

Reelle CO₂-besparelser i konkrete bygninger



– en tværfaglig metodik med afsæt i bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974

Reelle CO₂-besparelser i konkrete bygninger

– en tværfaglig metodik med afsæt i bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974

Forfattere:

Projektleder, Ditte Strunge Larsen, cand.polit., Strunge Jensen Rådgivende Ingeniører A/S
Medforfatter, Jesper Strunge Jensen, direktør, Strunge Jensen Rådgivende Ingeniører A/S
Medforfatter, Nanna Steenberg Meyer, tegnestuechef, Varmings Tegnestue

Publikationen er en del af Realdanias indsats 'Bygningskultur og klima' og er skrevet ud fra et kommissorium udviklet af Realdania ved projektchef Thomas Brogren.

Faglig kommentering:

Publikationen er gennemlæst af eksterne fagfæller med det formål at kommentere omfanget af eksisterende viden samt beskrivelsen af mulige redskaber. Fagfællerne repræsenterer både ingeniør- og arkitektfaget:

Steffen Petersen, lektor, Aarhus Universitet
Mogens A. Morgen, professor, Arkitektskolen Aarhus
Peter Andreas Sattrup, chefkonsulent for bæredygtighed, Danske Arkitektvirksomheder
Majbritt Juul, udvalgssekretær for Energiudvalget, Foreningen af Rådgivende Ingeniører, FRI
Nanna Flintholm, head of AART+, AART
Jesper Ring, CEO, Frame ApS

Foto:

Claus Bjørn Larsen [forside, side: 28, 34 og 40]
Helene Høyer Mikkelsen [side: 4/5, 11, 16, 20 og 24]

Publikation er korrekturlæst af Emilie Koefoed.

Omslag og grafisk tilrettelæggelse:

Christel Franke
Sat med Italian Plate No2 Expanded

Tryk:

Dystan & Rosenberg

København, maj 2022

ISBN: 978-87-93360-37-2











Forord

Vi har en fælles opgave med at mindske den markante del af Danmarks CO₂-udledning, der kommer fra byggeriet og den eksisterende bygningsmasse. Realdania har igangsat indsatsen 'Bygningskultur og klima', der skal skabe forståelse for, at levende bygningskultur, hvor bygninger vedligeholdes og udvikles og derved sikres lang levetid, kan være en del af løsningen. Men der er en række udfordringer ved at arbejde med at mindske klimabelastningen fra ældre eksisterende bygninger. De kan f.eks. indeholde tekniske løsninger, som ikke længere er udbredte, og brugerne agerer typisk anderledes i disse bygninger, end de gør i nyere bygninger. Vi ved også fra analyse af energirenoeringsprojekter, at det kan være vanskeligt at opnå de beregnede energibesparelser.¹

Realdania ønsker at samarbejde med andre om at udvikle og teste forskellige strategier for bevaring og udvikling i forbindelse med en række renoveringer af etageejendomme fra perioden 1930-1974. Denne periode er valgt, fordi der er mange bygninger fra denne periode, og mange står over for renovering i de kommende år. Desuden er kvaliteter ved bygninger fra denne periode ofte ikke beskrevet. De adskiller sig fra kvaliteterne i de ældre historiske ejendomme. Målet er at være med til at afdække, hvordan sådanne projekter bedst kan bidrage til at mindske klimabelastningen i et livscyklusperspektiv, samtidig med at bygningernes kvaliteter fastholdes eller styrkes.

Den igangværende modningsfase af indsatsen 'Bygningskultur og klima' indeholder en række analyser, der skal kortlægge eksisterende viden og pege på, hvor der er behov for ny viden. Flere forskellige hold er i gang. Den første analyse er udkommet, og i de næste par måneder udkommer analyser af, hvilke produkter og klimaløsninger der er brug for at udvikle og styrke, samt en analyse af fordele og ulemper ved forskellige renoveringsstrategier og en analyse af forskellige myter om og praksis for vedligehold som klimaindsats.

I den første rapport, Bygningskultur og klima: undersøgelser af eksisterende viden om livscyklusvurderinger og bevaringsværdier, bliver der peget på:

"Valg af tiltag bør derfor altid vurderes med en livscyklusanalyse, der tager udgangspunkt i den eksisterende bygnings konkrete forhold, herunder med hensyntagen til bevaringsværdier. Der er behov for at udvikle og afprøve tilgange og fremgangsmåder for renoveringer, der reducerer CO₂-belastningen fra bevaringsværdige bygninger, med udgangspunkt i den konkrete bygning."

Dette behov blev understreget, da vi spurgte en række bygningsejere, om de oplever, at der er forskel mellem de beregnede og de reelle energibesparelser i ældre bygninger, der er blevet energirenoveret.

Svaret var entydigt ja. De reelle energibesparelser er mindre end de beregnede. Bygningsejerne fortæller, at der sjældent stilles krav om, at der tages udgangspunkt i den konkrete bygning. Det lægger bygningsreglementet ikke op til.

Denne rapport skal bidrage til at gøre os klogere på, hvad der skal til for at kunne tage udgangspunkt i den konkrete bygning og brugen af bygningen for at opnå reelle CO₂-besparelser, når vi renoverer.

Men disse sammenhænge er komplekse, og for at vi kan blive klogere, kræver det, at flere forskellige fagligheder kombineres. Der skal arbejdes nuanceret og evidensbaseret. Derfor har vi i Realdania bedt et tværfagligt hold af praktikere om at kortlægge den eksisterende viden og give et praksisnært bud på, hvordan der bør arbejdes med de konkrete bygninger for at opnå reelle CO₂-besparelser.

I rapporten peges der på betydningen af at udføre udvalgte undersøgelser af bygningen, før renoveringen sættes i gang.

¹ Teknologisk Institut [2018]. Reelle energibesparelser ved energirenoering i etagebyggeri. Hovedrapport.



Endvidere peges der på, at det er muligt at sikre betydeligt bedre datagrundlag med få nøgletal, som kan hentes fra målinger i bygningerne, mens de er i drift.

I afsnittet, der beskriver arkitektens arbejde, fremhæves betydningen af at kende bygningens historie, at foretage de nødvendige opmålinger og at kunne beskrive bygningens kvalitet.

I afsnittet, der beskriver ingeniørens arbejde, peges der på nogle få og enkle redskaber såsom indsamling af forbrugsdata, blowerdoor-test, kontrolmålinger og brugerundersøgelser, som let vil kunne tages mere i anvendelse.

For at gøre denne viden så anvendelsesorienteret som muligt har det tværfaglige hold skrevet deres anbefalinger direkte i ydelsesbeskrivelsen for byggeri og landskab [YBL 2018]. De har endda givet et bud på, hvad redskaber, som ligger ud over de almindelige ydelser, vil koste. Der er dermed lagt op til en åben debat om, hvordan samarbejde og forventningsafstemning mellem bygherre og rådgivere kan styrkes og tilpasses vores fælles opgave med at skabe reelle CO₂-besparelser.

Rigtig god læselyst

Thomas Brogren
Projektchef, Realdania



Indhold

Kapitel 1 – LÆSEVEJLEDNING	11
1.1 Indledning	12
1.2 Formål	12
1.3 Målgruppe og afgrænsning	13
1.4 En tværfaglig disciplin	13
1.5 Konklusion	14
Kapitel 2 – LITTERATUR	16
2.1. Indledning	16
2.2. Eksisterende danske demonstrations-/pilotprojekter	16
Kapitel 3 – INTERVIEWUNDERSØGELSE	20
3.1. Indledning	21
3.2. Livscyklusanalyse	21
3.3. Konkrete bygninger	22
3.4. Brugernes adfærd	22
3.5. CO ₂ -besparelser	23
3.6. Fremtiden	23
3.7. Konklusion på interviewundersøgelse	23



Kapitel 4 – ARKITEKTONISKE OVERVEJELSER OG FORUNDERSØGELSER	24
4.1. Arkitektoniske overvejelser	25
4.2. Arkitektoniske forundersøgelser	27
4.2.A. Bygningsarkæologiske studier	27
4.2.B. Registrering, opmåling og tilstandsvurdering	27
4.2.C. Værdisætning	27
Kapitel 5 – BYGGETEKNISKE OVERVEJELSER OG FORUNDERSØGELSER	28
5.1. Indledning	29
5.2. Indsamling af viden	29
5.3. Analyse af det specifikke energiforbrug	30
5.3.A. Analyse af transmissionstab	30
5.3.B. Analyse af infiltrationstab	30
5.3.C. Analyse af bygningens ventilationstab	30
5.3.D. Analyse af varmtvandsforbrug og heraf følgende energiforbrug	30
5.3.E. Analyse af graddageafhængigt energitab til varmetab på tekniske installationer	31
5.3.F. Analyse af brugeradfærd, generelt i forhold til udluftning m.m.	31
5.4. Beregning af baseline som udgangspunkt for beregning af reelle energibesparelspotentialer	31
5.5. Beregning af fremtidige energibesparelsetiltags konkrete energibesparelspotentialer	32
5.6. Driftsinstruktion af teknisk personale og beboere	33
5.7. Resultatopfølgning frem til og med 1-årsgennemgang	33



Kapitel 6 – FORSLAG TIL BYGHERRESPECIFIKKE PRÆCISERINGER

OG TILFØJELSER I YDELSESBESKRIVELSE VEDR. ENERGIFORHOLD	34
6.1. Indledning	35
6.2. Idéoplæg [YBL18 1.1.]	36
6.3. Byggeprogram [YBL18 1.2.]	38
6.4. Energibehov [YBL18 9.26]	39

Kapitel 7 – AFRUNDING	40
7.1. Læsevejledning til opsamlingstabel	40
7.2. Opsamlingstabel over bygherrespecifikke præciseringer og tilføjelser til YBL18	41
7.3. Konklusion	42





Kapitel 1

Læsevejledning

1.1. Indledning

Den internationale politiske dagsorden om at mindske CO₂-belastningen globalt har skabt behov for at danne et overblik over, hvordan bygningskulturen i Danmark kan bidrage til at understøtte en udvikling, der belaster klimaregnskabet mindst muligt, uden at bygningernes bevaringsværdier forringes eller går tabt. Nyere undersøgelser peger på, at det kan være gavnligt for klimaet at renovere og bevare frem for at rive ned og bygge nyt [Rambøll, 2020]. Hvis det er tilfældet, er spørgsmålet, hvorvidt det er muligt at reducere CO₂-belastningen fra den eksisterende bygningsmasse og samtidig fastholde – eller styrke – de kulturelle og særegne karakteristika, der gør bygningerne til en del af den danske bygningskultur.

Diskussionen om bygningskulturens bidrag til at mindske klimabelastningen må derfor nødvendigvis tage sit udgangspunkt i både tekniske og æstetiske forhold. Den skal inkludere analyser af kvantitative data om klimabelastning fra indlejret energi og fra drift såvel som diskussioner om udpegning af kvaliteter, værdisætning og forvaltning af bevaringsværdier i bygningskulturen.²

Således introduceres Realdanias seneste publikation, Bygningskultur og klima – undersøgelser af eksisterende viden om livscyklusvurderinger og bevaringsværdier, som peger på, at hvis der skal findes måder at mindske bygningskulturens klimabelastning, samtidig med at bygningernes kvaliteter fastholdes eller styrkes, så skal undersøgelser tage udgangspunkt i de enkelte, konkrete bygninger, hvis der skal udføres renoveringer, der skal føre til reelle CO₂-besparelser.

Reelle CO₂-besparelser i konkrete bygninger – en tværfaglig metodik med afsæt i bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974 er en tværfaglig rapport skrevet af ingeniør Jesper Strunge Jensen, direktør i Strunge Jensen A/S, Ditte Strunge Larsen, cand.polit. i Strunge Jensen A/S, og arkitekt Nanna Steenberg Meyer, tegnestuechef hos Varmings Tegnestue, som med deres mangeårige erfaring fra deres arbejde med fredet og bevaringsværdigt byggeri har udarbejdet et forslag til konkretiseret indhold i Ydelsesbeskrivelsen for Byggeri og Landskab [herefter benævnt YBL 18] vedrørende energirenoveringer af bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974.

Rapporten er en forlængelse af en række forskningsbaserede undersøgelser inden for bygningskultur og klima, som Realdania står bag – nogle publiceret, og andre stadig under udarbejdelse.

Opbygningen af denne rapport er som følger:

- Rapporten lægger ud med en række interviewskemaer, som undersøger, om rådgivere og bygherrer iagttager forskelle mellem de beregnede energibesparelser og de reelle energibesparelser, der opnås, når ældre bygninger har gennemgået en energirenovering.
- Dernæst introduceres og diskuteres en række arkitektoniske og byggetekniske forundersøgelser og overvejelser i et energirenoveringsperspektiv inden for bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974.
- Der stilles herefter forslag til konkret indhold, i form af tilføjelser og præciseringer, i YBL 18, vedrørende energirenoveringer af bevaringsværdige bygninger fra 1930-1974.
- Til slut opsummeres relevante forundersøgelser, tilføjelser og præciseringer, og ydelserne prissættes.

1.2. Formål

Rapporten benytter en tværfaglig metodik med afsæt i bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974. Formålet er at bidrage til at mindske klimabelastningen fra bevaringsværdige bygninger med større nøjagtighed og under hensyntagen til bygningens bevaringsværdier. Rapporten stiller praksisnære forslag til, hvilke beskrivelser af bygningens bevaringsværdier, forundersøgelser, og dataindhentning, der bør udføres i forbindelse med energirenoveringer af bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974. De skal medføre, at datagrundlaget for beregningerne af den baseline, der opstilles for den enkelte konkrete bygning i forbindelse med energirenoveringen, bliver mere retvisende, end hvad tilfældet er i dag.

² Bygningskultur og klima – undersøgelser af eksisterende viden om livscyklusvurderinger og bevaringsværdier, side 10



Figur 1. Illustration af rapportens formål.

Formålet med at stille konkrete forslag til indhold i YBL 18 er at gøre ydelsesbeskrivelsen mere bygherrespecifik, så bygherre bliver bedre i stand til at stille de rette krav til rådgiverydelserne ved energirenoveringer, og så bygningens baseline og de senere påviste energibesparelser dermed bliver mere retvisende.

Til slut afrundes rapporten med en opsamlende tabel, som skaber overblik over tilføjelser og præciseringer i form af forundersøgelser fra den bygherrespecifikke ydelsesbeskrivelse og rollefordeling og overslagspris for forundersøgelserne, som tager udgangspunkt i en bevaringsværdig etageejendom med cirka 50 boliger og håndværkerudgifter på 40-50 mio. kr. ekskl. moms.

1.3. Målgruppe og afgrænsning

Det er hensigten, at rapporten skal kunne anvendes af Realdania som bygherre til at kvalificere deres indsats i projekter, som har energibesparelsespotentialer, for med større nøjagtighed at kunne bidrage i deres renoveringsarbejde til at mindske bevaringsværdige bygningers klimabelastning. Herved vil rapportens mulige målgruppe også være andre bygherrer, som ønsker at øge indsatsen i klimakampen inden for den danske bygningskultur, samt andre rådgivende ingeniører og arkitekter, der arbejder med kulturarv og energioptimering.

Det er politisk vedtaget såvel internationalt som nationalt, at klimabelastningen i samfundet som helhed skal reduceres markant. Eksisterende byggeri i Danmark vil grundet dets høje energiforbrug til opvarmning udgøre en klimabelastning, der

typisk vil være større end klimabelastningen fra nybyggeri. Dog vil renovering af eksisterende byggeri ofte være et mindre klimabelastende alternativ end at rive ned og bygge nyt.³

Rapporten Bygningskultur og klima – undersøgelser af eksisterende viden om livscyklusvurderinger og bevaringsværdier fokuserer på etageboligbyggeri med bevaringsværdi fra perioden 1930-1974, både fordi en stor del af boligmassen i Danmark stammer fra den periode, og fordi boligbyggeri fra denne periode typisk har et højt energiforbrug til opvarmning, men også fordi der skal udføres mange renoveringer på disse bygninger i de kommende år grundet udtjente bygningsdele. Af disse årsager tager denne rapport udgangspunkt i samme type byggeri og periode i bygningskulturens historie.

Rapporten har et afgrænset fokus på klimabelastning og bevaringsværdier. Brugeradfærd har kun et mindre fokus i rapporten, og brugernes opfattelse af komfort og trivsel i bygningerne behandles i rapporten som en alt andet lige-betragtning. Altså forudsættes det, at brugernes komfort og trivsel i bygningerne alt andet lige øges, når bygningerne har gennemgået en energirenovering.

Rapporten har ikke til formål at udvikle og teste ny viden inden for området. Den har derimod til formål at fokusere på og samle allerede eksisterende viden, erfaring og redskaber og at stille skarpt på, hvordan allerede kendt viden, erfaring og redskaber kan bruges korrekt til at forbedre datagrundlaget til at opstille mere retvisende baseline på bygninger, så forskellen mellem de beregnede og de reelle CO₂-besparelser ved energirenovering bliver mindre, under hensyn til bygningernes bevaringsværdi.

1.4. En tværfaglig disciplin

Arbejdet med at mindske klimabelastningen fra bevaringsværdige bygninger er en tværfaglig disciplin og kræver et tæt samarbejde mellem bygherre, arkitekt, ingeniør og entreprenør for at opnå maksimale CO₂-besparelser under hensyntagen til bevaringsværdierne.

Det er af stor vigtighed, at arkitekt og ingeniør besidder den rette faglighed, og at begge parter kan indgå kreativt i processen og

³ Bygningskultur og klima – undersøgelser af eksisterende viden om livscyklusvurderinger og bevaringsværdier, side 11



kan projektere løsninger, der ligger uden for nutidens standard-løsninger.



Figur 2. En illustration af rapportens tilgang til den tværfaglige disciplin, som skal mestres, hvis ingeniører og arkitekter skal opnå et godt resultat.

Det tætte samarbejde mellem arkitekt og ingeniør ses i de bygninger, hvor de ingeniørmæssige løsninger har fået et arkitektonisk udtryk. Det kan være konstruktioner og tekniske løsninger, som er bearbejdet arkitektonisk eller integreret i arkitekturen. Er den arkitektoniske kvalitet af de byggetekniske løsninger høj, vil de indgå som en bevaringsværdi. Det kan for eksempel være et ventilationsanlæg, der er integreret i bygningens konstruktion og med en synlig arkitektonisk bearbejdet ventilationsrist. For at sikre løsninger af arkitektoniske såvel som byggetekniske kvaliteter skal udbudsprojektet være færdigprojekteret og ikke et funktionsudbud, hvor entreprenørerne skal færdigprojektere løsningerne. Funktionsudbud kan nemlig gå ud over bevaringsværdierne, da de billigste løsninger af dårlig arkitektonisk kvalitet ofte vælges i en tilbudssituation. Det er desuden væsentligt med en tæt dialog mellem de projekterende og de udførende parter og fagtilsynet, så projektets udgangspunkt fastholdes hele vejen frem til aflevering.

1.5. Konklusion

Eksisterende forskning og litteratur peger på, at **der er betydelige forskelle mellem de beregnede CO₂-besparelser og de reelle CO₂-besparelser, som kan måles efter en energirenovering.**⁴ Rapporten har kigget nærmere på denne tendens gennem en række interviewskemaer, besvaret af aktører i byggebranchen inden for bygherre- og rådgiverfeltet. Også de peger samstemmigt på, at der er betydelige forskelle. Søges disse forskelle ikke mindsket, vil det betyde, at den danske bygningskulturs bidrag til den internationale dagsorden om at mindske CO₂-belastningen globalt vil blive mindre og mere uforudsigeligt. Der peges yderligere på, både i den eksisterende forskning og litteratur men også blandt de adspurgte aktører i denne rapport, at **en stor del af denne forskel bunder i, at der sjældent tages udgangspunkt i data indsamlet fra den konkrete bygning, men at der derimod tages udgangspunkt i nogle gennemsnitlige standardværdier, som ikke passer til den eksisterende kontekst.** En måde at bidrage til en større nøjagtighed i de beregnede CO₂-besparelser i en energirenovering er altså at forbedre og konkretisere de data, som CO₂-besparelserne for den enkelte bygning beregnes på baggrund af. I rapportens afsnit 4 og 5 beskrives og uddybes, hvilke forundersøgelser der skal foretages i forbindelse med energirenoveringer af bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974 for at sikre et retvisende datagrundlag til brug for de CO₂-besparende beregninger, så de forventede CO₂-besparelser kan opnå større nøjagtighed.

En del af de forundersøgelser, som bør laves i forbindelse med indsamling af data om bygningen, er allerede nævnt i YBL 18. Under en del af forundersøgelserne er det dog vurderet nødvendigt med en række præciseringer og tilføjelser, så bygherre kan stille mere præcise krav i de udbud, som stilles til rådgivere. De bygherrespecificerede præciseringer og tilføjelser er skrevet ind i YBL 18 i rapportens kapitel 6. Tabel 1 på næste side viser en oversigt over de forundersøgelser, som er blevet vurderet nødvendige for at skabe et retvisende datagrundlag og dermed mindske forskellen mellem de beregnede og de reelle CO₂-besparelser. Det kan bidrage til at mindske klimabelastningen fra bevaringsværdigt etagebyggeri opført mellem 1930-1974.

⁴ Teknologisk Institut [2018]. Reelle energibesparelser ved energirenovering i etagebyggeri. Hovedrapport. 13 sider. <http://reelenergi.teknologisk.dk/media/1129/reelle-energibesparelser-hovedrapport-31082018.pdf>

Forundersøgelser	For at
4.2.A Bygningsarkæologiske studier	opnå indsigt i bygningens udvikling gennem tid og få de oprindelige intentioner og sammenhænge frem.
4.2.B Registrering, opmåling og tilstandsvurdering	afklare bygningsfysiske forhold med henblik på tidligt i processen at fastlægge pladsforhold for mulige CO ₂ -besparende tiltag samt vurdere bygningens tilstand og identificere udtjente bygningsdele.
4.2.C Værdisætning	fastlægge bygningens bevaringsværdier, herunder at vurdere bygningens tilstand og identificere udtjente bygningsdele med henblik på at kunne vurdere råderummet for ændringer/tiltag og CO ₂ -besparelser, der fastholder eller styrker bygningens bevaringsværdier.
5.2 Indsamling af eksisterende dokumentationsmateriale, herunder tegninger og beregninger	opnå indsigt i bygningskonstruktioner og installationer i relation til transmissionsvarmetab og mulige ventilationsvarmetab.
5.2 Indsamling af af forbrugsdata for el, vand og varmeforbrug	opnå indsigt i ejendommens overordnede energiforbrug.
5.3.A Registrering, opmåling	opnå indsigt i, om bygningsdele er udført som projekteret. Særlig opmærksomhed rettes mod sammensatte konstruktioner og klassiske sammenbygninger, der medfører kuldebroer.
5.3.B Blowerdoor-test kombineret med termografering	opnå kendskab til bygningens reelle infiltrationstab og kuldebroer.
5.3.C Kontrolmåling af hovedluftmængde på ventilation og evt. beregning af ventilationsvarmevekslers virkningsgrad	opnå kendskab til varmetab fra ventilation.
5.3.D Måling af faktisk forbrug	opnå konkret viden om henholdsvis vand- og varmeforbrug.
5.3.F Brugerundersøgelse	opnå viden om den enkelte beboers oplevelse af indeklimaet, særligt problemer med træk og kulde i fyringssæsonen og/eller problemer med høje rumtemperaturer i overgangsperioder og sommerperioden.
5.4 Verificering af eksisterende energimærke	kunne opstille en retvisende baseline for ejendommens erkendte forbrug.
5.5 Beregning af fremtidige mulige energibesparende tiltag	opnå eksakt viden om et eller flere mulige tiltags energibesparende effekt.
5.7 Efterundersøgelser, målinger	eftervise den faktiske CO ₂ -besparelse.

Tabel 1. Opsamlingstabel over bygherrespecifikke præciseringer og tilføjelser, i form af forundersøgelser, til YBL18.



TIL SALG
4449 1444
danbolig



Kapitel 2

Litteratur

2.1. Indledning

Der er før udarbejdelse af rapporten blevet foretaget en litteratursøgning på foreliggende dansk litteratur vedrørende eksisterende danske demonstrations- og pilotprojekter samt anden viden inden for området. Nedenfor ses korte resuméer af den litteratur, som blev fundet relevant for rapporten. Denne litteratur ligger blandt andet til grund for rapportens beskrivelser, anbefalinger og konklusioner. Litteraturlisten er kronologisk opstillet, således at den nyeste litteratur oplistes først.

2.2. Eksisterende danske demonstrations-/pilotprojekter

- Realdania i samarbejde med Arkitektskolen Aarhus og Aarhus Universitet [2021]. Bygningskultur og klima – undersøgelser af eksisterende viden om livscyklusvurderinger og bevaringsværdier.

Publikationen har til formål at undersøge, hvilken rolle bevaringsværdigt byggeri spiller i den eksisterende bygningsmasses klimabelastning. Til at belyse spørgsmålet er der i projektet foretaget undersøgelser af eksisterende viden på området samt af forskellige CO₂-besparende indgreb i bygningsmassen.

- Realdania By & Byg [2021]. Energiforbedringer i historiske bygninger – erfaringer og læringer fra Realdania By & Byg.

I denne publikation præsenteres nogle af de energiforbedringer, som gennem tiden er blevet udført i de historiske ejendomme. Det er ikke publikationens formål at give en samlet beskrivelse af de enkelte projekter, men derimod via interviews og eksempler på byggerier at formidle et udpluk af de greb og løsninger, der er anvendt, og at sætte fokus på de erfaringer og læringer, der er høstet.

- Sidse Martens Gudmand-Høyer / Arkitektskolen Aarhus [2021]. BEVARINGSVÆRDIER - ET AKTIV I ALMENE BOLIG-RENOVERINGER.

Denne publikation omhandler værdisætning af bygninger i forbindelse med renovering af bevaringsværdige almene boliger. Den behandler de spørgsmål, der følger med opgaven at skulle varetage almene boligernes arkitektoniske kulturarv igennem renoveringsprojekter.

- DTU [2020]. Adfærd og forbrugsmønstre ved energirenovering af boliger. Afsluttende rapport for projekt nr. 347-025. https://elforsk.dk/sites/elforsk.dk/files/media/dokumenter/2020-08/347-025_Slutrapport_.pdf

Rapporten er en undersøgelse af temperatur og energiforbrug før og efter renovering af fire boligblokke i Ballerup i perioden 2015-2019. Der blev blandt andet installeret informationskærm i hver lejlighed, der viste forbrug af energi og vand samt indeklimadata. På side 15 sammenlignes det beregnede og målte varmeforbrug før og efter renoveringen. Rapporten peger på, at der er forskel på, om beboerne kender til deres aktuelle forbrug eller ej, men konkluderer ikke noget om emnet. Det dokumenteres, at der ikke har været stigende rumtemperaturer som følge af renoveringen, og at beboerne således ikke har vekslet dele af besparelsen til komfort.

- Teknologisk Institut [2020]. Dokumentation af energibesparelser ved energirenovering. teknologisk.dk/energirenovering-2020/dokumentation-af-energibesparelser/36652,3

Rapporten omtaler, at erfaringer fra energirenoveringer er, at de beregnede – og dermed forventede – energibesparelser sjældent opnås. Det skyldes typisk, at forventningerne er baseret på simple førregistreringer og forenkede standardberegninger af energibesparelser uden hensyntagen til ændringer i bygningens brug. Den korte forklaring på en reduceret effekt af en energirenovering er ofte, at en del af energibesparelsen omsættes til komfortforbedring. Der vises et eksempel på beregnet forbrug før og efter samt målt forbrug før og efter.

- Bygningskultur Danmark [2019]. Energiguide for fredede og bevaringsværdige bygninger.

Denne reviderede energiguide rummer anvisninger til, hvordan ejerne af fredede og bevaringsværdige huse kan forbedre de historiske huses energiforbrug, komfort og indeklima, uden at de bærende bevaringsværdier ødelægges.

- DTU Byg: Institut for Byggeri og Anlæg [2019]. Reduktion af risiko for overtemperatur i etageboliger i forbindelse med facaderenovering. Afsluttende rapport. https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/201246457/BYG_R_412_Afsluttende_rapport_nov_2019.pdf



Rapporten opsummerer arbejdet på forskningsprojektet 'Reduktion af risiko for overtemperatur i etageboliger i forbindelse med facaderenovering'. Formålet med projektet var at evaluere potentialet i forskellige solafskærmninger kombineret med typiske ventilationsløsninger til at reducere overophedning efter energirenovering af danske etageboligbyggerier fra 1850-1970, med fokus på dagslysets mængde og kvalitet. Rapporten opsummerer de vigtigste resultater fra projektet og konkluderer, at der ofte optræder overophedning, hvis ikke der anvendes solafskærmning, mekanisk ventilation eller lignende i forbindelse med energirenoveringer.

- Teknologisk Institut [2018]. Reelle energibesparelser ved energirenovering i etagebyggeri. Hovedrapport. <http://reelenergi.teknologisk.dk/media/1129/reelle-energibesparelser-hovedrapport-31082018.pdf>

Rapporten er finansieret af Realdania, Grundejernes Investeringsfond og Green Labs. Med udgangspunkt i syv energirenoveringer belyser projektet de opnåede energibesparelser og årsagerne til forskellen mellem beregnet og målt energiforbrug og -besparelse. Projektet fulgte syv energirenoveringer før, under og efter byggeprocessen.

På den baggrund har projektet udviklet metoder og værktøjer til brug ved kommende energirenoveringer, som gennem undersøgelse af fire parametre – infiltration, ventilationsmængder, indetemperatur og varmt brugsvand – kan sikre en reduceret forskel i målt og beregnet energiforbrug. Etageejendommene er opført i 1906 [Ryesgade], 1936 [Kildegårds Plads], 1868 [Holbergsgade], 1967 [Skoleparkens blok A4 og B4], 1981 [Gadehavegård] og 1975-1976 [Hjortegården]. Der er en markant forskel mellem de beregnede besparelser og de reelt opnåede varmebesparelser. Adfærd betyder mindst lige så meget som teknologi.

- Værdibyg [2016]. Forundersøgelser i renoveringsprojekter.

Vejledningen synliggør, hvilke forundersøgelser der bør udføres på det konkrete projekt. Det er centralt at udvælge og gennemføre de forundersøgelser, som giver værdi i balancen mellem udgiften til forundersøgelsen og mængden af uforudsete forhold og deres økonomiske konsekvens.

- Wissenberg A/S Rådgivende Ingeniører [2015]. Kan det faktiske energiforbrug efter en optimerende bygningsrenovering forudses gennem beregninger? <https://forsogspuljen.almnetnet.dk/projektbibliotek/kan-det-faktiske-energiforbrug-efter-renovering-forudses-ved-hjaelp-af-beregninger/>

Rapporten omhandler et pilotprojekt under 'Handlingsplan for energirenovering af lejeboliger', der har været initieret af et samarbejde mellem AlmenNet, Bygherreforeningen og Ejendomsforeningen Danmark. Pilotprojektet blev udført i 2011-2015 i boligafdelingen Hornemanns Vænge, der ejes af Postfunktionærernes Andelsboligforening. Det konstateres, at projektet har haft vanskeligheder med at beregne sig frem til en fremtidig besparelse. Dette skyldes bl.a., at beboerne efter renovering har valgt at øge rumtemperaturen, samt fejl ved indregulering af anlæg, projekteringsfejl, usikre data m.m. Hvis man modregner disse forhold, er der en langt bedre overensstemmelse mellem de teoretiske beregninger og de faktiske besparelser. På den baggrund anbefales det, at målinger og dokumentation heraf altid bør ske både før og efter renovering, samt at der bør udarbejdes en 'generel' beregningsmetodik til fastlæggelse af de forventede energibesparelser ved renoveringer (f.eks. af SBI).

- Dahl & Simonsen [2015]. VEJLEDNING til kommunal byggesagsbehandling af byggesager med energitiltag i bevaringsværdige bygninger.

Vejledningen er udarbejdet af projektet E-SAVE, som har undersøgt, hvordan behandlingen af byggesager på bevaringsværdige ejendomme kan gøres smidigere til gavn for både kommune, bygningsejere og klimaet.

Baggrunden for denne vejledning er at give input til, hvordan byggesagsbehandlere kan bidrage til at motivere bygningsejere til at gennemføre en større grad af energibevidste renoveringer med respekt for bevaringsværdier.

Denne vejledning giver en redegørelse for, hvordan man kan identificere bærende bevaringsværdier gennem SAVE-vurderinger (SAVE: Survey of Architectural Values in the Environment) eller ved brug af kulturstyrelsens 'Vejledning – Vurdering af fredningsværdier' og hermed skabe et råderum for ændringer og dialog med bygningsejere og rådgivere. Samtidig giver vejledningen en oversigt over, hvilke teknologiske muligheder der foreligger, og hvordan mulighederne kan vurderes i forhold til bygningens bevaringsværdier.



- Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København [2015]. Forskelle i beregning og målt energiforbrug i energirenoeringsprojekter. <https://build.dk/Assets/Forskelle-i-beregnet-og-maalt-energiforbrug-i-energirenoeringsprojekter/sbi-2015-14-1.pdf>

Rapportens formål er at analysere forskellige beregningsværktøjers resultater i forhold til realiserede energibesparelser i en konkret case. Formålet er endvidere at belyse forskellige forudsætnings betydning for de realiserede energibesparelser. Rapporten konkluderer, at der opnås bedst overensstemmelse mellem det forventede forbrug og det realiserede forbrug ved at anvende metoden, hvor BE 10-beregningen tilpasses de faktiske forhold.

- Kulturministeriet, Kulturarvsstyrelsen [2011]. SAVE – Kortlægning og registrering af bymiljøers og bygningers bevaringsværdi

Denne vejledning er en ajourføring og delvis omarbejdning af SAVE-vejledningen fra 1997. Formålet er at tilpasse SAVE-metoden til de nye, digitale registreringsmuligheder i FBB og samtidig anvise forskellige muligheder for anvendelse i den kommunale planlægning. Vejledningen skal således læses og bruges i sammenhæng med FBB, som er Kulturarvsstyrelsens database over fredede og bevaringsværdige bygninger og bebyggede strukturer.

- Strunge Jensen A/S i samarbejde med Realea A/S, Kulturarvsstyrelsen, Varmings Tegnestue og Jørgen Nielsen Rådgivende Ingeniører [2009]. Energirenoering i fredede bygninger: Afdækning af muligheder for implementering af energibesparende tiltag i fredede bygninger med afsæt i det fredede bygningskompleks Fæstningens Materialgård. https://silks.dk/fileadmin/user_upload/kulturarv/publikationer/emneopdelt/bygninger/energirenoering/energirenoering_rapport.pdf

Rapporten sætter fokus på CO₂-besparelser og bevaringsværdier samt indeklimaforhold i forbindelse med renoering af et større fredet bygningskompleks. Gennem fire arbejdsgruppevurderinger bedømmes forskellige energitiltag i forhold til deres indflydelse på fredningsværdier og effekt på energiforbruget. Rapporten anbefaler en prioritering af elmæssige energibesparelser i kontormiljøer pga. direkte energibesparelser ved opvarmning og indirekte besparelser fra et reduceret kølebehov om

sommeren. Herudover viser projektet, at det er muligt både at opnå en CO₂-besparelse og forbedre indeklimatet uden at gå på kompromis med de vigtige fredningsværdier.



Kapitel 3

Reduktion af klimabelastning ved renoveringer

3.1. Indledning

Forskning og målinger i bygninger, der er blevet energirenoveret, peger på, at der er forskelle mellem de beregnede energibesparelser og de reelle energibesparelser, der opnås, når energirenoveringen er færdig. Denne rapport kan bidrage til at mindske klimabelastningen fra bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974 ved med større nøjagtighed at kortlægge, hvilke forundersøgelser der bør laves i forbindelse med energirenoveringer, så fokus øges på den konkrete bygning, dens bygningsfysik og energiforbrug, brugernes adfærd og deres opfattelse af indeklimate samt forskellige tiltags CO₂-besparelser.

For at undersøge, om disse forskelle også iagttages af bygherrer og rådgivere inden for branchen, er en række af disse aktører blevet bedt om at besvare fem interviewskemaer. Interviewskemaerne er udarbejdet til at belyse de tre fokusområder, rapporten har, inden for energirenovering af ældre bygninger, samt belyse, hvordan LCA-værktøjer bruges i arbejdet i dag, og hvilke ønsker aktørerne har til fremtiden inden for energirenovering af ældre bygninger:

- Livscyklusanalyse [LCA]
- Konkrete bygninger
- Brugernes adfærd
- CO₂-besparelser
- Fremtiden

Besvareelserne for hvert enkelt spørgsmål er blevet sammenfattet og gengivet som en gennemsnitlig betragtning af, hvad de adspurgte har svaret inden for de enkelte delområder. De bygherrer og rådgivere, som har medvirket til at besvare interviewskemaerne, er ansatte fra Bygherreforeningen, KAB, Aalborg Kommune, Slots- og Kulturstyrelsen, EKJ Rådgivende Ingeniører og Rambøll. Aktørerne er udvalgt og kontakttet ved vilkårlig udvælgelse under kategorierne bygherrer, små/mellemstore ingeniørvirksomheder og store ingeniørvirksomheder. Ovenstående aktører er dermed de aktører, som ved vilkårlig udvælgelse har fået tilsendt interviewskemaet, og som er vendt tilbage med en besvarelse. Ikke alle aktører har besvaret samtlige spørgsmål, og svarene skal altså ses som et overordnet pejlemærke for, hvad aktørerne generelt har svaret på hvert spørgsmål.

3.2. Livscyklusanalyse

Stilles der krav om, at rådgivere skal anvende LCA af GWP som et arbejdsværktøj, når der arbejdes med energirenovering af ældre bygninger?	Overordnet set, nej. I forbindelse med energirenovering af fredet og bevaringsværdigt byggeri stilles der sjældent krav herom. Inden for ganske få projekter stilles der i et begrænset omfang krav om at anvende LCA, når ældre bygninger energirenoveres.
Hvilke muligheder og udfordringer er der ved at anvende LCA af GWP i arbejdet med energirenovering af ældre bygninger?	Udfordringen ved at anvende et arbejdsværktøj som LCA i arbejdet med energirenovering af ældre bygninger er, at datagrundlaget ofte er spinkelt, samt at LCA tager udgangspunkt i generelle standardværdier, som ikke passer til den eksisterende kontekst. Mulighederne ved et værktøj som LCA er, at med de rette input og til en vis grad kan det bruges til at sammenligne bygninger og projekter ud fra andet end pris.

Tabel 2. Spørgsmål og besvarelser vedrørende livscyklusanalyse.



3.3. Konkrete bygninger

<p>Stilles der krav om, at der skal tages udgangspunkt i den konkrete bygning, dens bygningsfysik og dens energiforbrug, når en energirenovering af ældre bygninger planlægges?</p>	<p>Som udgangspunkt stilles der sjældent krav om, at der skal tages udgangspunkt i den konkrete bygning. Det lægger bygningsreglementet ikke op til. I forbindelse med energirenovering af ældre bygninger, som har bevarings- eller fredningsstatus, stilles der i højere grad krav om, at der skal tages udgangspunkt i den konkrete bygning.</p>
<p>I givet fald, hvordan tages der udgangspunkt i det?</p>	<p>I de tilfælde, hvor der tages udgangspunkt i den konkrete bygning, bliver der foretaget Be18-beregninger, lavet en byggeteknisk og forbrugsmæssig vurdering, lavet en økonomisk businesscase af brugstid, forbrug og drift, samt foretaget rentabilitetsberegninger med graddøgnsberegninger af energibesparelserne, EMO-mærkninger og energiforbrug på vand/varme/køling og el i et allerede tilgængeligt omfang.</p>
<p>Stilles der udbudsmæssigt særlige krav om, at der skal gennemføres konkrete energiberegninger og forundersøgelser, når der indhentes tilbud på rådgivningsopgaver med energibesparende potentiale i forbindelse med renovering af byggerier?</p>	<p>I nogle tilfælde stilles der krav herom. Hvorvidt der stilles udbudsmæssigt særlige krav om, at der skal gennemføres konkrete beregninger og forundersøgelser, tager som regel udgangspunkt i, hvilke forudsætninger bygherre har for at stille kravene. Det forekommer dog oftest ikke, medmindre det er i forbindelse med energirenovering af fredet og bevaringsværdigt byggeri. I så fald stilles der særlige krav i forbindelse med forundersøgelserne.</p>
<p>I givet fald, hvilke krav stilles der? Eller hvis ikke, hvorfor?</p>	<p>Hvis der stilles udbudsmæssigt særlige krav, vil de eksempelvis være knyttet til de krav, der stilles i bygningsreglementet eller bygningens energimærke.</p>

Tabel 3. Spørgsmål og besvarelser vedrørende konkrete bygninger.

3.4. Brugernes adfærd

<p>Stilles der krav om, at brugernes adfærd og deres opfattelse af energiforbrug og indeklimate indtages, når energioptimering af ældre bygninger planlægges?</p>	<p>Der stilles sjældent krav om, at brugernes adfærd inddrages. Der stilles i en del tilfælde krav om, at der udfærdiges driftsmanualer og energiledelse efter energirenoveringer.</p>
<p>I givet fald, hvordan inddrages brugerne og deres adfærd?</p>	<p>Brugere og deres adfærd inddrages gennem energiledelse og via en repræsentant for eksempelvis brugerne eller beboerne i bygningerne.</p>

Tabel 4. Spørgsmål og besvarelser vedrørende brugernes adfærd.

3.5. CO₂-besparelser

<p>Opleves der en forskel mellem de beregnede og de reelle energibesparelser i ældre bygninger, der er blevet energirenoveret?</p>	<p>Entydigt ja. De beregnede og de reelle energibesparelser i ældre bygninger, der er blevet energirenoveret, er forskellige. De reelle energibesparelser er mindre end de beregnede.</p>
<p>Hvis ja, hvor store er forskellene, og hvad kan der gøres for at minimere disse forskelle?</p>	<p>Det er ikke entydigt. Problemet består i, at der foretages teoretiske beregninger ud fra standardforudsætninger baseret på byggetekniske forhold, som skal forudse energiforbruget efter en renovering, når bygningen tages i brug af brugerne. Beregningerne tager ikke udgangspunkt i den enkelte bygning og forudsætter desuden en idealbruger, som aldrig forekommer. Forskellene kan måske minimeres ved at gå over til at bruge simuleringer baseret på reelle forudsætninger og brugshistorik i stedet for teoretiske beregninger og betragtninger.</p>

Tabel 5. Spørgsmål og besvarelser vedrørende CO₂-besparelser.

3.6. Fremtiden

<p>Hvilke ønsker kunne der være til området i fremtiden for at optimere arbejdet med energirenoveringer på baggrund af LCA af GWP af ældre bygninger?</p>	<p>Tilvejebringelse af bedre data til udarbejdelse af LCA for renovering af eksisterende bygninger.</p> <p>Data bør tage udgangspunkt i reel historik. Mere troværdige beregninger, der tager den menneskelige faktor med. LCAbyg til ældre bygninger. Der kunne godt være andre parametre, der kunne være værd at kigge på i fremtiden, ud over GWP.</p>
<p>Kom gerne med konkrete eksempler på ny viden og redskaber, som savnes.</p>	<p>Et parallelt Be18-Renovering (simulerings)program med tilhørende erfaringsdata, der bygger på reelle forhold, og som skal kunne konvergere med LCA (f.eks LCAbyg). Et BIM-værktøj, der kan håndtere både LCA, LCC og energiramme. Større viden og bedre metoder til at indtænke og lave udregninger for fredede og bevarelsværdige bygninger i en bæredygtig renoverings- og vedligeholdelsesstrategi.</p>

Tabel 6. Spørgsmål og besvarelser vedrørende fremtiden.

3.7. Konklusion på interviewundersøgelse

Undersøgelsen af, hvordan der i dag bliver arbejdet med konkrete bygninger, brugeradfærd og reelle CO₂-besparelser i forhold til energirenovering af ældre bygninger, bekræfter, at der er udfordringer. Udfordringerne består dels i, at der i de eksisterende værktøjer og redskaber tages udgangspunkt i generelle værdier og antagelser, hvorfor den viden der findes på området om ældre og unikke bygninger på nuværende tidspunkt ikke kan kombineres direkte med disse værktøjer og redskaber. Dels inddrages brugernes adfærd og den konkrete bygnings fysik og energiforbrug kun i mindre grad. Dette kan have en større

betydning, når der arbejdes med ældre bygninger, og problematikken ved renoveringer af sådanne bygninger kan derfor ofte være, at der ikke opnås den forventede energibesparelseseffekt. Der peges i undersøgelsen på et ønske om tilvejebringelse af bedre data for renovering af eksisterende bygninger med udgangspunkt i reel historik og om mere troværdige beregninger, som inkluderer den menneskelige faktor. Herudover efterlyses generelt set større viden og bedre metoder til at indtænke og lave udregninger for ældre bygninger i en bæredygtig renoverings- og vedligeholdelsesstrategi.



Kapitel 4

Arkitektoniske overvejelser og forundersøgelser

4.1. Arkitektoniske overvejelser

Nyere undersøgelser peger på, at det kan være bedre for klimæet at bevare end at rive ned og bygge nyt. Renovering, der reducerer CO₂-belastningen fra bevaringsværdigt byggeri, er en opgave, hvor casespecifikke, tværfaglige analyser er nødvendige for at sikre, at tiltag leder til reduktioner i CO₂-belastningen uden at gå på kompromis med bevaringsværdierne. Hvis en sådan analyse udføres forud for renoveringen, er det i nogle tilfælde muligt at mindske bygningens CO₂-belastning, samtidig med at bygningens bevaringsværdier fastholdes eller styrkes.⁵

Energi- og CO₂-besparende tiltag skal i bevaringsværdige bygninger udføres med respekt for bygningens miljømæssige, kulturhistoriske og arkitektoniske værdier.

I arbejdet med bevaringsværdige bygninger er det at identificere og fastlægge bygningens bevaringsværdier det væsentligste element for efterfølgende at kunne vurdere, hvor stort råderummet er for ændringer, og dermed hvor stort råderummet er for CO₂-besparelser.



Figur 3. Forhandlingsrummet ligger omkring proportionalaksen mellem ændringsmuligheder og bevaringsværdi, inspiration fra E-SAVE.

De arkitektoniske overvejelser går ud på at vurdere, om de påtænkte ændringer er forenelige med den konkrete bygnings bevaringsværdier; altså at vurdere, hvilke påvirkninger bygningsændringerne har på bevaringsværdierne. Som udgangspunkt er ændringsmulighederne størst i bygninger med få bevaringsværdier.

Ændringsmulighederne dokumenteres i et skema, hvor hver enkelt ændring/hvert enkelt tiltag vurderes ud fra påvirkningen af bevaringsværdien. Dokumentet er en forundersøgelse og danner grundlag for udarbejdelse af bevaringsstrategien, som indgår i byggeprogrammet.

Dokumentet anvendes aktivt i alle faser og gennemgås for at sikre, at der ikke udføres ændringer/tiltag, hvor bevaringsværdierne mistes. Metode og eksempel på skema kan ses i rapporten Energirenovering i fredede bygninger, Strunge Jensen A/S, Realia, Varmings Tegnestue og Jørgen Nielsens Rådgivende Ingeniører.

⁵ Realdania [2021]. Bygningskultur og klima – undersøgelser af eksisterende viden om livscyklusvurderinger og bevaringsværdier, s.5 og s.110.



Oversigt over afviste og godkendte energibesparelsetiltag (afviste angives med rødt)

Bygning 1						
Nr.	Energiltag	V1	V2	V3	V4	Beskrivelse af fravalg
Vinduer og solafskærmning						
01a	Udskiftning af vinduer til nye superlavenergivinduer					Fredning og arkitektur respekteres ikke
01b	Nye superlavenergivinduer i nye vindueshuller					Fredning og arkitektur respekteres ikke
02	Nye energiforsatsglas + solafskærmende udvendigt glas					Udvendige glas kan ikke udskiftes pga. fredning og arkitektur
02a	Nye energiforsatsglas i eksisterende forsatsrammer					
02b	Nye solafskærmende forsatsglas					Farven på glassene er for markant
03	Nye vinduer med indvendig solafskærmning					Fredning og arkitektur respekteres ikke
04	Udvendig solafskærmning					Fredning og arkitektur respekteres ikke
Isolering og bygningstæthed						
05	Indvendig efterisolering af ydervægge					Tiltaget har ikke stor nok effekt
06	Udvendig efterisolering af ydervægge					Fredning og arkitektur respekteres ikke
07	Efterisolering af skrålofter					Tiltaget har ikke stor nok effekt
08	Efterisolering af terrændæk					Da kælderen ikke udnyttes, er effekten ikke stor nok
09	Brug af isoleringstypen "supertynd"					Kvaliteten af isoleringstypen er usikker, og effekten ikke stor nok
10	Etablering af bygningstæthed					
Ventilation						
11	Naturlig ventilering – åbning af vinduer					
12	Natkøling, ventilation – indtag i klimaskærm og udtag i tag					Friskluftindtag gennem klimaskærm ikke mulig
13	Hybrid ventilation, indtag i klimaskærm og udsugning via varmepumpe					Friskluftindtag gennem klimaskærm ikke mulig
14	Traditionel mekanisk ventilation via ventilationssystem					Fredning og arkitektur respekteres ikke
15	Friskluftindtag via solvægge, aktive glaspartier					Fredning og arkitektur respekteres ikke
Varme, vand og køl						
16	Køling via mekanisk recirkulering af luft i rum					
17	Passiv køling af rum via nedkølet loft eller væg					Fredning og arkitektur respekteres ikke
18	Køling hvor overskudsvarmen afsættes til luften ude					Der etableres et centralanlæg, som betjener alle bygningerne
19	Køling via jordslanger					Kølebehov er ikke tilstrækkeligt

Tabel 7. Oversigt over afviste og godkendte energibesparelsetiltag [afviste angives med rødt].

Gennem fire tværfaglige arbejdsgruppevurderinger (V1-V4) blev forskellige energiltag vurderet ud fra deres indflydelse på fredningsværdier og effekt på energiforbruget.

4.2. Arkitektoniske forundersøgelser

Nøglen til at forstå en bygning er: kvalificerede, præcise og grundige forundersøgelser, herunder bygningsarkæologiske studier med bygningshistorie, arkivstudier m.m. af, hvordan bygningens oprindelige forhold har været, hvordan bygningen har udviklet sig gennem tid, hvordan brugen af bygningen har været, hvilke krav der er stillet til bygningen, hvilke særlige problemstillinger som ses gentaget i bygningen gennem årene, etc.

For at forundersøgelserne skal skabe det bedste grundlag for de kommende faser er det af afgørende betydning, at forundersøgelserne udføres i et samspil mellem arkitekt og ingeniør, således at begge parter bidrager til udførelsen af forundersøgelserne, opnår en fælles viden og får belyst både de arkitektoniske og de ingeniørmæssige forhold tilstrækkeligt.



Figur 4. En illustration af rapportens tilgang til den tværfaglige disciplin, som skal mestres, hvis ingeniører og arkitekter skal opnå et godt resultat.

Forundersøgelser, der bør udføres for at kunne identificere og fastlægge bygningens bevaringsværdier:

- Bygningsarkæologiske studier
- Registrering, opmåling og tilstandsvurdering
- Værdisætning

4.2.A. Bygningsarkæologiske studier

Et vellykket byggeprojekt i en bevaringsværdig bygning kræver nøje kendskab til det oprindelige byggeri.

Ved at undersøge byggesagsarkiver, kunstbiblioteket og lokalhistoriske arkiver vil man ofte kunne finde oprindeligt tegningsmateriale, fotografier, referater og korrespondancer fra før, under og efter bygningens opførelse. Såfremt det er tilgængeligt, er det desuden oplagt at orientere sig i litteratur om bygningen, arkitekten og perioden generelt. Disse undersøgelser kan få de oprindelige intentioner og sammenhænge frem samt information om diverse ombygningsarbejder gennem tiden. En stor del af denne opgave er at opklare, hvad der egentlig er blevet udført. Tegninger og udbud kan være ukomplette og måske ikke samstemmende,

men gennem analyse af det samlede materiale kan man få klarhed over det oprindeligt udførte projekt.

4.2.B. Registrering, opmåling og tilstandsvurdering

De eksisterende forhold er vigtige at få registreret og opmålt præcist, således at det ikke senere i processen kommer som en overraskelse, hvis der for eksempel ikke er plads nok til de tiltænkte ændringer. Det kunne for eksempel være plads til efterisolering af et tagrum samtidig med udskiftning af et ventilationsanlæg. Efterisoleringen vil oftest medføre en lavere lofthøjde, og det nye ventilationsanlæg er måske større end det forrige. Det er oftest godt givet ud at lave præcise opmålinger omkring og af de bygningsdele, hvor der forventes at skulle udføres bygningsændringer. Registreringer kan være af materialer, overflader, tekniske anlæg etc. og af de forskellige bygningsdele, deres tilstand og deres forventede levetid.

4.2.C. Værdisætning

På baggrund af ovenstående forundersøgelser kan der udføres en værdisætning – identificering og fastlæggelse af bygningens bevaringsværdier. Værdisætningen kan med fordel anvende SAVE-metoden, som har fem vurderingsparametre:

- Arkitektonisk værdi – bygningens proportioner, facadeudtryk, den arkitektoniske bearbejdningsgrad og samspillet mellem form, materialevirkning og funktion.
- Kulturhistorisk værdi – bygningens repræsentation af: den lokale byggeskik, en særlig stilperiode, særlig håndværksmæssig formåen eller tekniske innovationer i konstruktion og materiale-mæssig henseende m.m.
- Miljømæssig værdi – bygningens betydning for de tilstødende bygninger og for helheden eller anlægget. Hvordan bygningen er placeret og tilpasset landskabet, husrækken, gadebilledet eller det miljø og den kontekst, den er en del af.
- Originalitet – i hvor høj grad bygningens oprindelige udtryk er bevaret, samt i hvor høj grad bygningens originals substans – altså, det originale materiale – er bevaret.
- Tilstand – bygningens tilstand, herunder om den er vedligeholdt regelmæssigt og rigtigt, de byggetekniske forhold, samt om bygningen virker sund.

Værdisætningen skal bruges aktivt og konstruktivt som et værktøj gennem hele projektet. Ændringer, der foretages i bygningen, skal hele tiden vurderes ud fra værdisætningen, så det sikres, at ændringerne er i tråd med værdisætningen, både i de indledende faser, under projekteringen og under udførelse. Værdisætningen er en forundersøgelse, der indgår i byggeprogrammet som forundersøgelse og grundlag for udarbejdelse af bevaringsstrategien for den bevaringsværdige bygning.



Kapitel 5

Byggetekniske overvejelser og forundersøgelser

5.1. Indledning

Der er efterhånden lavet en del undersøgelser, der dokumenterer, at mange energirenoveringer ikke leverer de beregnede/forventede energibesparelser, når de efterfølgende forbrugsdata analyseres.⁶ Ofte konkluderes det, at årsagerne til det højere forbrug skyldes ændret brugeradfærd og/eller øget komfort [højere rumtemperatur].

Ændret brugeradfærd og øget komfort kan ofte være en del af forklaringen, men det er vores erfaring, at der sjældent er foretaget tilstrækkelige konkrete beregninger og forundersøgelser på projektet/bygningen til egentligt at kunne drage denne konklusion. Energimærker og standard U-værdier anvendes ofte, mere eller mindre ukritisk, som grundlag for beregningerne af besparelsesmuligheder, og dette giver i sig selv ret store usikkerheder på, hvad man kan forvente sig af fremtidige energibesparelser. Vi skal i nærværende afsnit forsøge at pege på mulige, hyppigt påtrufne fejlkilder og anviser en vej til større klarhed om potentielle energibesparelser i en fremtidig energirenovering.

En energirenoveringsopgave kan være mangeartet. Den kan f.eks. tage afsæt i bygherres ønske om at få foretaget renovering af helt specifikke og enkeltstående bygningsdele, som er nedslidte og derfor kræver renovering. Det kunne være en vinduesrenovering med tilhørende fuger og eventuelle brystninger eller en nødvendig tagudskiftning med tilhørende følgearbejder. Opgaven kan eksempelvis også tage afsæt i et bygherreønske om at få lavet en mere helhedsorienteret renovering med en generel reduktion af bygningens CO₂-aftryk for herved at medvirke til den grønne omstilling. Vi ser i dag i stigende grad begge opgavetyper realiseret.

Da nærværende rapport spænder over bevaringsværdige etageejendomme fra perioden 1940 og frem til 1974, er der generelt mange byggemetoder med tilhørende energimæssige udfordringer i spil. I bevaringsværdige etageejendomme fra 1940'erne forekommer eksempelvis kuldebroer mange steder lige fra massive teglbindere i facader til fuldmurede brystninger. I montagebyggeriet ser man ofte kuldebroer med massive varmetab som følge af indbyggede stålbjælker i facader og ved udkragninger m.m.

Fælles for den lille, specifikke energirenovering og den store, helhedsorienterede energirenovering og udfordringerne med forskelligartede byggemetoder gennem tiden er dog metoden til at nå frem til konkrete, retvisende, energibesparelspotentialer for de enkelte energirenoveringstiltag, man ønsker belyst.

Nedenfor beskrives de byggetekniske overvejelser og forundersøgelser, der bør iværksættes for at opnå et mere retvisende billede af de energimæssige effekter, de enkelte energibesparelsesforslag kan forventes at få. Da mange etageejendomme fra perioden 1940-1974 i en eller anden form er bevaringsværdige, forudsættes de enkelte energibesparelsesforslag udarbejdet i tæt samarbejde med en arkitekt, som gennem sit arbejde har fastlagt bærende bevaringsværdier for ejendommen og herved er garant for forslagens arkitektoniske indvirkning på eventuelle bevaringsværdier. I kapitel 6 er de arkitekt- og ingeniørmæssige ydelser søgt tilpasset til danske arkitektvirksomheder og FRI's standardydelsesbeskrivelse YBL 18 som tillæg til – eller konkretisering af – specifikke rådgivningsydelser. Det er ydelsesspecifikationer, som man som bygherre vil kunne tilføje i et udbud, eller man som rådgiver kan anvende i sin ydelsesplan i samarbejdet med en bygherre.

5.2. Indsamling af viden

Helt overordnet set er vi interesseret i at indsamle viden om alt, der kan relateres til energiforbrug i en ejendom, og helst så detaljeret som muligt, for herved at kunne "samle puslespillet" for energiforbruget før energirenovering [baseline].

Områderne, som vi ønsker at indsamle viden om, er opsummeret nedenfor.

1. Bygningsdelenes transmissionstab
2. Klimaskærmens infiltrationstab
3. Bygningens ventilationstab
4. Varmtvandsforbrug og heraf følgende energiforbrug
5. Graddageafhængigt energitab til varmetab på tekniske installationer
6. Brugeradfærd, generelt i forhold til udluftning m.m.

⁶ TI's rapport 'Reelle energibesparelser ved energirenovering af etageejendomme'.



Udgangspunktet for at kunne foretage en nærmere undersøgelse af de ovenstående områder er at få indhentet relevant dokumentationsmateriale for ejendommen. Nedenfor oplystes de mest relevante dokumenter, der bør indhentes og analyseres.

- A. Eksisterende tegningsmateriale (arkitekt-, konstruktions- og installationstegninger)
- B. Eksisterende varmetabsberegninger m.m., hvis dette forefindes
- C. Gamle energimærker – gerne gamle VKO-rapporter og XML-filer
- D. Eventuelle forbrugsmålninger for varmt brugsvand
- E. Energiforbrugsdata fra forsyningselskaber – gerne for de seneste 3 år
- F. Vejrdata
- G. Seneste lovpligtige energimærke på ejendommen.

5.3. Analyse af det specifikke energiforbrug

5.3.A. Analyse af transmissionstab

I første omgang handler det om at få overblik over de enkelte transmissionstab på den aktuelle ejendom. Ud fra eksisterende tegningsmateriale gennemgås de enkelte konstruktioner i forhold til oplysninger, der kan føre til en indsigt i den enkelte bygningsdels varmeledningsevne og til beregning af konkrete U-værdier (analyse af ovenstående punkt 1). Tegningsgennemgangen skal naturligvis ske ved en konkret gennemgang af ejendommen.

Ved sammensatte, inhomogene bygningsdele skal man være særligt opmærksom. Konstruktioner af denne type kan ikke bare forudsættes bygget, som tegnet, og er der tvivl, bør der udføres destruktive forundersøgelser kombineret med termofotografering for at få fastlagt eventuelle kuldebroer og herved kunne beregne en mere korrekt U-værdi for den samlede konstruktion. Vi skal huske, at vi arbejder med ældre bygninger, og det medfører, at materialernes evne til at fastholde deres fysiske egenskab også kan påvirke isoleringsevnen, når den skal beregnes i dag. Eksempelvis kan isolering i hulmur være faldet sammen, så hulumuren i dag fremstår med en betydelig kuldebro i form af et uisoleret areal. Ligeledes er det ikke ualmindeligt, at loftsisoleringen er faldet sammen og ikke har den samme tykkelse længere. Forhold som disse skal registreres og indgå i betragtningerne, når konkrete U-værdier beregnes.

5.3.B. Analyse af infiltrationstab

Analyse af en bygnings infiltrationstab (punkt 2) kan alene ske på baggrund af en særundersøgelse med en blowerdoor-test. Testen er helt afgørende for at skabe et korrekt beregningsgrundlag. Erfaringer viser, at luftskiftet i eksisterende ejendomme kan variere betydeligt i forhold til de beregningsmæssige forudsætninger, man har gjort sig. I sjældne tilfælde kan man ved konkrete målinger eftervise større tæthed end antaget, men hyppigst vil man se luftskifter, der er markant større end det, vi normalt i bygningsreglements-mæssig forstand vil regne som et højt luftskifte. Og da der er tale et luftskifte uden varmegenvinding, vil den øgede infiltration kunne medføre forøget varmeforbrug, som udgør op mod 25 % af det samlede forbrug for en ejendom. Det er derfor nok den fejlkilde, det er vigtigst at få elimineret, når der skal fastlægges en baseline, som skal anvendes, når der senere skal beregnes konkrete energibesparelspotentialer. Typisk skal der udføres blowerdoor-tests på 6-8 lejligheder og evt. en trappeopgang samt et mindre kælderafsniit for at kunne få fastlagt alle infiltrationstab. Blowerdoor-testen kan med fordel udføres i kombination med termograferingen, som nævnt ovenfor. Samtidig er det vigtigt, at man under gennemførelse af testen også laver forsøg med kunstig røg, så utæthederne ad den vej synliggøres. Selve testen og gennemførelsen kan med fordel udføres som beskrevet i reference T.

5.3.C. Analyse af bygningens ventilationstab

Er bygningen forsynet med balanceret ventilation eller mekanisk udsugningsanlæg, skal der foretages en kontrolmåling af hovedluftmængderne. Ved balanceret ventilation skal der endvidere foretages en beregning af varmevekslerens reelle virkningsgrad, da denne på ældre anlæg ofte er betydeligt lavere end på nye.

5.3.D. Analyse af varmtvandsforbrug og heraf følgende energiforbrug

Analysen af energiforbruget til brugsvandsopvarmning er vigtig, da afvigelser på dette område må anses for at være en afgørende fejlkilde at eliminere, inden der opstilles en baseline som udgangspunkt for beregning af energibesparelspotentialer. Er der i forvejen en vandmåler installeret på ejendommens vandforsyning til varmtvandsbeholderen, må det undersøges, om der er foretaget løbende afmålinger af denne, der kan anvendes til den konkrete fastlæggelse af varmeforbruget til brugsvandsopvarmning. Alternativt må man påbegynde en registrering over mindst 2-3 måneder for herved at få fastlagt et

sandsynligt forbrug, der kan anvendes i beregningerne. Det månedlige forbrug er nogenlunde konstant over månederne, men man skal være opmærksom på sommerferieperioden, hvor der kan være afvigelser.

Har ejendommen ingen vandmåler ved varmtvandsbeholderen, bør der straks monteres én som en særydelse, så et målerregistreringsprogram kan opstartes samtidig med opgavens opstart. En måler til kontrol af varmtvandsforbrug er ikke spildt, da den også skal bruges til, at man løbende kan holde styr på driften i fremtiden [mere om det senere]. Vandmåleren er et vigtigt kontrolpunkt, når ejendommen igen skal driftes efter energireoveringen, og kontroller skal foretages til verifikation af energibesparelsesresultaterne.

5.3.E. Analyse af graddageafhængigt energitab til varmetab på tekniske installationer

Analysen af det graddageafhængige forbrug bør forsøges kortlagt, da dette forbrug sagtens kan udgøre 5-10 % af det samlede årlige forbrug til opvarmning.⁷ Kortlægningen kan ske ved helt konkret at modregne forbrug til varmtvandsproduktion fra forbruget konstateret i en sommermåned. Sommerforbruget kan ofte uddrages af forsyningsselskabernes fakturaer/årsfakturaer. Analysen bør dog også understøttes af konkrete registreringer på ejendommen, hvor rørlængder og isoleringstykkelse opmåles og omsættes til energitab for at kunne kortlægge besparelsespotentialer ved efterisolering af rørledninger.

5.3.F. Analyse af brugeradfærd, generelt i forhold til udluftning m.m.

En analyse af brugeradfærd er en forholdsvis svær ydelse, men da brugeradfærd har afgørende betydning for energiforbruget, bør man som rådgiver som minimum lave en interviewrunde med ejer/bestyrelse og ca. 10 % af beboerne, dog minimum 20 besvarelser, som kan afdække beboernes holdning til og viden om eventuelle indeklimamæssige forhold, der har betydning for beboeradfærd. Analysen kan ikke decideret anvendes i

opstillingen af en baseline, men kan give rådgiver et umiddelbart resultat, som er vigtigt for bedømmelsen af slutresultatet og for den indsats, der skal til for opfølgning [driftsinstruktion og opfølgning ved 1-årsgennemgang]. Som en del af rådgivers registreringsarbejde er det vigtigt at lave løbende registreringer af, hvor ofte og hvor mange vinduer der står åbne/på klem. Det kan også anvendes i bedømmelsen af brugeradfærd og eventuelle indeklimagener. Endelig kan/skal analysen anvendes til at lave en overslagsmæssig beregning af det komfortforbrug, der kan reducere de forventede energibesparelser, når de bygningsmæssige tiltag er gennemført. Dette gælder dog kun, hvis der er udtrykt utilfredshed om varmemangel i vintersituationen, jf. nedenstående.

5.4. Beregning af baseline som udgangspunkt for beregning af reelle energibesparelspotentialer.

Med udgangspunkt i de ovenstående analyser skal der laves en energiberegning for den eksisterende bebyggelse, som den ser ud for energireoveringen [baseline]. Det vil være oplagt at anvende Energy 10⁸ til denne beregning, dels for både før og efter at kunne sammenligne ejendommens performance med andre bygninger med samme energimærkeniveau, og dels fordi programmet jo er anvendt til at udarbejde ejendommens lovpligtige energimærke.⁹

Af og til vil det tidligere energimærkes XML-beregningsfil kunne fremfindes og genanvendes med de rettelser, der nu skal gøres, jf. ovenstående. Findes filen, og ønsker man at anvende den som udgangspunkt og hermed lave en genberegning, skal man dog være opmærksom på at "gøre den til sin egen," og alle indtastninger skal genbesøges og rettes i nødvendigt omfang, da mange mærker er fejlbehæftede. Ifølge Energistyrelsens egne tal er ca. 20 % af rapporterne så fejlbehæftede, at de burde have ligget i en anden kategori end det beregnede.

⁷ Teknologisk Institut [2018]. Reelle energibesparelser ved energireovering i etagebyggeri. Hovedrapport. <http://reelenergi.teknologisk.dk/media/1129/reelle-energibesparelser-hovedrapport-31082018.pdf>

⁸ Energy10 er et webbaseret registrerings- og beregningsværktøj til energimærkning, energiramme og energioptimering af bygninger. Energy10 kan benyttes til: energimærkning, energirammeberegning og BedreBolig.
- Energy10 er godkendt til energimærkning af bygninger i henhold til gældende håndbog for energikonsulenter.
- Energy10 anvendes til energirammeberegning i henhold til gældende krav i bygningsreglementet.

⁹ Jf. SBI's rapport 'Forskelle i beregnet og målt energiforbrug i energireoveringsprojektet' kan der skabes troværdige resultater med en BE18-beregning tilpasset de konkrete forhold.



Ved en opdatering eller genindtastning i Energy10 skal man således selv være opmærksom på at kontrollere/rette nedenstående.

1. Bygningens placering og eventuelle skyggeeffekter
2. Kontrolmålte arealer for de enkelte bygningsdele
3. Beregnede U-værdier for alle bygningsdele [ikke tabelopslag]
4. De målte infiltrationstab (husk at omregne til rigtige enheder)
5. Konkret energiforbrug til varmtvandsproduktion [på baggrund af målt forbrug jf. ovenstående]
6. Indtastning af andet forbrug såsom graddage-afhængige tab og varmetab på tekniske installationer. Evt. korrektion af rumtemperatur til 22 grader, hvis der i brugerundersøgelsen ikke klages over varmemangel i vinter-halvåret [22 grader er det, man normalt forbinder med en tilfredsstillende komforttemperatur]. Er der derimod udtrykt generel utilfredshed med rumtemperaturen, fastholdes temperaturen på de 20 grader, så man får det mest retvisende billede i denne situation.

Når beregningen er opdateret/genindtastet og genberegnet, skal beregningen kvalitetssikres ved at sammenligne den med det konkrete forbrug for minimum to tidligere år. De tidligere års forbrug, som er indhentet fra forsyningselskabet, skal naturligvis graddagekorrigeres til Dry-graddage (omregnes til et normalår), så sammenligning med beregningen bliver mulig. Ved vurdering af resultatet bør et akceptkriterie på +/- 10 % være muligt at opnå.

Som afslutning kalibreres baselinen til fuld overensstemmelse med det faktisk målte fra de foregående år. Kalibreringen bør foretages med de tal/værdier, der er størst usikkerhed om. Har brugerne udtrykt utilfredshed med rumtemperaturen om vinteren, er det med stor sandsynlighed den indberettede rumtemperatur, der skal justeres en smule ned/op.

Husk altid at kontrollere beregningerne i forhold til strafstillæg vedrørende "overtemperatur." Fremgår der strafstillæg, skal man forholde sig til dette, dels fordi tillægget medfører fejl i det beregnede forbrug, da der er tale om et fiktivt forbrug, og dels fordi man risikerer en uhensigtsmæssig brugeradfærd. Det

sidste uddybes nedenfor under kvalitetssikring af fremtidige beregninger.

5.5. Beregning af fremtidige energibesparelsetiltags konkrete energibesparelspotentialer

Nye energibesparelsesforslag projekteres traditionelt fasevist, jf. Danske Arkitektvirksomheders og FRI's ydelsesbeskrivelse. Efter dispositionsforslag bør de energimæssige beregninger være så entydige og så veldokumenterede, at de kan testes i vores baselineberegningsfil.

Testen foregår ved at indtaste de ændringer, et energibesparelsesforslag medfører på de enkelte parametre. En genberegning vil herefter nu vise, hvilket besparelspotentiale forslaget har. Samme øvelse udføres for alle tænkte renoveringstiltag. Man skal være opmærksom på, at de enkelte tiltags effekt ikke blot kan summeres for at få det samlede energibesparelspotentiale. Forklaringen er, lidt populært sagt, at forslagene "stjæler" effekt fra hinanden. Når man har besluttet sig for, hvilke tiltag man vil sætte i anvendelse, vil det derfor være nødvendigt at lave en samlet beregning over tiltagenes energibesparelseeffekt. Hvis der er udtrykt utilfredshed med rumtemperaturen om vinteren, skal energibesparelser beregnes med rumtemperatur på max. 20 grader. Hvis der er tilfredshed med rumtemperaturen, kan beregningen foretages med 22 grader.

Der er særligt to forhold, man skal have med i sine overvejelser, når man lægger sig endeligt fast på den samlede energirenoveringsløsning, som skal håndteres gennem hele projekteringsforløbet:

For det første skal man forholde sig til, om nogle af de energibesparelsesforslag, der er indtænkt, kan give anledning til kondensproblemer ved ikke-bearbejdede kuldebroer – et klassisk problem i ældre ejendomme og særligt i beboelsesejendomme, da der er sket en ændret brugeradfærd, når det gælder vandforbrug i dagligdagen. Er der risiko for kondensproblemer, skal den afkræftes ved damptryksberegninger og/eller elimineres ved bygningsfysiske tiltag. Årsagen til, at man skal være særligt opmærksom på kondensproblematikken, er, at man ved energirenoveringer ofte laver tættere konstruktioner/fuger, som forøger risikoen for kondensdannelse på en ikke-bearbejdet kuldebro som følge af et højere relativt fugtindhold i luften.

Det andet forhold, man skal være opmærksom på, er, om beregningerne medfører et fiktivt strafstillæg for overophedning.

Er dette tilfældet, er der tale om overophedning af boligerne i flere timer, end det er acceptabelt ud fra et komforthensyn, og det skal man nødvendigvis have håndteret, så det ikke forekommer. Dels fordi man jo ikke ønsker termisk ubehag som følge af en energirenovering, og dels fordi termisk ubehag vil medføre, at beboerne udvikler en uensigtsmæssig brugeradfærd i forhold til udluftning i deres lejligheder. Den nødvendige udluftning som følge af overophedning i sommerperioden vil hurtigt medføre en vane med at lade vinduer stå på klem, som ofte vil fortsætte ind i overgangsperioderne, hvor det vil medføre varmespild og øget forbrug.

Forventningen er, at den samlede beregnede energibesparelse efter energirenovering bør kunne dokumenteres med en maksimal afvigelse på +/- 10 %, når det første hele års varmemeforbrug opgøres og graddagekorrigeres.

I de tilfælde, hvor der er udtrykt utilfredshed med rumtemperaturen i vinterperioden, skal man dog huske at fratække den del af besparelsen, som uundgåeligt vil blive anvendt til komfortforøgelse, idet vores komfortkrav er steget gennem årene, og vi i dag typisk forventer rumtemperaturer på 22 grader og ikke som tidligere omkring 20 grader. Reduktionen i energibesparelsen pga. komfortforøgelse beregnes ved at gennemføre Energy 10-beregningen og udgøres af differencen mellem beregninger ved henholdsvis 20 og 22 grader som dimensionerende rumtemperatur. Det vil ikke være urealistisk, at beregningen af forbruget til komfortforøgelse vil ligge på 10-20 % af det samlede forbrug.¹⁰

5.6. Driftsinstruktion af teknisk personale og beboere

Driftsinstruktion af teknisk personale og beboere skal sikre, at bygningen med de nye energibesparende tiltag anvendes efter hensigten, når den ibrugtages. Erfaringer viser, at en energibevist brug kontra det modsatte let kan medføre en forskel i forbruget på 10 % og opefter, og derfor er en god og let forståelig driftsinstruktion vigtig.

Der skal udarbejdes to sæt driftsinstruktioner:

Driftsinstruktionen for det tekniske personale skal indeholde afsnit om drift og service/vedligehold af aktive anlæg samt løbende vedligeholdelsesarbejder på bygningsdele. Instruktio- nen skal endvidere indeholde kontrolskemaer til overvågning af forbrug med en tilhørende vejledning i, hvornår aflæste tal svarer

til forventningerne til det månedlige forbrug, eller hvordan der skal fejlfindes eller tilkaldes hjælp fra rådgiver. Vejledningen skal dog helt indledningsvist give fortællingen om, hvilken energi-/CO₂-mæssig betydning, det medfører at følge instruktionen. Fortællingen er en vigtig motivationsfaktor for driftspersonalet: Man er med til at gøre en forskel for klimaet gennem sit job.

Driftsinstruktionen til beboerne skal være så visuel som mulig og formidle fortællingen om, hvordan man bruger sin bolig bedst muligt ud fra et komfort- og energihensyn. Instruktio- nen skal indledningsvist fortælle, hvilken klimamæssig forskel den enkelte kan gøre ved at følge vejledningen – helt konkret i forhold til CO₂-forbrug, men selvfølgelig bør det også nævnes, hvilken økonomisk betydning det kan have for den enkelte beboer. Vejledningen bør derefter føre beboerne igennem, hvordan man anvender termostatventiler på radiatorer, hvordan man tænder og slukker udsugningsanlæg/ventilationsanlæg, og hvordan man laver kortvarige, men effektive udluftninger af boligen. Instruktio- nen bør afsluttes med en lille guide om, hvordan man kontrollerer sine rumtemperaturer, som bør kunne holdes på omkring de 20 grader [hvis boligerne ellers er så tætte, at der ikke opleves trækgener] samt en fortælling om den CO₂-mæssige forskel, der ligger i ikke at hæve rumtemperaturen til 22 grader eller mere.

5.7. Resultatopfølgning frem til og med 1-års gennemgang

Resultatopfølgning og evaluering er væsentlige, for at en energirenovering får en god start. Derfor skal ejendommens driftspersonale og udvalgte, særligt interesserede beboere aflægges besøg mindst to gange inden for det første år, gerne ca. tre og seks måneder efter afleveringen. Ved disse evalu- ringsbesøg gennemgås og kontrolleres målte resultater, og der foretages en rundspørge om beboernes/driftspersonalets øvrige iagttagelser vedrørende forståelse og anvendelse af de energibesparende tiltag.

Ved 1-års gennemgangen foretages en vurdering af de månedli- ge måler aflæsninger, og der udarbejdes som en del af 1-års- gennemgangen en kortfattet evalueringsrapport på det målte/ beregnede forbrug. Overholdes acceptkriteriet på +/- 10 % ikke, skal der laves anvisninger til mulige justeringstiltag eller korrigerede beregninger, der retfærdiggør/forklarer forskellen.

¹⁰ TI rapport 'Reelle energibesparelser ved energirenovering af etageejendomme'.





Kapitel 6

Forslag til bygherrespecifikke præciseringer og tilføjelser i ydelsesbeskrivelse vedr. energiforhold

6.1. Indledning

Denne ydelsesbeskrivelse, som indeholder bygherrespecifikke præciseringer og tilføjelser til beregning af reelle energibesparelser i bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974, er et forslag til bygherres egne tilføjelser og præciseringer, som kan indbygges i Danske Arkitekters og FRI's ydelsesbeskrivelse 2018 for Byggeri og Landskab [YBL 2018].

Oplægget kombinerer ydelsesbeskrivelsens kapitel 1.1., 1.2 og 9.26 med bygherrespecifikke præciseringer og tilføjelser til beregning af reelle energibesparelser i bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974 ved angivelse af konkrete krav til projektdokumentation for de enkelte faser. Vejledningens

venstre kolonne indeholder en ordret gengivelse af ydelsesbeskrivelsens tekst. Højre kolonne beskriver de konkrete leverancer, der præciseres eller udføres ved tilvalg af bygherre.

Ydelsesbeskrivelsen anvendes sammen med YBL 2018 ved indgåelse af aftale mellem bygherre og rådgiver.

Uddrag af ydelsesbeskrivelsen for byggeri og landskab 2018

Med bygherrespecifikke præciseringer og tilføjelser til beskrivelse af bevaringsværdier og beregning af reelle energibesparelser i etageejendomme fra 1930-1974.



6.2. Idéoplæg (YBL18 1.1.)

YBL 2018 Referencer	YBL 2018 Projektdokumentation	Bygherrespecifikke præciseringer og tilføjelser
Pkt. 1.1.7	<p>Generelt Idéoplægget omfatter en rapport med relevante illustrationer og bilag.</p> <p>Idéoplægget skal medtage eksisterende tegningsbilag om grundens beliggenhed, størrelse samt særlige oplysninger om beskaffenhed, grundmodning, bebyggelsesprocenter, servitutforhold, planforhold mv.</p> <p>Idéoplægget skal endvidere medtage eksisterende relevante tegningsbilag om eksisterende anlæg og bygninger.</p> <p>Såfremt der ikke forefindes tegningsmateriale, kan bygherre overdrage til rådgiver at foretage registrering, opmåling, optegning og digitalisering af eventuelle eksisterende friarealer, anlæg og bygninger.</p> <p>Ved ombygningsopgaver skal idéoplægget indeholde en forhåndsregistrering til brug for programarbejdet, der omfatter redegørelse for bygningernes benyttelse, områdets miljømæssige forhold, bygningernes materiale-sammensætning og en tilstandsvurdering set i forhold til den påtænkte anvendelse.</p> <p>Projektdokumentationen omfatter:</p> <ul style="list-style-type: none"> • samlet rapport • bilag vedr. grund, anlæg, bygninger mv. • forhåndsregistrering af evt. bestående bygninger, der indgår • samlet budget • granskningsrapport. 	<p>Tilføjelse Rådgiver fastlægger bygningens bevaringsværdier på baggrund af en registrering, analyse og værdisætning af de miljømæssige, kulturhistoriske og arkitektoniske værdier. Rådgiver vurderer desuden originalitet og tilstand og udpeger udtjente bygningsdele.</p> <p>SAVE-metoden eller Slots- og Kulturstyrelsens metode til værdisætning (VAF) kan anvendes.</p> <p>Værdisætningen er en forundersøgelse og danner grundlag for udarbejdelse af bevaringsstrategien for den bevaringsværdige bygning.</p> <p>Tilføjelse Rådgiver vurderer på baggrund af værdisætningen råderummet for, hvilke tiltag/ændringer der kan udføres, uden at bevaringsværdier mistes.</p> <p>Det dokumenteres i et skema, hvor hver enkelt ændring/hvert enkelt tiltag vurderes ud fra påvirkning af bevaringsværdien.</p> <p>Metode og eksempel på skema kan ses i rapporten Energirenovering i fredede bygninger, Strunge Jensen A/S & Realdania.</p> <p>Dokumentet er en forundersøgelse og danner grundlag for udarbejdelse af bevaringsstrategien for den bevaringsværdige bygning.</p> <p>Skemaet anvendes aktivt i alle faser, hvor det gennemgås for at sikre, at der ikke udføres ændringer/tiltag, hvor bevaringsværdierne mistes.</p> <p>Præcisering Rådgiver indsamler relevant tegningsmateriale med henblik på at kunne verificere/lave konkrete u-værdiberegninger for alle typer bygningsdele.</p> <p>Præcisering Rådgiver udfører en fuld registrering af alle bygningsdele i klimaskærmen med henblik på at verificere, at tegningsmateriale og udførte bygningsdele stemmer overens. I forbindelse med registreringsarbejdet undersøges isoleringstilstanden, og isoleringstykker kontrolmåles med henblik på at verificere U-værdier.</p> <p>Tilføjelse Rådgiver indhenter mindst to priser på kombineret blowerdoor-test og termografering og igangsætter herefter undersøgelsen efter anvisning fra bygherre. Blowerdoor-test og termografering omfatter undersøgelse af klimaskærmen i relevant omfang og understøttes af røgprøver under gennemførelsen til lokalisering af utætheder. Rådgiver deltager under den fysiske undersøgelse.</p>



YBL 2018 Referencer	YBL 2018 Projektdokumentation	Bygherrespecifikke præciseringer og tilføjelser
Pkt. 1.1.7		<p>Præcisering Rådgiver indsamler forbrugsoplysninger for el-, vand- og varmemålinger for de seneste tre års forbrug.</p> <p>Tilføjelse a Rådgiver indhenter specifikke forbrugsdata vedrørende varmtvandsforbrug [beskrivelsen er kun gældende, i det omfang bygherre kan være behjælpelig med fremskaffelse af disse data].</p> <p>Tilføjelse b Rådgiver varetager på bygherres vegne, at der installeres vandmålere for afmåling af varmt brugsvand. Endvidere foretager rådgiver gennem mindst tre måneder aflæsning af forbruget.</p> <p>Tilføjelse Rådgiver gennemfører beboerundersøgelse i form af spørgeskema, som stiller spørgsmål til to forhold: 1. Opleves der varmemangel/trækgener i vinterperioden? 2. Opleves der problemer med høje rumtemperaturer i sommer-/overgangsperioder?</p> <p>Tilføjelse Rådgiver gennemfører kontrolmålinger af hovedluftmængder på ventilations- og udsugningsanlæg og gennemfører kontrolmålinger og kontrolberegninger af virkningsgrader for varmegenvinding på ventilationsanlæg.</p> <p>Tilføjelse Beregning af baseline for projektet i Energy 10 og verifikation og genberegning af eksisterende energimærke til baseline for energiberegninger sker på baggrund af:</p> <ul style="list-style-type: none">• eksisterende tegninger• egne registreringer• termografering/blowerdoor-test. <p>Følgende forhold behandles:</p> <ul style="list-style-type: none">• verificering og evt. korrektion af m² for de enkelte bygningsdele• verificering og evt. korrektion af u-værdier i forhold til konkrete, beregnede u-værdier [ved beregning af u-værdier skal der tages behørigt hensyn til termograferingsundersøgelsens resultater]• verificering og evt. korrektion af infiltrationstab• verificering og evt. korrektion af hovedluftmængder og virkningsgrad. <p>Resultatbehandling: Efter genberegning afstemmes resultatet med de seneste tre års forbrug, der graddagekorrigeres. Ved vurderingen skal eventuel straf for overtemperatur vurderes i forhold til resultatet af beboerundersøgelsen. Ved en afvigelse på mere end 10 % mellem det graddagekorrigerede forbrug og det beregnede energiforbrug skal beregningen genbehandles og korrigeres til endelig baseline for projektet.</p>



6.3. Byggeprogram (YBL18 1.2.)

YBL 2018 Referencer	YBL 2018 Projektdokumentation	Bygherrespecifikke præciseringer og tilføjelser
Pkt. 1.2.7	<p>Generelt</p> <p>Byggeprogrammet disponeres normalt i et egentligt program, der beskriver bygherrens krav og ønsker til byggeriets kvalitet (arkitektur, funktion og byggeteknik).</p> <p>Byggeprogrammet vedlægges relevante bilag.</p> <p>Der kan, alt efter opgavens karakter, udarbejdes rumskitser med funktionsprincipper og diagrammer beskrivende f.eks. arealstørrelser, funktionssammenhænge og nærhedskriterier.</p> <p>Byggeriets brutto- og nettoarealer opgøres, og eventuelle krav til arealer fastlægges.</p> <p>Der udarbejdes normalt ikke tegninger, men der skal indgå relevante tegninger af byggegrunden og eventuelle eksisterende bygninger og anlæg.</p> <p>Byggeprogrammet omfatter endvidere særskilte dokumenter mv., der fastlægger bygherrens krav til byggeriets planlægning, udbud, projektering og udførelse samt relevante bilag hertil.</p> <p>Rådgiverens granskning af byggeprogrammet og dets grundlag vedlægges.</p> <p>Dokumentation af bygherrens krav og ønsker til byggeriet og forudsætninger herfor omfatter således et byggeprogram med bilag, herunder:</p> <ul style="list-style-type: none"> • forundersøgelser • oplysninger og relevante tegninger vedr. grund og eksisterende bygninger og anlæg • oplysninger om myndighedsforhold og forsyninger. <p>Dokumentation af bygherrens krav til projektering og udførelse omfatter endvidere en projektspecifik ydelsesbeskrivelse med bilag, herunder:</p> <ul style="list-style-type: none"> • organisationsbeskrivelse og -plan for byggeriets projektering og udførelse • afgrænsning og præcisering af ydelser på basis af denne ydelsesbeskrivelse • fastlæggelse af bygningsdele/entrepriser, hvor funktionsudbud kan finde sted • IKT-specifikation, hvis der er krav om digital projektering og aflevering • beskrivelse af forudsat godkendelsesproces for myndigheder og forsyningselskaber • eventuelle krav til brugerinddragelse mv. • beslutningsplan for bygherrebeslutninger • hovedtidsplan • samlet budget for byggeriet og for den økonomiske ramme • driftsbudget for teknisk drift og vedligehold • risikoanalyse • eventuelle krav til kvalitetssikring. <p>Granskning af den samlede projektdokumentation.</p>	<p>Tilføjelse</p> <p>Rådgiver vedlægges de to forundersøgelser, værdisætning og skema over ændring/tiltag vurderet i forhold til bevaringsværdi som bilag til byggeprogrammet.</p> <p>Rådgiver udarbejder på baggrund af disse to forundersøgelser en bevaringsstrategi for den konkrete bygning.</p>



6.4. Energibehov (YBL18 9.26)

YBL 2018 Referencer	YBL 2018 Projektdokumentation	Bygherrespecifikke præciseringer og tilføjelser
Pkt. 9.26	<p>Gennemførelse af energiberegninger eller simuleringer ud over krav i byggeprogrammet og Bygningsreglementet.</p> <p>Rekvirering af energimærke udført af en uafhængig energikonsulent.</p>	<p>Tilføjelse</p> <p>På baggrund af baseline, fastlagt under punkt 1.1.7, beregnes alle forslag til energibesparende tiltag. Først sker beregningerne enkeltvist, og afslutningsvist udføres én beregning med alle de udvalgte forslag til én samlet forventet energibesparelse for ejendommen.</p> <p>Der foretages en kontrol af, at ikke-bearbejdede kuldebroer ikke udsættes for risiko for kondensdannelse som følge af forøget tæthed/højere relativ fugtighed i boligerne i forbindelse med gennemførelse af de ønskede energibesparende tiltag.</p> <p>Endvidere kontrolleres det, at det samlede forslag til energibesparende tiltag ikke medfører overophedning i boligerne.</p> <p>Såfremt der i forbindelse med beboerundersøgelsen har været udtrykt utilfredshed med varmemangel i vinterperioden, skal der foretages en beregning ved en rumtemperatur på 20 og 22 grader, og differencen i energiforbruget mellem de to beregninger skal oplyses som sandsynlig reduktion i energibesparelse, idet dette er udtryk for den forventelige komfortforøgelse, beboerne vil ønske.</p>



13-15-17



Kapitel 7

Afrunding

7.1. Læsevejledning til opsamlingstabel

I kapitel 4 og 5 ses detaljerede beskrivelser af de bygherre-specifikke præciseringer og tilføjelser til YBL 18 i form af forundersøgelser, som vurderes nødvendige for, at rådgivere kan opstille en mere retvisende baseline, som kan bruges til videre energiberegninger. Disse præciseringer og tilføjelser, er i kapitel 6 indsat i et udklip af YBL 18. I nedenstående tabel opsamles præciseringerne og tilføjelserne kort.

Tabellen består af seks kolonner. Til kolonne 1, 4, 5 og 6 bemærkes:

- 1. kolonne [udbygning] refererer til de enkelte underafsnit, hvor præciseringen eller tilføjelsen til forundersøgelserne, som findes i kapitel 4 og 5, uddybes.
- 4. kolonne [fase] refererer til, hvilken fase i YBL 18 præciseringen eller tilføjelsen til forundersøgelserne skal indgå i.
- 5. kolonne [aktør] markerer, hvilke aktører forventes at skulle bistå med præciseringen eller tilføjelsen til forundersøgelserne. Entreprenør, ingeniør og arkitekt benævnes henholdsvis E, I og A.
- I 6. kolonne [successiv pris] kan aflæses en successiv pris for hver enkelt præcisering eller tilføjelse til forundersøgelserne i forbindelse med energirenoeringen af bevaringsværdige etageejendomme fra 1930-1974. Er der ikke angivet en pris i kolonnen, er det, fordi det vurderes, at der blot er tale om en præcisering af forundersøgelser, som allerede er omfattet af YBL 18, og at præciseringen derfor ikke vil være omfattet af en merpris i forhold til den normale honorarsætning.



7.2. Opsamlingstabel over bygherrespecifikke præciseringer og tilføjelser til YBL18

Tabellen tager udgangspunkt i et renoveringsprojekt med håndværkerudgifter på 40-50 mio. kr. ekskl. moms i en bevaringsværdig etageejendom med 50 boliger.

Uddybning	Forundersøgelse	Mål	Fase	Aktør	Successiv pris
4.2.A.	Bygningsarkæologiske studier	få de oprindelige intentioner og sammenhænge frem og få klarlagt ombygningsarbejder gennem tiden. En stor del af denne opgave er at opklare, hvad der egentlig er blevet udført.	1.2.7	A/I	100-200.000 kr.
4.2.B.	Registrering, opmåling og tilstandsvurdering	afklare, om der er plads til de tiltænkte tiltag, samt vurdere bygningens tilstand og identificere udtjente bygningsdele.	1.2.7	A/I	-
4.2.C.	Fastlæggelse af bevaringsværdier	vurdere råderummet for ændringer/tiltag og CO ₂ -besparelser.	1.2.7	A/(I)	40-60.000 kr.
5.2.	Indsamling af eksisterende dokumentationsmateriale, herunder tegninger og beregninger	opnå indsigt i bygningskonstruktioner og installationer i relation til varmetab og mulige infiltrationstab.	1.1.7	I/[A]	-
5.2.	Indsamling af forbrugsdata for el, vand og varmeforbrug	opnå indsigt i ejendommens overordnede energiforbrug.	1.1.7	I	-
5.3.A.	Registrering/opmåling	opnå indsigt i, om bygningsdele er udført som projekteret. Særlig opmærksomhed rettes mod inhomogene konstruktioner og klassiske sammenbygninger, der medfører kuldebroer.	1.1.7	I/[A]	-
5.3.B.	Blowerdoor-test kombineret med termografering	opnå kendskab til bygningens reale infiltrationstab og kuldebroer.	1.1.7	E/(I)	25-35.000 kr.
5.3.C.	Kontrolmåling af hovedluftmængde på ventilation og evt. beregning af ventilationsvarmevekslers virkningsgrad	opnå kendskab til varmetab vedrørende ventilation.	1.1.7	I	7-10.000 kr.
5.3.D.	Måling af faktisk forbrug	opnå konkret viden om henholdsvis vand og varmeforbrug.	1.1.7	E/I	15-20.000 kr.
5.3.F.	Brugerundersøgelse	opnå viden om den enkelte beboers oplevelse af indeklimaet, særligt problemer med træk/kulde i fyringssæsonen og/eller problemer med høje rumtemperaturer i overgangsperioder/sommerperioden.	1.1.7	I/[A]	10-15.000 kr.
5.4.	Verificering af eksisterende energimærke	kunne opstille en retvisende baseline for ejendommens erkendte forbrug.	1.1.7	I	25-35.000 kr.
5.5.	Beregning af fremtidige mulige energibesparende tiltag	opnå eksakt viden om et eller flere mulige tiltags energibesparende effekt.	9.26		
5.7.	Efterundersøgelser, målinger	eftervise den faktiske CO ₂ -besparelse.	1-års eftersyn	I	15-20.000 kr.

Tabel 8. Opsamlingstabel over bygherrespecifikke præciseringer og tilføjelser til YBL18.



7.3. Konklusion

Eksisterende forskning og litteratur peger på, at der er betydelige forskelle mellem de beregnede CO₂-besparelser og de reelle CO₂-besparelser, som måles efter en energirenovering.

Rapporten har kigget nærmere på denne tendens gennem en række interviewskemaer, besvaret af aktører i byggebranchen inden for bygherre- og rådgiverfeltet. Også de peger samstemmigt på, at der er betydelige forskelle. Der peges yderligere på, både i den eksisterende forskning og litteratur men også blandt de adspurgte aktører i denne rapport, at en stor del af denne forskel bundes i, at der sjældent tages udgangspunkt i data fra den konkrete bygning, men at der derimod tages udgangspunkt i nogle gennemsnitlige standardværdier, som ikke passer til den eksisterende kontekst. Søgtes forskellene mellem de beregnede og reelle CO₂-besparelser ikke mindsket, vil det betyde, at den danske bygningskulturs bidrag til den internationale dagsorden om at mindske CO₂-belastningen globalt vil blive mindre og mere uforudsigeligt.

En måde at opnå større nøjagtighed mellem de beregnede og de reelle CO₂-besparelser, som måles efter en energirenovering, er altså at forbedre og konkretisere de data, som CO₂-besparelserne vedrørende den enkelte bygning beregnes på baggrund af. I rapportens afsnit 4 og 5 beskrives og uddybes, hvilke forundersøgelser der skal foretages i forbindelse med energirenoveringer af bevaringsværdige etageejendomme i 1930-1974 for at sikre et retvisende datagrundlag til brug for de CO₂-besparende beregninger, så de forventede CO₂-besparelser kan forudses med større nøjagtighed.

En del af de forundersøgelser, som bør laves i forbindelse med indsamling af data om bygningen, er allerede nævnt i YBL 18. For en del af forundersøgelserne er det dog vurderet nødvendigt med en række præciseringer og tilføjelser, så bygherrer kan stille mere konkrete krav i de udbud, de stiller til rådgivere. De bygherrespecificerede præciseringer og tilføjelser er skrevet ind i YBL 18 i rapportens kapitel 6.

I ovenstående tabel 8 opsamles de forundersøgelser, som blev vurderet nødvendige for at indsamle data og skabe et mere retvisende datagrundlag.

Rapporten tager udgangspunkt i allerede kendt viden og metoder og er et praktisk bud på, hvordan man kan opstille en mere retvisende baseline af energiforbruget for en bevaringsværdig etageejendom opført mellem 1930-1974 og dermed mindske forskellen mellem det beregnede og det reelle energiforbrug efter en energirenovering. Validiteten af budet er ikke eftervist i denne rapport, men bygger på praktiske erfaringer gennem mange års arbejde inden for området.



