres.

7.1.11 Trappeskakte mod vejside – udfordring

Da den udnyttede kælderetage ligger under terrænniveau er der to indgangsdøre mod vejsiden af bygningen, med hver deres trappe, der leder op til gadeniveau. De to trappeskakte er sårbare overfor kraftige regnskyl, da regnvand kan ophobe sig i trappeskaktene, samt tilbageløbende overfladevand fra fortorvet, hvis hældning på fortorvet ikke er tiltstrækkelig til at bortlede vand hurtigt nok ud mod vejen. Hvis der ikke er afløb i bunden af trappeskakte ved repos foran kælderdøre, eller hvis afløbet ikke er dimensioneret til at håndtere de nedbørsmængder, der kommer, vil vandet ophobe sig i trappeskaktene, med risiko for at trænge ind gennem kælderdøre.

7.1.12 Trappeskakte mod vejside - løsning

Det skal sikres at der er afløb i bunden af trappeskakte, som kan håndtere de nedbørsmængder, der forventes at komme i fremtiden. For at imødekomme eventuel risiko for overfyldning af kloak skal afløbene udføres med bagløbssikring, se afsnit 7.1.4.

7.2 Varmetransmission og fugtteknisk robusthed

7.2.1 Renoveringstiltag – Tagkonstruktion

Den bedste og dyreste løsning ift. varmetab og fugtteknisk robusthed vil være at hæve hele taget, som kan gøres ved at montere nye og højere bjælker ind i siden på de eksisterende bjælker, så isoleringen kan fortsætte helt ud forbi tagfoden og forbindes til en udvendig efterisolering af facaden. Ved at føre isoleringen rundt i fuld tykkelse på udvendig side af tagfoden undgås en konstruktiv kuldebro ved tagfoden, idet hele tagets konstruktion, facaden og tagfoden vil være på den indvendige side af isoleringslaget som en varm konstruktion. Facaden mod vejen må dog ikke efterisoleres udvendigt på facaden ud mod vejen pga. bygningens bevaringsværdi, så det vil være et omfattende og dyrt indgreb for kun at undgå en konstruktiv kuldebro på gårdhavesiden af bygningen.

Den nuværende tagkonstruktion med 125mm indvendig efterisolering er sårbar hvis den er udført uden dampspærre, fordi der ved beregning i afsnit 6.2.1 med 20 grader inde og 0 grader ude blev fundet, at der er et stort spænd på siderne af bjælkerne, hvor temperaturen er mellem 5-16,5 °C.

Indvendig side af bræddebeklædningen er under 5 °C og der er derfor lille risiko for skimmelvækst med de beregnede randbetingelser, men under lidt varmere udeforhold, hvor den indvendige side af bræddebeklædningen er over 5 °C vil der være vækstforhold for skimmel.

Renoveringstiltaget i Option A består af indvendig efterisolering med mineraluld, installering af dampspærre, samt etablering af et installationslag på undersiden af bjælker, som beskytter dampspærren mod penetreringer. Renoveringstiltaget reducerer den fri loftshøjde til 2,35m ved det flade tag, hvilket er imod bygningsreglementets anvisning om 2,5m fri loftshøjde, se afsnit 5.2.1. Da Option A strider direkte imod bygningsreglementet vil der kræves dispensation, som vurderes ikke at blive givet. Det er derfor valgt ikke at arbejde videre med Option A.

Option B er en ukonventionel indvendig efterisoleringsløsning i en kombination af celleglas og rustfrit stål til montage, som vil være fugtteknisk robust, men dyr at udføre. Produktionen af celleglas og rustfrit stål udleder desuden store mængder CO₂-ækvivalenter ift. andre mere konventionelle løsninger, som Option C.

Option C består af indvendig mineraluldisolering med to lag gips og en dampspærre klemmt mellem gipslag. Renoveringstiltaget er fugtteknisk robust ved simulering af varmetransmission, men sårbar ift. punkteringer af dampspærren fordi det er en lejebolig med potentielt skiftende beboere, der kan lave huller i dampspærren med skruer, som fjernes igen ved lejets udløb. Da konstruktionen vil sidde som loft og skrå indvendige vægge vurderes det dog at være begrænset hvor mange penetreringer, der vil ske i dampspærren, som fjernes igen. Option C vælges da det er den billigste af de tre optioner, samt den mindst udledende af drivhusgasser.

7.2.2 Renoveringstiltag – Vejfacaderenovering

Når en PE-folie punkteres ved ophængning af en hylde, et billede, vægmonteret skab, eller andet tænkeligt er det vigtigt at skruen bliver sidende, da der ellers vil være et hul i dampspærren når skruen fjernes igen. Da casebygningen består af udlejningsboliger, samt udlejningslokaler til erhverv i kælderen kan det forventes at der vil være jævnlig udskiftning i lejerne, og dermed risiko for at dampspærre penetreres. PE-folie som dampspærre i efterisolering af facaderne vurderes som en uholdbar løsning på længere sigt. Der er undersøgt 2 optioner ift. indvendig efterisolering af vejfacaden, som tager udgangspunkt i to forskellige principper, hvormed en traditionel dampspærre som PE-Folie kan undgås; hygroskopisk efterisolering og damptæt efterisolering. Ved begge optioner er der øget risiko for kondens ved bjælkeenderne, fordi bjælkeenderne er koldere end før renoveringstiltag, som det kan ses af isotermerne på Figur 40, Figur 41 og Figur 42. Risikoen er størst ved option B med damptæt efterisolering, fordi denne

efterisolering har en bedre isoleringsevne end option A, og dermed bedre hindrer varmestrømmen fra indeklimaet og ud til bjælkeenden. Ift. risiko for skimmel og råd er det bedste for bygningen, at der ikke foretages indvendig efterisolering af vejfacaden.

Option A – Hygroskopisk efterisolering

Option A er hygroskopisk ligesom den eksisterende mur, hvilket vil sige at hele ydervægskonstruktionen vil være hygroskopisk efter implementering af renoveringstiltaget med indvendig efterisolering med letklinkerblokke. Væggens hygroskopiske evner vil kunne transportere fugt fra indeklimaet og ud gennem konstruktion og desuden fungere som en fugtbuffer for indeklimaet gennem murens fugtkapacitet, og hjælpe til at udligne indeklimaets peaks i luftfugtighed, både de nedre- og øvre ekstremer.

Da efterisoleringen er muret sammen med den eksisterende konstruktion vil dugpunktet ligge inde i det murede uorganiske materialeglag, hvorfra fugten transportes ud af konstruktionen gennem murens åbne kapillarsystem. Skimmelsvamp og råd kan ikke forekomme ved dugpunktet eller andre steder inde i konstruktionen hvor der er fugtighed tilsvarende 75% relativ luftfugtighed, fordi hele materialeglaget er uorganisk. Konstruktionen er ikke afhængig af et damptæt lag og er dermed mindre sårbar end en konstruktion med f.eks. PE-folie som indvendig dampspærre.

Letklinkerblokke har en varmeledningsevne på omtrent 0,25 W/mK (Dansk Standards Association, 2020), hvilket er højt ift. andre isoleringsmaterialer såsom mineraluld, der typisk har en lambda-værdi på 0,032-0,037 W/mK.

Option B – Damptæt efterisolering

Ved option B anvendes celleglasblokke, som har været lavet af opskummet genbrugsglas og kul. Materialet har en lukket materialestruktur, med en masse små lukkede luftbobler. Den stillestående luft i boblerne, og den lange snørklede vej gennem materialets struktur gør at celleglasisolering har en lambda-værdi på 0,036 W/mK (Foamglas, 2021), hvilket tilsvarende mineraluld. 60mm celleglas har en høj diffusionsmodstand og celleglasblokkene monteres med damptæt bitumenbaseret klæber, både mod muren, i samlinger mellem blokke, samt mellem gips og celleglasblokke, hvormed der etableres et tæthedsplan på den indvendige side af celleglasisoleringen (Foamglas, 2019).

Option B er langt bedre energimæssigt og kræver mindre plads, hvilket vil sige mindre tab i m² for udlejer, og større besparelser på energiregningen ifm. bygningens lavere varmtab og energibehov. Risikoen er højere for skimmel og råd i bjælkeender ved option B, men risikoen er til stede ved begge optioner.

7.2.3 Renoveringstiltag – Vinduer

Eksisterende vinduer er dannebrogsvinduer med 2-lags energiruder. Den nuværende indvendige overfladetemperatur er beregnet til under 16,5°C ved vinduesramme og karm, med 0 °C ude og 20 °C inde. Som det kan ses af Figur 40 er temperaturen beregnet til 15,8°C i samlingen mellem karm og mur, 13,2°C mellem karm og ramme, og 14,4°C mellem ramme og glas. Der er dermed risiko for kondens ved vinduesrammer og karme, samt kuldenedfald lokalt ved vinduerne. Radiatorplacering under vinduer gør dog, at risikoen for gener med kuldenedfald fra vinduer vurderes at være små når radiatorerne er tændt. Ved udskiftning af vinduer til dannebrogsvinduer med 3-lags energiruder, samt forlængelse af karm indad, og efterisolering i vindueslysninger i facaden mod vejen, er det ved beregning fundet, at samlingen mellem karm og mur er hævet til 17,7°C ved vinduer mod gårdhaven, se Figur 43, og 18,3°C ved vinduer mod vejen, se Figur 42. Risikoen for kondens ved samlingen mellem karm og mur er lille efter renoveringstiltag. Temperaturen ved samling mellem glas og ramme, og ramme og karm er omtrent den samme som før renoveringstiltag med forskelle på beregningsresultater på mellem 0,2-0,7°C. Se Figur 40, Figur 42 og Figur 43.

Renoveringstiltag undersøges for kondensrisiko og kuldenedfald gennem varmetransmissionssimulering i HEAT2. "Hvis det ved beregning kan vises, at overfladetemperaturen ved kuldebroer er mindst 16,5 °C ved 0 °C ude og 20 °C inde, vil kondensrisikoen være lille og kuldenedfaldet næppe give væsentlige gener." (Aagaard, 2008).

7.3 Energibehov og sommerkomfort

7.3.1 Eksisterende energibehov

Case-bygningen har energimærke C med et primært energibehov på 84,2 kWh/m² år. På trods af at de eneste energirenoveringstiltag bygningen har undergået siden opførslen i 1883 er udskiftning af vinduer til dannebrogsvinduer med 2-lags ruder og efterisolering indvendigt på tagetagen med 125mm isolering, har bygningen et relativt lavt primært energibehov. Bygningen har sammenmurede gavle med tilstødende bygninger, hvilket gør at gavlene ikke har noget transmissionstab, og reelt set ikke indgår i klimaskærmen. Det kombineret med, at der ingen fremspring er på klimaskærmen udover kviste på tagetagen, gør at bygningen har et meget kompakt bygningsdesign med mange m² opvarmet etageareal ift. klimaskærmens areal.

Glasarealet i klimaskærmen udgør desuden en lille andel af den totalte klimaskærm, hvilket mindsker risikoen for overophedning om sommeren, som dog alligevel vil forekomme efter renoveringstiltag og med fremtidens klimaændringer, se afsnit 6.3.4.

7.3.2 Passive renoveringstiltag

Ved første beregning af passive renoveringstiltag blev det forsøgt at opfylde renoveringsklasse 1 gennem passive renoveringstiltag alene, og samtidigt reducere det indvendige opvarmede etageareal så lidt som muligt. Køkkenvæg til bagtrappe blev derfor ikke indvendigt isoleret i første omgang. Ved gennemførelse af passive renoveringstiltag, eksklusiv isolering af køkkenvæggen, blev energibehovet beregnet til 56,4 kWh/m² år, hvilket opfylder grænseværdien til renoveringsklasse 2 på 71,1 kWh/m² år, men ikke grænseværdien for den renoveringsklasse 1 på 54,1 kWh/m² år.

Ved sekundær beregning af passive renoveringstiltag gennemføres også indvendig efterisolering af køkkenvæg til bagtrappe som den indvendige efterisolering af facade mod vej. Bygningens energibehov reduceres dermed til 50,6 kWh/m² år, hvilket opfylder grænseværdien for renoveringsklasse 1.

7.3.3 Aktive tiltag

Efter installering af 65m² PV-T paneler på det flade tag, som i alt udgør 82m² er bygningens primære energibehov reduceret til 25,2 kWh/m² år, hvilket er under grænseværdien for energirammen for lavenergi iht. BR18.

7.3.4 Sommerkomfort

Beregning af sommerkomfort i kritisk rum på tagetagen mod gårdhavesiden af bygningen er foretaget i en separat model som beskrevet i afsnit 6.3.4, da det vurderes at være for optimistisk ift. sommerkomfort, at der er komplet højre-venstre skygge for kvistvinduet ind til det kritiske rum på tagetagen mod gårdhaven. I den separate beregning af sommerkomfort er højre-venstre skyggerne fjernet komplet fra vinduet, hvilket er konservativt ift. faktiske forhold, da det svarer til at der er ingen bygninger eller landskab overheadet, der skygger for vandret sol. Dette vil øge varmebidraget fra solen og samtidigt risikoen for overophedning i en højere grad end de faktiske forhold, men omvendt ville komplet skygge for vinduet til det kritiske rum være for optimistisk ift. faktiske forhold, da der vil komme nogen sol skråt oppefra, der når over de omkringliggende bygninger i gården.

Ved beregning af sommerkomfort med nutidens designmæssige, DRY2013, og fremtidens klima iht. TMY2050s og TMY2090s ses det af resultaterne i afsnit 6.3.4, at der med det nuværende designmæssige klima og eksisterende bygningsforhold ikke er nogen overophedningstimer, men efter passive- og aktive renoveringstiltag vil der opstå 5 timer over 27 °C. Efter gennemførsel af udvendig efterisolering på gårdhavefacaden og udskiftning til dannebrogsvinduer med 3-lags ruder vil klimaskærmen have en dårligere varmeledningsevne. Når solens stråler opvarmer det kritiske rum, vil varmen ledes ud gennem klimaskærmen i et mindre omfang, end før renoveringstiltagene.

Når der beregnes sommerkomfort på bygningen efter gennemførsel af passive- og aktive renoveringstiltag, men med fremskrevne klimadata for TMY2050s og TMY2090s ses det at der forventes mange overophedningstimer i 2050'erne, men kun et begrænset antal i 2090'erne. Selvom den globale opvarmning betyder at årsmiddeltemperaturen forventes at stige frem mod år 2071-2100, forventes stigningen i årsmiddeltemperaturen ifølge Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimadata primært at være drevet af en stigning i vintertemperaturen og i mindre grad en stigning i sommertemperaturen. Stigningen i sommertemperaturen vil spille en lille rolle i fremtidens flere forventede overophedningstimer, men den primære årsag vil være soltimer, som der forventes mange flere af pr. år i det danske klima i 2050'erne, ifølge IEA's klimafremskrivninger for TMY2050s og TMY2090s. Antallet af soltimer forventes at falde igen fra 2050'erne til 2090'erne hvilket forklarer faldet i overophedningstimer fra 2050'erne til 2090'erne.

Da årsagen til overophedningstimer i det kritiske rum primært skyldes sollys kan problemet løses, eller som minimum begrænses med en form for udvendig solafskærmning, der begrænser eller blokerer for solens stråler i de varmeste timer om sommeren hvor der er risiko for indvendige temperaturer på over 27 °C. Som simple passive tiltag for at modvirke overophedning kan der installeres automatisk udvendig solafskærmning foran vinduerne på tagetagen mod gårdhavesiden, med en dug, der enten helt eller delvist blokerer solens stråler. I forbindelse med udskiftning af vinduer til dannebrogsvinduer med 3-lags ruder kan også vælges en vinduestype med en lav g-værdi, så kun solens energi begrænses, men ikke solens synlige lys. G-værdien fortæller hvor meget solenergi, der transmitteres gennem vinduet og spænder mellem 0-100% som decimaltal, men g-værdien fortæller kun noget omkring den stråling fra solen, der er udenfor vores synsfelt, og har ikke nogen indvirkning på vinduets lystransmittans (LT-værdi) eller rudens u-værdi.

Som afhjælpning mod et stigende antal overophedningstimer grundet flere soltimer vil simple passive tiltag være tilstrækkeligt. Aktive tiltag som køling af boligen anbefales kun hvis det ønskes at fremtidssikre boligen mod flere og længerevarende hedeølger hvor der kan ske overophedning i bygningen som følger af at udetemperaturen overstiger 27-28 °C over en lang nok periode til at bygningens især tunge konstruktioner opvarmes udefra.

7.4 Udledning af drivhusgasser

Den mængde CO₂-ækvivalenter som casebygningen vil udlede over en betragtningsperiode på 50 år kan ses som et samlet tal, der består af den mængde udledning, der er forbundet med byggearbejder inkl. vedligeholdelse og udskiftning indenfor betragtningsperioden, og den mængde udledning der er forbundet med bygningens primære energibehov.

Som nævnt i afsnit 6.4.1 foreslår LCA-byg, at hele bygningen rives ned, da de tekniske middellevetider for materialer anvendt i bygningen er overskredet. I praksis er der ikke nogen krav om at dette følges, så længe bygningen ikke viser tegn på at være i fare for at styrte sammen. Ved en betragtningsperiode på 50 år blev det beregnet at nedrivning og genopførsel af bygningen vil udlede 1.475.000 kg CO₂-eq.

Med bygningens nuværende primære energiforbrug, og den CO₂-udledning, som produktionen af 1 kWh fjernvarme eller el forårsager blev det beregnet at bygningens primære energibehov vil udlede 227.616 kg CO₂ over de næste 50 år.

Den samlede CO₂-udledning, der er forbundet med ikke at foretage nogen renoveringstiltag resulterer i i alt 1.702.616 kg CO₂-ækvivalenter for de næste 50 år.

Ved gennemførsel af passive renoveringstiltag blev det beregnet at CO₂-udledningen forbundet med byggearbejder steg til 1.921.800 kg CO₂-eq, mens CO₂-udledningen forbundet med bygningens primære energibehov faldt til 119.784 kg CO₂.

Samlet set vil gennemførsel af passive renoveringstiltag resultere i en større CO₂-udledning på 2.041.584 kg CO₂.

Ved yderligere gennemførsel af både passive- og aktive renoveringstiltag blev det beregnet at CO₂-udledningen forbundet med byggearbejder steg til 2.208.500 kg CO₂-eq, mens CO₂-udledningen forbundet med bygningens primære energibehov faldt til 51.551 kg CO₂.

Samlet set vil gennemførsel af passive- og aktive renoveringstiltag resultere i en CO₂-udledning på 2.260.051 kg CO₂, hvilket er en lidt større mængde end hvis kun passive renoveringstiltag gennemføres.

Der vil udledes en betydeligt mindre mængde CO₂-ækvivalenter over de 50 år hvis bygningen rives ned og genopføres til sammenligning med hvis bygningen ved genopførsel bliver udført med passive renoveringstiltag, eller med både passive- og aktive renoveringstiltag. I praksis er det usandsynligt at bygningen vil blive revet ned i forbindelse med renoveringstiltag, men differencerne på beregningsresultaterne viser alligevel at det mindst CO₂-udledende, der kan gøres er ikke at gennemføre nogen renoveringstiltag.

Ved gennemførsel af renoveringstiltag er der kun en lille forskel på mængden af udledt CO₂-ækvivalens forbundet med gennemførsel af passive eller både passive- og aktive renoveringstiltag. Dette skyldes at de passive renoveringstiltag er langt mere omfattende end de aktive, hvilket skaber en langt større difference mellem ingen tiltag, og passive tiltag, end mellem passive tiltag og både passive- og aktive tiltag. De passive renoveringstiltag består desuden blandt andet af celleglas til indvendig efterisolering af vejfacade, hvis produktion er meget CO₂-udledende til sammenligning med andre isoleringsmaterialer.

Hvis bygherre har fokus på LCA vil det give mest mening enten ikke at foretage nogen renoveringsarbejder, eller gennemføre både passive- og aktive renoveringstiltag.

7.5 Økonomi

I Tabel 10 ses en oversigt over hvad boliger og erhvervslokaler skal sættes til salg for, for at renoveringsarbejder er tjent ind. Efter gennemførelse af passive renoveringstiltag vil bygningen opfylde renoveringsklasse 1, til sammenligning med bygningens nuværende energimærke C. Denne opgradering vil formegentlig gøre, at enheden (boligen/erhvervslejemålet) kan sælges for en større stigning i pris end udgifterne på 53.314 kr. pr. enhed hvis kun de passive tiltag gennemføres og intet andet gøres ved den eksisterende bygning. Hvis ejeren er interesseret i en investering med hurtigt afkast vil denne model være fordelagtig økonomisk.

På samme vis kan boligen opgraderes til en energiramme tilsvarende lavenergibygning iht. BR18, hvilket er den bedste nuværende energiklasse i bygningsreglementet, hvis kun passive- og aktive renoveringstiltag gennemføres, men intet andet gøres ved den eksisterende bygning. Prisen pr. enhed skal sælges for 70.765

kr. mere end sammenlignet med den eksisterende pris pr. enhed for at tjene renoveringstiltagene ind, men det vurderes at værdien af hver enhed vil stige betydeligt mere end udgifterne. Hvis ejeren er interesseret i en investering med hurtigt afkast vil denne model være endnu mere fordelagtig økonomisk, end kun at gennemføre passive renoveringstiltag.

Hvis ejeren er interesseret i en mere langtidssigtet investering kan renoveringstiltagene finansieres gennem huslejen, samtidigt med at bygningen fremtidssikres og hæves i værdi for et potentielt salg på et senere tidspunkt. I den forbindelse anbefales det at bygningen nedrives og genopføres med renoveringstiltag. Ift. den nødvendige huslejestigning pr. måned pr. enhed vil det både være muligt at gennemføre nedrivning og genopførsel med passive tiltag, eller nedrivning og gennemførsel af både passive- og aktive tiltag, se Tabel 11.

Tabel 11. Lavrisikomodel - Oversigt over huslejestigning for nulindtægt iht. afsnit 6.5.4 og 6.5.6.

	Huslejestigning pr. måned pr. enhed	
	Ved 30 års huslejeindtjening	Ved 50 års huslejeindtjening
Nedrivning og genopførsel med passive tiltag	1.617 kr.	970 kr.
Nedrivning og genopførsel med passive- og aktive tiltag	1.675 kr.	1.005 kr.

Alternativt kan ejeren som langtidssigtet investering satse på at bygningens nuværende konstruktioner vil holde de næste 50 år, eller størstedelen af årene, og kun gennemføre selve de passive eller passive- og aktive renoveringstiltag uden at gøre noget ved den eksisterende bygning. Dette er en investeringsmulighed forbundet med større risiko, men potentielt billigere løsning. Det kan også vise sig at blive en dyrere løsning på sigt, hvis konstruktioner skal udskiftes efter renoveringstiltag er gennemført. Den nødvendige huslejestigning pr. måned pr. enhed er oplistet i Tabel 12, og forudsætter at bygningens nuværende konstruktioner vil langt overskride middellevetiderne i LCA-byg, og ikke kræve udskiftning i de næste 50 år. Udgifterne vurderes potentielt at kunne indtjenes gennem huslejen allerede efter 1 års huslejeindtjening, se afsnit 4.6.3.

Tabel 12. Højrisikomodel - Oversigt over huslejestigning for nulindtægt iht. afsnit 6.5.4 og 6.5.6.

	Huslejestigning pr. måned pr. enhed		
	Ved 1 års huslejeindtjening	Ved 30 års huslejeindtjening	Ved 50 års huslejeindtjening
Passive tiltag	4.443 kr.	148 kr.	89 kr.
Passive- og aktive tiltag	5.897 kr.	197 kr.	118 kr.

8. Diskussion

IEAs- og IPCCs modeller for fremskrivning af klimadata forudser at årsmiddeltemperaturen vil stige både i Danmark og globalt frem mod år 2071-2100. I Danmark vil temperaturen især stige i vintermånederne december-januar-februar, hvor bygninger bruger mest energi til opvarmning. Langt størstedelen af casebygningens primære energibehov består af fjernvarmetilførsel til opvarmning af bygningen, og energiberegninger med fremskrevne IEA-klimadata for 2050'erne og 2090'erne har vist der med fremtidens klima kan forventes et mindre energibehov. Især i 2050'erne vil der dog komme flere overophedningstimer som følger af flere soltimer. For at fremtidssikre Københavns ældre etageboliger, som casebygningen, er det nødvendigt at tage højde for især fremtidens øgede risiko for overophedningstimer, samt fremtidens øgede risiko for at hyppigere og kraftigere nedbør.

Det fugtteknisk mest robuste for casebygningen set i sammenhold med nutidens klima vil være ikke at foretage nogen renoveringstiltag. Fremtidens klimaforandringer vil dog betyde, at fremtidssikrende tiltag beskrevet i afsnit 7.1. som minimum bør gennemføres hvis det skal sikres at bygningen kan fortsætte med at være fugtteknisk robust i de næste 50 år. Med el-tracing af bjælkeender vil gennemføring af enten passive renoveringstiltag eller både passive- og aktive renoveringstiltag også være fugtteknisk robuste.

Efter installering af PV-T paneler som aktivt tiltag producerer bygningen 9.010 kWh el i overskud om året efter bygningens eget el behov til bygningsdrift, se afsnit 6.4.3. Overskudsstrømmen kan med fordel anvendes til elektrisk opvarmning af bjælkeender i facaden mod vejen med fortrådning/el-tracing, som efter passive renoveringstiltag er blevet mere udsat for risiko for råd og skimmel i de kolde vintermåneder december-januar-februar, se afsnit 7.2.2. Overskudsstrømmen fra PV-T paneler produceres primært i sommermånederne, hvor der er mest sol og varmere udetemperaturer, så overskudsstrømmen anvendes ikke direkte. Bjælkeender opvarmes så det undgås at der er over 5 grader ved bjælkeender og mindst 75% RF i mindst 8 sammenhængende dage (Anna E. Leszmán).

Effektiviteten af PV-T panelerne vil være stigende frem mod år 2071-2100 i takt med at fremtidens klima forudses at blive mere solrigt og varmere samtidigt med at bygningens opvarmningsbehov vil falde, hvilket vil give et større overskud af el.

Ved sammenlægning af udledning af drivhusgasser forbundet med byggearbejder og udledning forbundet med bygningens primære energibehov over 50 år er det, der udleder den mindste mængde drivhusgasser at gøre ingenting ved bygningen.

Gennem økonomiske beregninger og finansieringsmodeller er alle de forskellige muligheder for energirenovering fundet rentable, samt hvis der gøres ingenting ved bygningen. Udgifterne til byggearbejder kan enten dækkes gennem huslejestigning over 30- eller 50 år, eller ved videresalg af boliger og erhvervslokaler med en stigning i salgsprisen.

De forskellige modeller for energirenovering, eller fravalg herom er oplistet i Tabel 13.

Tabel 13. Oversigt over sammenhænge mellem fugtteknisk robusthed, opfyldt energiramme, udledning af drivhusgasser og finansieringsmodeller ved de forskellige muligheder for energirenovering.

	Fugtteknisk robusthed, 50 år	Energi-ramme opfyldt	LCA + drift, kg CO ₂ -eq, 50 år	Husleje-stigning/enhed, 30 år	Husleje-stigning/enhed, 50 år	Videresalg, merpris efter 50 år/enhed
1.) Der gøres ingenting, 50 års betragtningsperiode	Nej, manglende fremtidssikring	Energimærke C	227.616	0	0	0
2.) Nedrivning og genopførsel, 50 års betragtningsperiode	Nej, manglende fremtidssikring	Energimærke C	1.702.616	1.469 kr.	881 kr.	+ 528.824 kr.
3.) Nedrivning og genopførsel + passive tiltag, 50 års betragtningsperiode	Ja, ved opvarmning af bjælkeender	Renoveringsklasse 1	2.041.584	1.617 kr.	970 kr.	+ 582.138 kr.
4.) Nedrivning og genopførsel + passive- og aktive tiltag, 50 års betragtningsperiode	Ja, ved opvarmning af bjælkeender	Tilsvarende lavenergiklasse iht. BR18	2.260.051	1.675 kr.	1.005 kr.	+ 603.055 kr.
5.) Kun passive tiltag, 50 års betragtningsperiode	Ja, ved opvarmning af bjælkeender	Renoveringsklasse 1	338.968	148 kr.	89 kr.	+ 53.314 kr.
6.) Kun passive- og aktive tiltag, 50 års betragtningsperiode	Ja, ved opvarmning af bjælkeender	Tilsvarende lavenergiklasse iht. BR18	557.435	197 kr.	118 kr.	+ 70.765 kr.

Ejeren af bygningen er ikke forpligtet til at tage stilling til udledningen af drivhusgasser, eller om bygningen er fugtteknisk robust i de næste 50 år. Som kortsigtet investeringsmodel kan bygherre vælge at gennemføre kun passive, eller kun passive- og aktive renoveringstiltag for at opnå en højere energiramme med henblik på at øge værdien af boligerne og erhvervslokalerne i forbindelse med kortsigtet videresalg. I det tilfælde vil model 5- og 6 være de mest fordelagtige modeller.

Hvis ejeren af bygningen vil energirenovere bygningen som en langtidsinvestering, som indtjenes gennem huslejen over 30- eller 50 år er det relevant at fremtidssikre bygningen til fremtidens klimaændringer gennem de næste 50 år, så investeringerne i renoveringstiltag sikres at være holdbare i hele betragtningsperioden. De mest fordelagtige modeller vil med disse interesser være model 3- og 4.

Model 2 kan ikke anbefales, selv hvis fremtidssikrende tiltag gennemføres. Hvis bygningen nedrives vil det hverken give mening ift. driftsomkostninger, eller være i overensstemmelse med BR18s energiramme krav, at opføre en ny bygning til energimærke C.

Model 1 er den billigste og mindst udledende af drivhusgasser, men kan kun anbefales hvis fremtidssikrende tiltag gennemføres.

Hvis ejeren af bygningen har stor interesse i at begrænse bygningens udledning af drivhusgasser vil den bedste model være model 1, og alternativt model 5- eller 6.

9. Konklusion

Gennem fremskrivning af danske klimadata fra dekadern 2011-2020 er det bekræftet at det danske vejr kan forventes at blive mere ekstremt gennem de næste 50 år. Forudsigelserne kræver at eksisterende ældre etageboliger i København undergår fremtidssikrende tiltag, som blandt skal sikre at bygningen kan håndtere de kraftigere og hyppigere regnskyl, der forventes at komme.

Gennemførelse af passive renoveringstiltag kan opnå renoveringsklasse 1, men renoveringstiltagene medfører en øget risiko for fugtproblemer ved bjælkeender i facaden ud mod vejen, som kan afhjælpes ved elektrisk opvarmning af bjælkeender i de kolde måneder. Ved yderligere gennemførelse af aktive renoveringstiltag kan opnå et energibehov, der tilsvare energirammen for lavenergiklasse iht. BR18, samtidigt med, at der skabes et overskud af elproduktion, som kan anvendes til opvarmning af bjælkeenderne i facaden mod vejen.

Ved LCAByg beregning sammenholdt med beregning af udledningen af drivhusgasser forbundet med produktionen af fjernvarme og el til bygningsdrift er det fundet at den model for energirenovering, der udleder færrest CO₂-ækvivalenter over en betragtningsperiode på 50 år er ikke at foretage noget ved bygningen.

Økonomiske beregninger har vist at alle undersøgte energirenoveringsmodeller er rentable ved huslejestigninger over 30- eller 50 år, eller ved videresalg af boliger og erhvervslejemål. Hvis bygningsejeren har interesse i en hurtig investering gennem videresalg af boligerne og erhvervslokalerne vurderes den bedste investering at være kun at gennemføre passive- og aktive tiltag, hvormed bygningen opnår et energibehov, der tilsvare energirammen for lavenergiklasse iht. BR18, og formegentlig dermed kan sælges for en større merpris end udgifterne til renoveringsarbejderne.

Den energirenoveringsmodel, der vurderes at være mest fordelagtig over de næste 50 år hvis fugtteknisk robusthed, opnået energiramme, udledning af drivhusgasser og rentabilitet alle vægtes lige højt er model 4: nedrivning og genopførelse af bygningen, samt gennemførelse af passive- og aktive renoveringstiltag, hvilket de facto svarer til at nedrive bygningen og opføre en ny etagebolig i samme historicistiske stil, men tilpasset til overholdelse af BR18-krav til nybyggeri, overholdelse af lavenergiklasse iht. BR18, og opført med PV-T paneler på det flade tag.

10. Litteraturliste

- Anna E. Leszmann, M. M. (u.d.). *Moisture Performance Requirements for Insulation in Exterior Wood-Frame Walls without a Vapour Barrier*. To be published.
- Annual CO2 Data*. (u.d.). Hentet fra co2-earth: <https://www.co2.earth/annual-co2>
- Arkitektur i København*. (30. marts 2023). Hentet fra Wikipedia:
https://da.wikipedia.org/wiki/Arkitektur_i_K%C3%B8benhavn
- Bolig- og Planstyrelsen. (BR18). § 1 - § 47. Hentet fra Bygningsreglementet:
<https://bygningsreglementet.dk/Administrative-bestemmelser/Krav>
- Bolig- og Planstyrelsen. (BR18). § 250 - § 298. Hentet fra Bygningsreglementet:
<https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/Krav>
- Bolig- og Planstyrelsen. (BR18). §205. Hentet fra Bygningsreglementet:
<https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/09/Krav>
- Bolig- og Planstyrelsen. (BR18). §297. Hentet fra Bygningsreglementet:
<https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/Krav>
- Bolig- og Planstyrelsen. (BR18). §298. Hentet fra Bygningsreglementet:
<https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/Krav>
- Bolig- og Planstyrelsen. (BR18). *Vejledning om byggesagsbehandling efter BR18*. Hentet fra Bygningsreglementet: <https://bygningsreglementet.dk/Administrative-bestemmelser/BRV/Vejledning-om-byggesagsbehandling-efter-BR18?Layout=ShowAll>
- Brandt, E. (2013). *SBI-anvisning 224 Fugt i bygninger*. København SV: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Cappelen, J. (2019). Climatological Standard Normals 1981-2010 - Denmark, The Faroe Islands and Greenland . - *Based on Data Published in DMI Reports 18-02, 18-04 and 18-05*, s. 13.
- Cappelen, J. (4. juni 2021). Ekstreme nedbørshændelser i Danmark. *Opgørelser og analyser til og med 2020*, s. 34.
- Cappelen, J. (u.d.). Oversigt over storm og ekstrem vind i Danmark. s. 6.
- Dahlman, R. L. (18. Januar 2023). *Climate Change: Global Temperature*. Hentet fra Climate.gov:
<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
- Danmarks Statistik. (april 2023). *Forbrugerprisindeks*. Hentet fra DST:
<https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/oekonomi/prisindeks/forbrugerprisindeks>
- Dansk Industri. (24. maj 2023). *Status på energipriserne: Naturgasprisen falder til samme niveau som i juni 2021*. Hentet fra https://www.danskindustri.dk/brancher/di-energi/nyhedsarkiv/nyheder/2023/5/status-pa-energipriserne-naturgasprisen-falder-til-samme-niveau-som-i-juni-2021/?_t_id=URdrvziOq2WhpzSTHrWWTA%3d%3d&_t_uuid=sDoLjiojTuG8rJSSTYKOsg&_t_q=elpris+2022&_t_tags=language

- Dansk Standards Association. (2020). *DS 418 Beregning af bygningers varmetab*. København: Dansk standard.
- David Rebouh, A. W. (12.. December 2018). Hentet fra Fagbladet3f: <https://fagbladet3f.dk/artikel/der-mangler-viden-om-kraeftrisikoen-ved-gammel-mineraluld>
- Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning. (2007). *Katalog over mulige konsekvenser af fremtidige klimaændringer og overvejelser om klimatilpasning*. Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.
- DMI. (10. januar 2005). *Danmark ramt af landsdækkende storm*. Hentet fra <https://www.dmi.dk/nyheder/2005/danmark-ramt-af-landsdækkende-storm/>
- DMI. (2. januar 2014). *Vejret i Danmark - året 2013*.
- DMI. (2023). *Klimanormaler for Danmark*. Hentet fra <https://www.dmi.dk/vejrarkiv/normaler-danmark/>
- DMI. (u.d.). *Klimanormaler for Danmark*. Hentet fra <https://www.dmi.dk/vejrarkiv/normaler-danmark/>
- Energistyrelsen. (u.d.).
- Energistyrelsen. (u.d.). *Historiske energimærkningsskalaer for bygninger*. Hentet fra <https://hbemo.dk/vejledning/energimaerkeskala/historiske-energimaerkningsskalaer-for-bygninger>
- Engelmark, J. (1983). *SBI-rapport 142 Københavnsk etageboligbyggeri 1850-1900*. Hørsholm: Statens byggeforskningsinstitut.
- Foamglas. (19. 02 2019). *Produktdatablad PC56 kold bitumenklæber*. Hentet fra Indendørs gipsvægge: <https://www.foamglas.com/da-dk/applikationer-losninger/interior/wall/plasterboard---no-tiles/b-i-wall-plaster-notiles>
- Foamglas. (01. 08 2021). *Produktdatablad Foamglas T3+*. Hentet fra Indendørs gipsvægge: <https://www.foamglas.com/da-dk/applikationer-losninger/interior/wall/plasterboard---no-tiles/b-i-wall-plaster-notiles>
- free energy. (u.d.). *SOLEN SOM DRIVKRAFT*. Hentet fra <https://www.free-energy.com/dk/solenergi>
- Geodatastyrelsen. (u.d.). Hentet fra Matrikelkort: <https://kort.matrikel.dk/spatialmap>
- Green power Denmark. (5. januar 2023). *2022 blev et dyrt og vildt energiår, men strømmen var grønnere*. Hentet fra Green power Denmark: <https://greenpowerdenmark.dk/nyheder/2022-blev-dyrt-vildt-energiar-men-stroemmen-var-groennere>
- Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden. (u.d.). *Dæk og facade*. Hentet fra Danske bygningsmodeller: <https://www.danskebygningsmodeller.dk/pages/type-1-original-overlukning-af-vindue.html>
- Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden. (u.d.). *Fundament*. Hentet fra Danske bygningsmodeller: <https://www.danskebygningsmodeller.dk/pages/type-1-original-fundament.html>
- Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden. (u.d.). *Gavlanker*. Hentet fra Danske bygningsmodeller: <https://www.danskebygningsmodeller.dk/pages/type-1-original-gavlanker.html>

- Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden. (u.d.). *Kvist*. Hentet fra Danske bygningsmodeller: <https://www.danskebygningsmodeller.dk/pages/type-1-original-kvist.html>
- Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden. (u.d.). *Københavnertag*. Hentet fra Danske bygningsmodeller: <https://www.danskebygningsmodeller.dk/pages/type-1-original-kbenhavnertag-m.html>
- Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden. (u.d.). *Langsgående skillevægge*. Hentet fra Danske Bygningsmodeller: <https://www.danskebygningsmodeller.dk/pages/type-1-original-hovedskillevg.html>
- Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden. (u.d.). *Tagfod med trempelværk*. Hentet fra Danske bygningsmodeller: <https://www.danskebygningsmodeller.dk/pages/type-1-original-tagfod-med-trempelvrk.html>
- Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskadefonden. (u.d.). *Ændret tagfod med trempelværk*. Hentet fra Danske bygningsmodeller: <https://www.danskebygningsmodeller.dk/pages/type-1-ndret-tagfod-med-trempelvrk.html>
- Hansen, A. A. (19. december 1989). *Udvidelse af wc-rum, inst. af bad, m.m.* Hentet fra Københavns Kommune Byggesagsarkiv: <https://public.filarkiv.dk/>
- Hansen, E. J. (2018). *SBI-anvisning 272 Anvisning om Bygningsreglementet 2018*. København SV: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Hein & Møller-Holsts Sanitetsafdeling ved Andreasen og Henningsen. (29. juli 1907). *Indsætte vandklosetter i alt 12 stk. med wc betegnede rum, m.m.* Hentet fra Københavns Kommune Byggesagsarkiv: <https://public.filarkiv.dk/>
- Historicisme (arkitektur)*. (15. november 2022). Hentet fra Wikipedia: [https://da.wikipedia.org/wiki/Historicisme_\(arkitektur\)](https://da.wikipedia.org/wiki/Historicisme_(arkitektur))
- Hofo. (u.d.). *Miljødeklaration for fjernvarme*. Hentet fra Hofo: <https://www.hofo.dk/baeredygtige-byer/beregn-co2/miljoedeklarationer/miljoedeklaration-for-fjernvarme/>
- Hofo. (u.d.). *Prisen på fjernvarme 2022 for privatkunder*. Hentet fra <https://www.hofo.dk/privat/priser-paa-forsyninger-privatkunder/prisen-paa-fjernvarme-2022-for-privatkunder/>
- How the World Passed a Carbon Threshold and Why It Matters*. (26. Januar 2017). Hentet fra Yaleenvironment360: <https://e360.yale.edu/features/how-the-world-passed-a-carbon-threshold-400ppm-and-why-it-matters>
- I. L. Consult Aps. (25. september 1999). *Installere fjernvarme nr. 21*. Hentet fra Københavns Kommune Byggesagsarkiv: <https://public.filarkiv.dk/>
- IEA. (u.d.). *Global methane tracker 2022*. Hentet fra Methane and climate change: <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022/methane-and-climate-change>
- Industrialiseringen i Danmark*. (u.d.). Hentet fra Faktalink: <https://faktalink.dk/titelliste/industrialiseringen/industrialiseringen-i-danmark>
- Kim B. Wittchen, K. T. (2021). *Vejrdata til fremtidens byggeri*. 2450 København SV: BUILD.

- Kisling, C. (u.d.). *Ny dom gør det lettere for udlejer at hæve huslejen efter en gennemgribende renovering*. Hentet fra <https://www.advoda.dk/da/privat/viden-til-dig/ny-dom-gor-det-lettere-for-udlejer-at-haev-huslejen-efter-en-gennemgribende-renovering/>
- Klimaenergi A/S. (2022). *Salg af solcellestrøm*. Hentet fra <https://solcellekonsulenten.dk/salg-af-solcellestroem/>
- Knutsson, H. H. (1992). *SBI-rapport 223: Murværk, Materialer og egenskaber*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Kystdirektoratet. (u.d.). *De 10 højest målte vandstande langs Vestkysten*. Hentet fra <https://kyst.dk/kyster-og-klima/stormflod-og-beredskab/historiske-stormfloder-paa-vestkysten/>
- Larsen, P. K. (2021). (99) 21 06 16 *Fugtmåling i beton og murværk*. 1472 København K: BYG-ERFA.
- Lejeloven. (2023). *Videresalg af lejemål*. Hentet fra <https://www.lejeloven.dk/udlejer/videresalg>
- Masson-Delmotte, V. P. (2021). *SPM.4 in IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK og New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Miljøministeriet. (08. Maj 2023). *Klimatilpasning*. Hentet fra FN's klimascenarier: <https://www.klimatilpasning.dk/viden-om/fremtidens-klima/klimascenarier/>
- Niels Holst, A. S. (24. februar 2023). *Et år med krig i Ukraine*. Hentet fra Politiken: <https://politiken.dk/udland/art9228539/Et-%C3%A5r-med-krig-i-Ukraine>
- Niels-Jørgen Aagard, E. B. (2013). *Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi*. København SV: Statens Byggeforskningsinstitut Aalborg Universitet.
- Rheinzink. (u.d.). *Zinkens historie*. Hentet fra <https://www.rheinzink.dk/rheinzink-danmark/om-os/zinkens-historie-1/>
- Sedlbauer for spore germination and mycelium growth*. (15. 06 2015). Hentet fra Researchgate: https://www.researchgate.net/figure/Generalized-isopleths-systems-Sedlbauer-2-for-spore-germination-top-or-mycelium_fig1_281548506
- Slots- og Kulturstyrelsen. (21. 08 1995). *Fredede og bevaringsværdige bygninger*. Hentet fra Kulturarv: <https://www.kulturarv.dk/fbb/bygningvis.pub?bygning=3152539>
- Slots- og kulturstyrelsen. (24. marts 2022). *Historicistiske etageejendomme*. Hentet fra <https://slks.dk/omraader/kulturarv/bevaringsvaerdige-bygninger-og-miljoeer/bevaringsvaerdige-bygninger-metode/atlas/vadehavet-kulturarvsatlas/bebyggede-strukturer/niveau-4-byggeskik-og-bygningstyper/historicistiske-etageejendomme>
- Sparenergi. (u.d.). *Find energimærket på din bygning*. Hentet fra <https://sparenergi.dk/forbruger/vaerktoej/forbruger/energimaerke?adresseval=+Ole%20Suhrs%20Gade%201,%201354%20K%C3%B8benhavn%20K>
- Statens byggeforskningsinstitut. (u.d.). *BE18*. Hentet fra Klimadata: <https://be18.sbi.dk/be/protected-climate-data>

- The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide*. (9. October 2019). Hentet fra NASA:
<https://climate.nasa.gov/news/2915/the-atmosphere-getting-a-handle-on-carbon-dioxide/>
- Tilmuring af kældervinduer*. (8. november 1988). Hentet fra Københavns Kommune Byggesagsarkiv:
<https://public.filarkiv.dk/>
- Videnskab.dk. (25. marts 2012). *Lille stigning i drivhusgasser har stor konsekvens*. Hentet fra Videnskab:
<https://videnskab.dk/naturvidenskab/lille-stigning-i-drivhusgasser-har-stor-konsekvens/>
- Wikipedia. (17. februar 2023). *Vejrekstremer i Danmark*. Hentet fra Wikipedia:
https://da.wikipedia.org/wiki/Vejrekstremer_i_Danmark
- Aagaard, N.-J. (2008). *SBi-anvisning 221 Efterisolering af etageboliger*. København SV: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Aarhus Universitet. (u.d.). *Oversigt over ældre måle- og vægtenheder*. Hentet fra Danmarkshistorien:
<https://danmarkshistorien.dk/vis/materiale/oversigt-over-gamle-maal>

11. Figurer

Figur 1. Vanddampdiagram (Brandt, 2013).....	5
Figur 2. Damptryksdiagram (Brandt, 2013). Udeklimaforhold for januar måned indtegnet med stiplede røde linjer. Tabel 2. Spænd over indeklimaforhold for januar måned indtegnet med stiplede blå linjer. Tabel 2.	6
Figur 3. Kategorier af materialestrukturer (Brandt, 2013) 1. Ingen porer: Metal, glas, etc. 2. Lukkede porer: Celleglas, Ekstruderet polystyren, ekspanderet polyuretan, nogle typer letklinker, etc. 3. Kanalsystem af åbne porer: Træ, beton, letbeton, tegl, etc. 4. Diskontinuert materiale: Grus, mineraluld, etc.....	8
Figur 4. Sedlbauerkurve over skimmelsporespiring og myceliumvækst (Sedlbauer for spore germination and mycelium growth, 2015).	10
Figur 5. Graf over udvikling af forbrugerprisindekset i Danmark fra april 2003 til februar 2023, ændring i forhold til samme måned året før (Danmarks Statistik, 2023).....	12
Figur 6. Keeling-graf over atmosfærens CO ₂ -indhold fra år 1958 til 2020 (The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide, 2019).....	13
Figur 7. Visualisering af drivhuseffekten (Videnskab.dk, 2012)	14
Figur 8. Udviklingsscenarier for det fremtidige klima frem mod år 2100 ifølge IPCC-rapport 6. (a) viser 5 mulige scenarier for udledning af CO ₂ målt i milliarder ton / år. (b) viser indflydelsen af de 5 scenarier på den globale temperatur i 2081-2100 sammenlignet med temperaturen i 1850-1900. SSP står for delte socioøkonomiske retninger (Shared Socioeconomic Pathways), hvor SSP1-1.9 og SSP1-2.6 er de bæredygtige retninger, SSP2-4.5 er mellemvejen, SSP3-7.0 er præget af konflikt mellem regioner og SSP5-8.5 er præget af fossile brændstoffer som primær energikilde (Masson-Delmotte, 2021).	17
Figur 9. Den gennemsnitlige globale overfladetemperatur for hvert år, sammenlignet med den gennemsnitlige globale overfladetemperatur fra 1880-2022. Blå indikerer år med koldere temperatur end gennemsnittet. Rød indikerer år med varmere temperatur end gennemsnittet (Dahlman, 2023).....	20
Figur 10. Matrikelkort over casebygningens placering i matrikel 384. Gullig farve repræsenterer ubebygget areal. Laksefarvet optegning repræsenterer casebygningen. Rød streg repræsenterer matrikelskellinje mod vej (Geodatastyrelsen, u.d.).	24
Figur 11. Etagebolig opført i 1883 bestående af udlejningsboliger på nær høj kælder, som udlejes til erhverv.	26
Figur 12. Tværsnit gennem casebygning ved ventilationsskakte og murtykkelser i facaderne (Hein & Møller-Holsts Sanitetsafdeling ved Andreasen og Henningsen, 1907). Se Tabel 5 for murtykkelser.....	27
Figur 13. Principtegning af trempelværk (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskedefonden)	28
Figur 14. Principtegning af beklædning af københavnertag (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskedefonden)	29
Figur 15. Satellitbillede af casebygning (https://earth.google.com/web/@55.68959722,12.5712065,24.42990655a,48.03563841d,35y,-140.84122785h,30.64967247t,0r).....	30
Figur 16. Princip af kvist (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskedefonden).....	31
Figur 17. Principtegning af fundament (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskedefonden) .	32
Figur 18. Tilmuring af kældervinduer (Tilmuring af kældervinduer, 1988).....	33
Figur 19. Principtegning af etagedæk og facade. Oprindelig detalje (t.v.), ændret detalje (t.h.) (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskedefonden)	34
Figur 20. Etageplan (Hein & Møller-Holsts Sanitetsafdeling ved Andreasen og Henningsen, 1907)	35
Figur 21. Principtegning af gavl og etagedæk (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskedefonden).	36

Figur 22. Principtegning af langsgående skilleveg t.v. og tværgående skilleveg t.h. (Grundejernes Investeringsfond, Realdania og Byggeskedefonden).....	37
Figur 23. Skitse af nuværende tagkonstruktion (foroven) og renoveringstiltag (forneden).....	40
Figur 24. Faser i LCA-beregning, som er omfattet af LCAByg, og som skal dokumenteres iht. BR18 (Bolig- og Planstyrelsen, BR18).	45
Figur 25. Fremskrivning af dansk årsmiddeltemperatur fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.	47
Figur 26. Fremskrivning af dansk vintertemperatur fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.	48
Figur 27. Fremskrivning af dansk sommertemperatur fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.	48
Figur 28. Fremskrivning af dansk årsnedbør fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.	49
Figur 29. Fremskrivning af dansk vinternedbør fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.	49
Figur 30. Fremskrivning af dansk sommernedbør fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.	50
Figur 31. Fremskrivning af max. døgnsnedbør i Danmark fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.	50
Figur 32. Fremskrivning af max. stormstyrke i Danmark fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning.	51
Figur 33. Fremskrivning af max. vandstand ved vestkysten i Danmark fra klimanormalen 1961-1990, samt fra dekadene 2011-2020 med fremskrivningsmodellen i Tabel 5. DTA står for Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning. Ved fremskrivning af vandstand fra dekadene 2011-2020 til 2071-2020 er der taget udgangspunkt i den procentvise stigning i vandstand fra klimanormalen 1961-1990 til 2071-2100.	51
Figur 34. HEAT2-beregning af nuværende forhold. Snit vinkelret på tag. Temperatur i samling ved røde pile 3,8 °C. Overfladetemperatur i samling ved blå pile: 15,4 °C.	52
Figur 35. HEAT2-beregning af renoverede forhold iht. Option A i afsnit 5.2.1. Snit vinkelret på tag. Rød pil indikerer placering af dampspærrelag i konstruktionen, mellem lægtelag. Temperatur på dampspærre ved blå pile: 16,5 °C.	52
Figur 36. HEAT2-beregning af renoverede forhold iht. Option B i afsnit 5.2.1. Snit vinkelret på tag. Rød pil indikerer placering af dampspærrelag i konstruktion, på underside af celleglas. Laveste temperatur på dampspærre ved blå pile: 18,2 °C.	53
Figur 37. HEAT2-beregning af renoverede forhold iht. Option C i afsnit 5.2.1. Snit vinkelret på tag. Rød pil indikerer placering af dampspærrelag i konstruktion, mellem gipslag. Laveste temperatur på dampspærre ved blå pile: 17,2 °C. Laveste temperatur på udvendig side af gipsplader ved lyserøde pile: 16,1 °C.	53

Figur 38. HEAT2-beregning af nuværende forhold. Lodret snit gennem konstruktionen. a. 11 °C b. 12,2 °C c. 15,4 °C	54
Figur 39. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Lodret snit gennem konstruktionen. Laveste indvendige overfladetemperaturer: a. 18,7 °C b. 18,7 °C c. 18,8 °C Laveste temperaturer på dampspærre: d. 18,7 °C e. 18,7 °C	55
Figur 40. HEAT2-beregning af nuværende forhold. Lodret snit. a. 17,3 °C b. 17,5 °C c. 15,8 °C d. 13,2 °C e. 14,4 °C f. 17,2 °C	56
Figur 41. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Lodret snit. a. 18,6 °C b. 17,8 °C c. 18,1 °C d. 14,0 °C e. 14,9 °C f. 18,2 °C	57
Figur 42. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Lodret snit. a. 19,1 °C b. 17,4 °C c. 18,3 °C d. 13,7 °C e. 14,6 °C f. 18,2 °C	58
Figur 43. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Lodret snit. a. 18,7 °C b. 18,7 °C c. 17,7 °C d. 12,5 °C e. 14,0 °C f. 18,0 °C	59
Figur 44. HEAT2-beregning af nuværende forhold. Vandret snit. a. 17,9 °C b. 17,9 °C	60
Figur 45. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Vandret snit. a. 18,4 °C b. 18,4 °C	61
Figur 46. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Vandret snit. a. 17,7 °C b. 17,7 °C	62
Figur 47. HEAT2-beregning af renoverede forhold. Vandret snit. a. 18,8 °C b. 18,8 °C	63
Figur 48. Kritisk rum på tagetagen	65
Figur 49. Resultat af sommerkomfortberegning i Be18 med eksisterende forhold og DRY2013-klima	65
Figur 50. Resultat af sommerkomfortberegning i Be18 efter passive- og aktive renoveringstiltag og DRY2013-klima.	66
Figur 51. Resultat af sommerkomfortberegning i Be18 efter passive- og aktive renoveringstiltag og fremskrevne klimadata for TMY2050s.	66
Figur 52. Resultat af sommerkomfortberegning i Be18 efter passive- og aktive renoveringstiltag og fremskrevne klimadata for TMY2090s.	67

12. Tabeller

Tabel 1. Fugtbelastningsklasse for forskellige rum/zoner (Brandt, 2013)	7
Tabel 2. Fugtbelastningsklassegrænser og udeklima iht. TRY (Brandt, 2013).....	8
Tabel 3. Scenarier for globale temperaturstigninger frem mod år 2100 ifølge IPCC-rapport 6 (Miljøministeriet, 2023).	18
Tabel 4. Klimanormalværdier for forhenværende-, gældende-, og foreløbige danske klimanormal. Klimanormal-værdier: Årsmiddeltemperatur, vintertemperatur, sommertemperatur, årsnedbør, vinternedbør, sommernedbør (DMI, 2023). Max døgnnedbør 1961-1990 (Cappelen, Ekstreme nedbørshændelser i Danmark, 2021). Max døgnnedbør 1981-2010 (Cappelen, Climatological Standard Normals 1981-2010 - Denmark, The Faroe Islands and Greenland , 2019). Max stormstyrke 1961-1990 (Wikipedia, 2023). Max stormstyrke 1981-2010, max stormstyrke 1991-2020 (Cappelen, Oversigt over storm og ekstrem vind i Danmark). Max. vandstand ved vestkysten (Kystdirektoratet, u.d.). DRY2013-landværdier, max. stormstyrke 2011-2020 (DMI, 2014). Max. stormstyrke DRY2013 (DMI, 2005).	19
Tabel 5. Klimaændringerne i Danmark beregnet for tre tidsperioder: 2006-2035, 2036-2065 og 2071-2100. Ændringerne er angivet i forhold til perioden 1961-1990 for scenarierne A2, B2 og EU2C. JJA står for juni, juli, august. DJF står for december, januar, februar (Den Tværministerielle Arbejdsgruppe for Klimatilpasning, 2007).....	21
Tabel 6. Gældende 2018- energimærkningsskala. A=opvarmet areal i m ² (Energistyrelsen, u.d.).	24
Tabel 7. (Bolig- og Planstyrelsen, BR18).....	25
Tabel 8. Murtykkelser i facaderne som angivet i Figur 12. Mursten er antaget som dansk normalstensformat på 228mm x 108mm x 54mm. Alle murmål er stenmål, som går op i en petring på 60mm inkl fuge. Murmål er opmålt i bluebeam med kalibreret skala og afrundet til nærmeste petring inkl fuge.	28
Tabel 9. Overgangsisolanser i m ² K/W (Dansk Standards Association, 2020).....	52
Tabel 10. Oversigt over udgifter forbundet med renoveringstiltag over 50 års betragtningsperiode og salgspris for nuloverskud, se afsnit 6.5.2 og 6.5.3.....	72
Tabel 11. Lavrisikomodel - Oversigt over huslejestigning for nulindtægt iht. afsnit 6.5.4 og 6.5.6.	82
Tabel 12. Højrisikomodel - Oversigt over huslejestigning for nulindtægt iht. afsnit 6.5.4 og 6.5.6.	82
Tabel 13. Oversigt over sammenhænge mellem fugtteknisk robusthed, opfyldt energiramme, udledning af drivhusgasser og finansieringsmodeller ved de forskellige muligheder for energirenovering.	84

13. Bilag

13.1 Dokumenter (1-9)

Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 1. KK_filarkiv_1907
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 2. Bilag 7. KK_filarkiv_1907_Opmåling 1
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 3. Bilag 7. KK_filarkiv_1907_Opmåling 2
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 4. Beregning af skygger
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 5. FORMA-windows-triple-glazed_Opmåling

13.1 Excel-ark (10-19)

Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 10. U-værdier, konstruktioner
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 11. U-værdier, vinduer og døre
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 12. Fremtidens klima, fremskrivning og grafer

13.2 Heat2-modeller (20-39)

Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 20. Tag – eksisterende forhold
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 20. Tag – eksisterende forhold.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 21. Tag – renoveret, option A
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 21. Tag – renoveret, option A.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 22. Tag – renoveret, option B
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 22. Tag – renoveret, option B.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 23. Tag – renoveret, option C
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 23. Tag – renoveret, option C.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 24. Kvist - eksisterende forhold
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 24. Kvist - eksisterende forhold.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 25. Kvist – renoveret
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 25. Kvist - renoveret.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 26. Facader-Etagedæk-Vinduer – eksisterende
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 26. Facader-Etagedæk-Vinduer - eksisterende.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 27. Vejfacade-Etagedæk-Vinduer – renoveret, option A
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 27. Vejfacade-Etagedæk-Vinduer – renoveret, option A.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 28. Vejfacade-Etagedæk-Vinduer – renoveret, option B
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 28. Vejfacade-Etagedæk-Vinduer – renoveret, option B.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 29. Gårdfacade-Etagedæk-Vinduer – renoveret
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 29. Gårdfacade-Etagedæk-Vinduer - renoveret.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 30. Facade-Skillevæg - eksisterende forhold
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 30. Facade-Skillevæg - eksisterende forhold.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 31. Vejfacade-Skillevæg – renoveret, option A
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 31. Vejfacade-Skillevæg – renoveret, option A.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 32. Vejfacade-Skillevæg – renoveret, option B
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 32. Vejfacade-Skillevæg – renoveret, option B.H2P
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 33. Gårdfacade-Skillevæg – renoveret
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 33. Gårdfacade-Skillevæg - renoveret.H2P

13.3 Be18-modeller (40-59)

Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 40. Energiberegning, eksisterende forhold
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 41. Energiberegning, eksisterende forhold - 2050erne
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 42. Energiberegning, eksisterende forhold - 2090erne
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 43. Energiberegning, passive tiltag - ekskl. Køkkenvæg
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 44. Energiberegning, passive tiltag
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 45. Energiberegning, passive tiltag - 2050erne
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 46. Energiberegning, passive tiltag - 2090erne
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 47. Energiberegning, passive- og aktive tiltag
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 48. Energiberegning, passive- og aktive tiltag - 2050erne
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 49. Energiberegning, passive- og aktive tiltag - 2090erne
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 50. Energiberegning, eksisterende forhold – sommerkomfort
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 51. Energiberegning, passive- og aktive tiltag – sommerkomfort
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 52. Energiberegning, passive- og aktive tiltag - 2050erne – sommerkomfort
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 53. Energiberegning, passive- og aktive tiltag - 2090erne - sommerkomfort

13.4 LCA-beregninger (60-69)

Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 60. LCA-beregning, eksisterende forhold
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 61. LCA-beregning, passive tiltag
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 62. LCA-beregning, passive- og aktive tiltag

13.5 Prisberegninger (70-79)

Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 70. Prisberegning, eksisterende forhold
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 71. Prisberegning, passive tiltag
Peter Sejr Wiboltt_20230609_MBYG4_BILAG 72. Prisberegning, passive- og aktive tiltag