

# Afledte effekter ved energirenovering

Et litteraturstudie omkring værdien af afledte effekter  
i forbindelse med energirenovering af eksisterende bygninger



Ea Energianalyse

November 2019

Udarbejdet af:

Rune Rysbjerg Møller  
Kirsten Dyhr-Mikkelsen  
Ida Stokkebye Christiansen  
Anders Kofoed-Wiuff

Ea Energianalyse  
Gammeltorv 8, 6.tv  
1457 København K, Danmark  
E-mail: [info@eaea.dk](mailto:info@eaea.dk)  
Web: [www.eaea.dk](http://www.eaea.dk)

Felix Suerkempfer  
Johannes Thema

Wuppertal Institute  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal, Tyskland

## **Forord**

Litteraturstudiet er gennemført af Ea Energianalyse A/S og Wuppertal Institut i perioden oktober-november 2019. Opgaven udbudt af Energistyrelsen 29. august 2019 består i en kortlægning, vurdering og sammenfatning af resultater fra studier, som kan være relevante i en dansk sammenhæng ved formulering af en langsigtet strategi for politiske tiltag til promovering af energimæssig forbedring af den eksisterende bygningsmasse.

# Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>SAMMENFATNING .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>INDLEDNING .....</b>	<b>9</b>
2.1	METODISK TILGANG .....	9
<b>3</b>	<b>DANSKE BYGNINGERS ENERGIFORHOLD .....</b>	<b>12</b>
3.1	ENERGIFORBRUGET TIL BYGNINGSOPVARMNING.....	12
3.2	LOKALE EMISSIONER .....	15
3.3	BOLIGFORHOLD .....	16
3.4	BOLIGERNES ENERGIMÆSSIGE STAND .....	18
3.5	ENERGIFATTIGDOM .....	20
3.6	ANDRE BYGNINGER .....	24
3.7	POTENTIALER FOR ENERGIRENOVERING .....	28
<b>4</b>	<b>GENNEMGANG AF LITTERATUR.....</b>	<b>30</b>
4.1	LITTERATUROVERBLIK .....	30
4.2	FRA ENERGIRENOVERING TIL ØKONOMISK VÆRDISÆTNING .....	32
4.3	UDVALGTE RESULTATER FRA DE TVÆREUROPEISKE STUDIER.....	46
4.4	YDERLIGERE UDVALGTE RESULTATER .....	50
<b>5</b>	<b>VÆRDISÆTNING AF DE DANSKE AFLEDTE EFFEKTER MED UDGANGSPUNKT I COMBI.....</b>	<b>53</b>
5.1	UDVIKLINGSSCENARIER MOD 2030 .....	55
5.2	VINTERDØDELIGHED.....	57
5.3	ASTMA .....	62
5.4	PRODUKTIVITET .....	67
5.5	SAMMENFATNING AF COMBI-RESULTATER .....	69
5.6	EVALUERING AF COMBI-STUDIET .....	70
<b>6</b>	<b>FORBEDRINGSPLAN.....</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>REFERENCELISTE.....</b>	<b>79</b>
<b>8</b>	<b>LITTERATURLISTE .....</b>	<b>80</b>

BILAG A – Litteraturoversigt

BILAG B – Beskrivelser af litteratursøgningsmetode og nøglekilder

BILAG C – Multiple impacts of residential and tertiary renovation in Denmark –  
Data and methods used in the COMBI project (udarbejdet af Wupper-  
tal Institut)

# 1 Sammenfatning

Dette litteraturstudie har til formål at kortlægge værdien af afledte effekter i forbindelse med energirenovering af eksisterende bygninger. Kortlægningen omfatter en vurdering og sammenfatning af resultater fra studier, som kan være relevante i en dansk sammenhæng ved formulering af en langsigtet strategi for politiske tiltag til promovning af energimæssig forbedring af den eksisterende bygningsmasse.

## Metodisk tilgang

Arbejdet er afgrænset til de effekter, som påvirker brugerne af bygningen, herunder energirenoveringens betydning for indeklima, sundhed, arbejdsproduktivitet og indlæring, samt lokal luftforurening.

Studiet opererer med fire begreber: 1) selve energirenoveringen, fx et isoleringstiltag, 2) den direkte afledte effekt, fx mindre kondens og mugdannelse på vægge, 3) den indirekte afledte effekt, fx færre astmatilfælde, 4) økonomisk værdisætning, fx målt som værdien af færre sygedage relateret til astma.

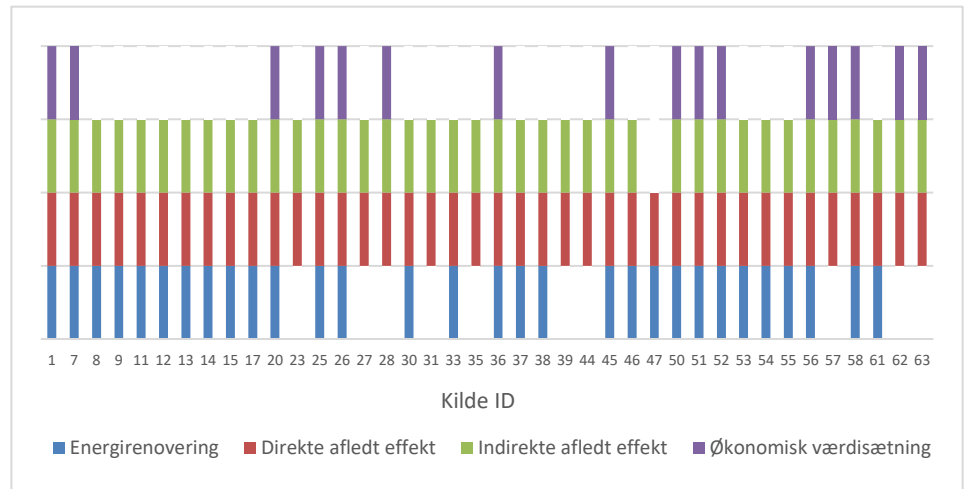


Figur 1: Fra energirenovering til økonomisk værdisætning. Forløbet skitserer årsagssammenhængen mellem de forskellige skridt i en energirenoveringsproces.

## Behandlede kilder

I alt 63 kilder er kortlagt, hvorefter nogle er udeladt fra en nærmere gennemgang grundet fx lav akademisk kvalitet, svag metode, ugenomsigtighed ift. antagelser etc. En grafisk illustration af, hvilke områder af årsagskæden den enkelte kilde behandler, er vist nedenfor. Et farvet felt betyder, at litteraturkilden beskæftiger sig med området. Energirenovering er angivet med blå, direkte afledt effekt med rød, indirekte afledt effekt med grøn og økonomisk værdisætning med lilla. For nærmere beskrivelse af de fire skridt se afsnit 4.2.

Af de 40 inkluderede kilder omhandler 17 specifikt danske forhold, 15 er bredere EU-studier, 4 kilder er svenske, 3 kilder omhandler USA, mens en enkelt kilde er fra Japan. Halvdelen af kilderne er baseret på meta-data, mens resten præsenterer nye data. Der er en overvægt af danske studier, som bruger ny data, og EU-studier, som er baseret på meta-data.



Figur 2: Grafisk illustration af, hvilke områder af årsagskæden de enkelte kilder behandler.

#### Datagrundlag og metoder

Hvad angår data og kilder, ser vi en forskel imellem de tre trin fra energieffektiviseringstiltag til direkte afledt effekt til indirekte afledt effekt og videre til økonomisk værdi. Dokumentationen af sammenhængen mellem energirenovering og direkte afledte effekter er typisk baseret på konkrete danske eller udenlandske cases. Udfordringen er her, hvordan den enkelte case skaleres op til at repræsentere en bredere population. Sammenhængen mellem de direkte effekter og de afledte effekter er oftest baseret på veldokumenteret statistisk materiale og tidsserier. Kilderne er ofte medicinske undersøgelser, som er peer-reviewed eller dataindsamlinger iværksat af nationale eller internationale statistikbureauer. Oversættelsen af de indirekte afledte effekter til økonomisk værdi for borger, arbejdstager eller samfund baseres på en række forskellige metoder – typisk findes der statistiske data, men til tider kun på nationalt aggregeret niveau. Nogle af værdisætningsmetoderne, fx anvendelsen af værdien af statistisk liv, er veletablerede og anvendes ikke bare inden for energisektoren.

#### Behov for bedre datagrundlag

Samlet set på tværs af tiltag og effekter er det primært det første led, og hvordan denne sammenhæng skaleres op fra case til en større population, der er svagest dokumenteret. En indsats for at synliggøre de afledte effekter mhp. at fremme energieffektiv renovering kunne derfor fokusere på at tilvejebringe et bedre datagrundlag for de væsentligste bygningssegmenter.

- I et repræsentativt udsnit af socioøkonomiske forhold for beboerne i danske boliger (såsom indtægt, alder, boligtype, rygning) eller særligt

segment (fx socialt sårbare) monitoreres indeklima for at kende de eksisterende bygningers udgangspunkt inden renovering. Herefter foretages efter-målinger, hvor potentielle ændringer kan observeres.

- Differencering mellem energirenoveringer og deres afledte effekter, så der tydeligt kan opstilles sammenhænge mellem specifikke tiltag og effekter. En dataindsamling fra bygninger, som kun får udført enten klimaskærmsforbedringer eller ventilationsforbedringer, suppleret med data fra bygninger som får udført begge tiltag, vil kunne bidrage til en mere konkret vurdering af kausaliteten mellem renoveringstiltag og afledte effekter.

Flere EU-studier har fokus på sammenhængen mellem energifattigdom og bygninger i særligt dårlig stand og relaterede sundhedseffekter. Størrelsen af de afledte effekter af energirenovering vil i meget høj grad afhænge af, i hvilket omfang der er energifattigdom i de enkelte medlemslande og hvor stor en andel af bygningerne, der er i særligt dårlig stand. En central kilde til at belyse dette er den såkaldte EU-SILC-undersøgelse. Den europæiske undersøgelse Statistics on Income and Living Conditions (EU-SILC) gennemføres årligt fra alle EU Medlemsstaterne samt Island, Norge, Schweiz og Tyrkiet og er den primære kilde til information om udviklingen i den europæiske befolknings indtægt, levevilkår og livskvalitet. EU-SILC-undersøgelsen leverer data om bl.a. respondenternes indkomst, oplevet fugt og betalingsproblemer (som kan kombineres med andre statistisk data), men data om sammenhængen til boligernes muligheder for energirenovering er begrænsede. Desuden er det uklart, om det primært er boligens energimæssige tilstand eller brugen af boligen og levestil i øvrigt, der fører til helbredsbelastende fugt, temperatur eller indendørs luft. Seneste data for Danmark fra 2018 og her er andelen af den danske befolkning med fugtproblemer i deres bolig opgjort til 16,4 %.

Mens sammenhængen mellem forbedret ventilation og indeklima-relateret produktivitet og sundhed er veldokumenteret, så er situationen mere kompleks, når det drejer sig om dokumentation af sammenhængen mellem godt indeklima og gennemgribende renovering, renovering af klimaskærm eller forbedring af belysning/dagslys alene. Mere energieffektiv belysning kan være svært at afgrænse fra andre former for forbedring af lysforhold. Og energieffektiv belysning er ikke per definition lig bedre belysning. Der findes til gengæld veldokumenteret kausal sammenhæng mellem forbedret ventilation og godt indeklima (luftkvalitet og temperatur). Etablering af bedre ventilation medfører dog ikke nødvendigvis en reduktion i bygningens energiforbrug. Et par af de

kortlagte kilder nævner, at det ved energirenoveringer af fx klimaskærm er vigtigt at sikre, at ventilationen fungerer godt i den nyrenoverede bygning for at undgå negativ effekt på indeklima og fugt.

Seneste større kilde

COMBI-studiet<sup>a</sup> er nok det mest omfattende studie gennemført inden for de seneste år på tværs af EU. Ambitionen har været at skabe et overblik over de væsentligste afledte effekter i 2030 i de 28 EU-medlemsstater baseret på en gennemgang af eksisterende litteratur (meta-data) og videreudvikling af metodikken til bestemmelse af afledte effekter. I alt 21 forskellige EE-tiltag til forbedring af bygninger, belysning, transport og industrielle processer er analyseret inden for husholdninger og erhverv. De behandlede afledte effekter omfatter luftforurening, ressourceforbrug, sundhed, makroøkonomiske effekter og forsyningsikkerhed.

Justering af COMBI-data

COMBI-studiet har som følge af sin præmis været bundet af at skulle finde en ensartet metode og data for alle 28 EU-medlemsstater. Det betyder, at de data der anvendes om Danmark samt nogle af antagelserne og data anvendt i scenariefremskrivning til 2030 i nogle tilfælde er forskellig fra de værdier, man ville anvende i et studie for Danmark alene.

Vi forventer, at COMBI-studiet pga. sit omfang vil blive refereret til i årene fremover i den europæiske debat omkring energirenovering. Derfor har vi fundet det relevant at gennemgå de anvendte data for Danmark for at vurdere, hvorved de adskiller sig fra de data, der er tilgængelige i dag. En gennemgang af regnemetoder og anvendte datakilder illustrerer derudover udfordringen i at bestemme og værdisætte indirekte afledte effekter af energirenoveringstiltag. Datagrundlaget for kausaliteten mellem tiltag og effekt er ofte begrænset, når man bevæger sig ud over case-specifikke eksempler. Derfor foretages estimater for at kompensere for manglen på data. Når der samtidig skal dannes et overblik på EU-niveau, der omfatter alle 28 medlemsstater, begrænses mængden af til rådighed værende data og dermed nogle af nuancerne, da der ikke findes samme statistiske materiale for alle 28. Vi vurderer, at COMBI-studiet er behæftet med betydelige usikkerheder.

---

<sup>a</sup> COMBI-studiet er et projekt delfinansieret af EU Horizon2020. Det er gennemført i perioden marts 2015 til februar 2018 af Wuppertal Institut (DE), Advanced Building & Urban Design (HU), Copenhagen Economics, Antwerp Universitet (NL) og Manchester Universitet (UK)



## 2 Indledning

### Baggrund

Energieffektiviseringsprojekter har ofte afledte effekter, som typisk ikke indregnes eksplicit i projektøkonomien. IEA har med udgivelsen *“Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency”* fra 2014 og en række workshops forsøgt at skabe opmærksomhed omkring afledte effekter for derved at foranledige en større interesse for energieffektivisering og derigennem fx at tiltrække finansiering fra andre kilder. Kan værdien af afledte effekter kvantificeres, kan det indregnes i projekternes cost-benefit-analyse.

Der er især det sidste årti foretaget en række studier af afledte effekter, men det er stadig en udfordring at kortlægge og værdisætte disse effekter, da robuste værdier kræver før og efter målinger, gerne i længere tidsserier, og med sammenligningsgrupper.

I nyere tid har fx EU-Horizon2020-projektet *“Calculating and Operationalising the Multiple Benefits of Energy Efficiency in Europe Segmenting”*, også kaldet COMBI-projektet, forsøgt at skabe et overblik over eksisterende kortlægninger af afledte effekter og deres værdier. COMBI-projektet, som blev afsluttet i februar 2018, er meget omfattende og dækker alle 28 EU-medlemsstater. Det vil derfor få særlig opmærksomhed i denne gennemgang. Særlige tekstbokse, som beskriver antagelser og fremgangsmetode for COMBI-studiet kan findes gennem rapporten, som hjælper læseren med at forstå og forholde sig til studiets metode og resultater. Derudover er kapitel 5 en nøje gennemgang af COMBI-projektets metodik, hvor beregningsgrundlaget går efter og suppleres med aktuelle danske data.

### 2.1 Metodisk tilgang

#### Formål

Litteraturstudiet har til formål at kortlægge værdien af afledte effekter i forbindelse med energirenovering af den eksisterende bygningsmasse. Særligt er der fokus på de effekter, som påvirker brugerne af bygningen, herunder energirenoveringens betydning for indeklima, sundhed, arbejdsproduktivet, indlæring, og lokal luftforurening.

#### Afgrænsning

Termen **afledte effekter** omfatter således i denne opgave ikke energibesparelsen i sig selv eller det resulterende bidrag til energisystemet ej heller til det globale klima. Brugere af bygninger omfatter mennesker, der bor eller opholder sig i bygningerne, der energirenoveres. Dog er lokal luftforurening også inddraget i undersøgelsen, og dette berører ikke blot bygningernes brugere, men også lokalbefolkningen i området, hvor der energirenoveres.

Afledte effekter er i denne opgave videre inddelt i direkte og indirekte afledte effekter. De **direkte afledte effekter** kan kvantificeres umiddelbart i forlængelse af energirenoveringen, fx forbedring af luftcirkulation eller en reduktion af fugtdannelse. De **indirekte afledte effekter** kan betegnes som de langvarige konsekvenser af de direkte afledte effekter, fx forbedret sundhed, bedre indlæring og øget produktivitet. Makroøkonomiske effekter, fx forbedret købekraft, falder ikke indenfor denne undersøgelses rammer og er derfor udeladt.

**Energirenovering af bygninger** er begrænset til projekter vedrørende energimæssige forbedringer af klimaskærm, ventilation og lysforhold. Omlægning af varmekilde indgår dog også i studiet. Forbedringer omfatter energieffektivisering både i form af bedre udstyr, vedligeholdelse og driftsoptimering, mens omlægning af opvarmning dækker over et skift fra en energiart til en anden fx et skift fra olie til varmepumpe.

Termen **energirenovering** er ikke fast defineret. I sin snævre forståelse dækker en energirenovering over renoveringstiltag, som udelukkende foretages for at optimere en bygnings energiforbrug, fx efterisolering af facade og tag. I EU-sammenhæng anvendes dog nogle gange en bredere forståelse af termen. Europa Kommissionens "European Energy Efficiency Platform (E3P)" har behandlet begrebet "Energy renovation" i en artikel, hvor det fastslås, at energirenovering er en *paraply-term*, som ikke har en fast definition på tværs af EU. Ifølge E3P kan energirenoveringer omfatte både bygningens klimaskærm (isolering af facade og lofter, vinduesudskiftninger, lukning af kuldebroer, anvendelse af naturlig ventilation mm.) og bygningens tekniske systemer (udskiftning af varmekilde, mekaniske ventilationsystemer, aircondition, belysning, luftrensningssystemer mm).

I denne opgave henviser energirenovering både til specifikke tiltag, som udføres for at optimere bygningens energiforbrug, samt tiltag, som ofte udføres i forlængelse af energioptimeringstiltaget. Et nærliggende eksempel på dette er installation af automatisk ventilation i forbindelse med udskiftning af varmekilde eller forbedringer af klimaskærmen.

Kilde: <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/energy-renovation>

De undersøgte **segmenter** er boliger, kontorer, skoler, hospitaler og offentlige bygninger (kirker, rådhus, kontorer o. lign.). Kun eksisterende bygningsmasse er undersøgt, hvorfor fx fremtidige nulenergi huse ikke er medtaget.

Fremgangsmåde

Litteraturstudiet har bestået af følgende arbejdsstrin:

- **Fastlæggelse** af søgefeltet og kriterier for en systematisk litteratursøgning samt format for beskrivelse af de enkelte kilder. Datagrundlag og antagelser for hver kilde fremgår af beskrivelsen ligesom en vurdering af anvendeligheden for videre brug. De ideelle kilder indeholder dansk

data, gerne af nyere dato. Er data ikke danske, er relevansen af kilden vurderet ud fra datagrundlagets sammenlignelighed med danske forhold, validiteten af de anvendte metoder og størrelsen af datagrundlaget.

- **Gennemgang** af litteratur og blotlæggelse af datagrundlaget bag værdierne, herunder en grundig/kritisk vurdering af muligheden for generalisering til et helt segment eller overførsel af udenlandske data til en dansk kontekst. Der er taget kontakt til forfatterne bag, i det omfang den nødvendige information ikke indgår i selve rapporterne. En række kilder vurderet som specielt relevante, enten grundet et stort datagrundlag eller en stærk metodisk tilgang, er nærmere undersøgt for at fastlægge sammenhængen mellem metode, data, antagelser og resultater.
- **Vurdering** af danske værdier for afledte effekter i forbindelse med energirenovering. Fremgangsmåden er baseret på COMBI-studiets metode. Der er foretaget en opdatering af det danske datagrundlag, som danner grundlag for værdisætning af vinterdødelighed, astma, aktive dage og produktivitet. Det er ligeledes vurderet i hvilket omfang antagelserne anvendt i COMBI-studiet er gældende i dansk kontekst og hvilke følsomheder, der har indflydelse på beregninger og resultater.
- **Identifikation** af hvilke kritiske afledte effekter, der mangler danske data for og et forslag til egnet metode til at værdisætte disse og hvordan data bedst tilvejebringes. Med andre ord en forbedringsplan for, hvordan datahuller fyldes, og videre arbejde kan struktureres.

### 3 Danske bygningers energiforhold

Energiforbruget i bygninger står for en væsentlig andel af Danmarks samlede energiforbrug. I 2017 udgjorde energiforbruget til opvarmning således ca. 219 PJ ud af et samlet endelig energiforbrug, inkl. transportsektoren, på 637 PJ.

I dette kapitel giver vi en kort gennemgang af energimæssige forhold for den danske bygningsmasse. Vi undersøger bl.a., hvordan energiforbruget til opvarmning har udviklet sig over tid, hvilken energimæssig stand danske bygninger er i, og hvordan bygningsmassen fordeler sig på bygningstyper og ejerforhold. Desuden redegør vi kort for analyser, som har undersøgt det samfundsøkonomiske potentiale for energirenoveringer.

Hensigten er at skabe et overblik over særlige danske forhold og hvad der kendetegner den eksisterende danske bygningsmasse for senere/bedre at kunne vurdere, hvilke afledte effekter og sammenhænge der kan overføres fra udenlandske studier til en dansk kontekst. Der indledes med energiforbrug og emissioner, for derefter at beskrive boliger og energifattigdom, andre bygninger og til sidst potentialer for energirenovering.

#### 3.1 Energiforbruget til bygningsopvarmning

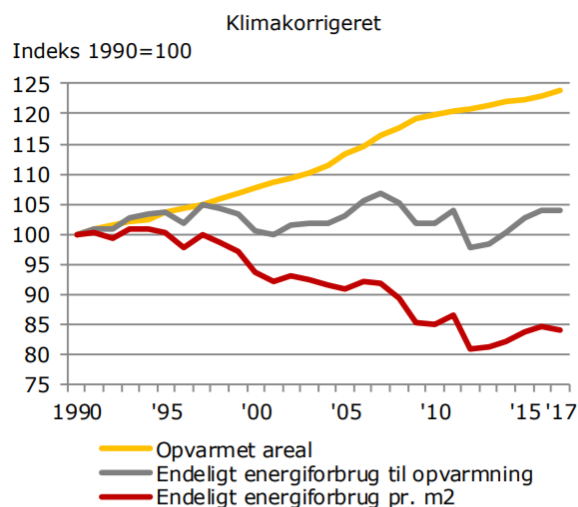
Rådet for Grøn Omstilling har for nylig på baggrund af data fra Energistyrelsens Energistatistik foretaget nedenstående opgørelse af samlede energiforbrug til opvarmning af den danske bygningsmasse for perioden 2000 til 2017. Opgørelsen er klimakorrigeret.

Endeligt energiforbrug i bygninger (PJ)	2000	2005	2010	2015	2017
Opvarmning og varmt vand (alle sektorer)	211	219	214	215	219

Tabel 1: Endeligt energiforbrug i bygninger fra 2000-2017. Kilde: Energistyrelsen og Det Økologiske Råd.

Det fremgår, at der har været en mindre stigning i energiforbruget fra 2000 til 2005, hvorefter det har været omtrent konstant.

Størstedelen af energiforbruget til bygningsopvarmning ligger i husholdningerne, godt 160 PJ i 2017, hvor energistatistikken har mere detaljerede opgørelser. Energiforbruget til opvarmning i husholdningerne har været stort set konstant siden 1990, hvilket skal ses i sammenhæng med, at det opvarmede areal over perioden er vokset med næsten 24%. Energiforbruget per m<sup>2</sup> er således reduceret med ca. 16%.



Figur 3: Energiforbruget opvarmning af boliger. Kilde: Energistyrelsen.

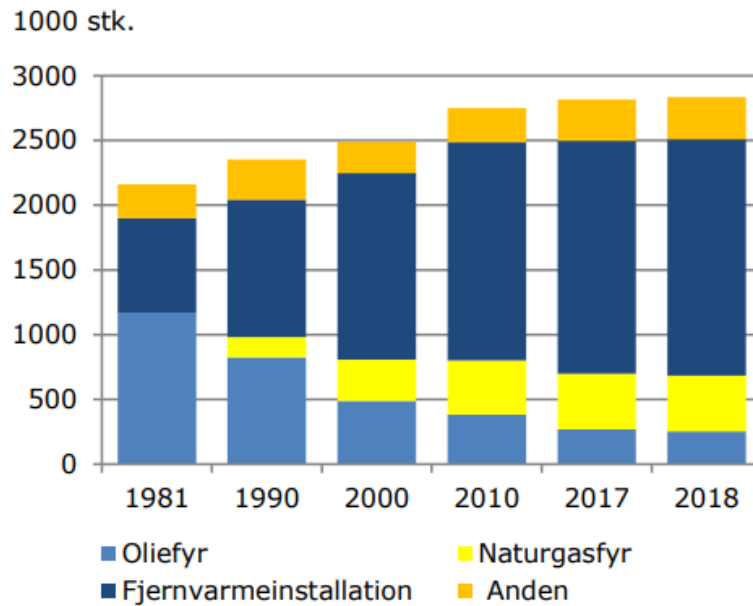
Ifølge Energistyrelsens Energistatistik 2017 kan faldet i det endelige energiforbrug til opvarmning forklares af flere forhold:

- Klimaskærmsforbedringer af ældre boliger.
- Udskiftning af gamle oliefyr med mere effektive naturgasfyr og fjernvarmeinstallationer.
- At krav til nye boliger i henhold til bygningsreglementet medfører, at de har et lavere energiforbrug pr. m<sup>2</sup> end eksisterende boliger.

I den modsatte retning tæller, at der over perioden har været en stigning i anvendelsen af biomasse, som typisk anvendes i mindre effektive opvarmningsenheder. Energistyrelsen vurderer, at nettovarmeforbruget i eksisterende bygninger (opført før år 2000) er faldet med ca. 0,25% årligt siden år 2000 (*Reduktion af varmeforbrug i eksisterende boliger*, Energistyrelsen 2018, Notits).

#### Varmeinstallationer

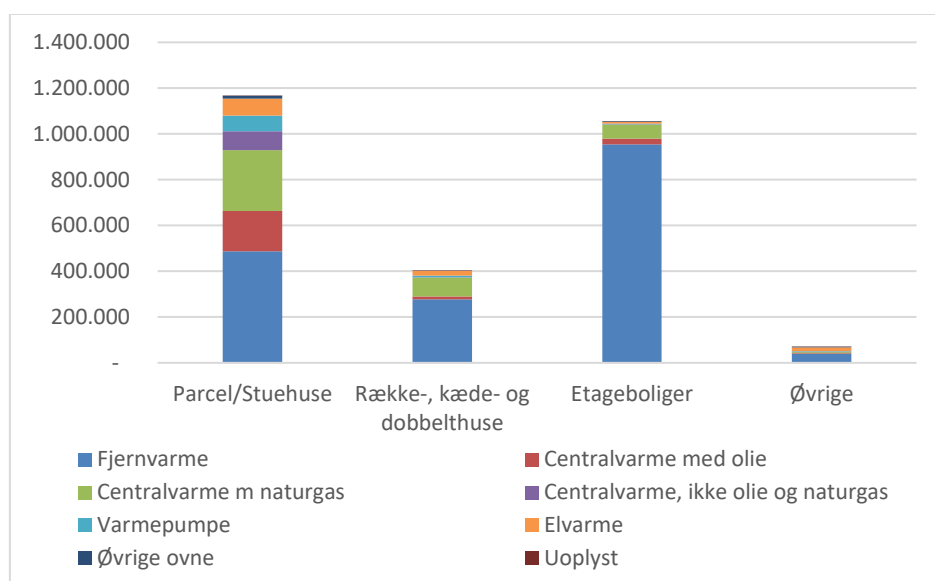
Over de seneste årtier er der sket en kraftig stigning i udbredelsen af fjernvarmeinstallationer, således at ca. 64% af danske boliger i dag forsynes med fjernvarme. Målt på energiforbrug udgør fjernvarme dog en mindre andel, bl.a. fordi fjernvarme har særligt stor udbredelse i lejligheder, som typisk har et mindre opvarmningsbehov end fritstående huse.



Figur 4: Varmeinstallationer i danske boliger. Kilde: Energistyrelsen, Energistatistik 2018.

Opvarmningsform for forskellige boligtyper

Kigger man nærmere på opvarmningsformen inddelt efter type af bolig, ses, at langt størstedelen af etageboliger bliver opvarmet med fjernvarme. Ligeledes er fjernvarme den mest brugte opvarmningsform i række-, kæde- og dobbelthuse. For parcel/stuehuse er opvarmningsformen mere varierende; en stor andel udgøres som for de andre boligtyper af fjernvarme, dog er centralvarmesystemer, hovedsageligt med naturgas og olie, lige så udbredte. Varmepumper, elvarme og øvrige ovne (som tilsammen udgør 9% af den samlede boligmasses opvarmningsform) bliver også næsten udelukkende brugt i parcel/stuehuse.



Figur 5: Antallet af danske boliger per 1. januar 2019 inddelt efter type og primær opvarmningsform. Kilde: Danmarks Statistik (BOL105).

### 3.2 Lokale emissioner

Valget af opvarmningsform kan have stor betydning for den lokale forurening bl.a. i form af partikeludledning. Derudover kan visse opvarmningsformer have betydning for lydniveau, fx kan varmepumper bidrage til støjforurening.

I Tabel 2 ses de specifikke data for bestanden af primære varme anlæg efter type og disse typers gennemsnitlige PM<sub>2.5</sub> udledning, hvilket er ultrafine partikler med en diameter på mindre end 2,5 mikrometer. Det skal anføres, at udledninger fra fjernvarme- og elproduktion som hovedregel ikke udledes i nærområdet omkring bygningen.

Primær opvarmning	Boliger	PM <sub>2.5</sub> udledning (g/GJ)
Fjernvarme	1.546.350	1,3-1,5 <sup>b</sup>
Naturgasfyr	408.846	0,05
El (direkte)	148.256	1,5 <sup>1</sup>
El (varmepumpe)	121.753	0,5-1 <sup>1</sup>
Oliefyr	113.850	5,5
Træpillefyr/træpilleovn/halmfyr/flisfyr	128.956	29
Brændeovn/pejseindsats	56.356	155-930 <sup>c</sup>
Brændekedel	30.617	206-413 <sup>d</sup>
Masseovn	2.657	N/A
Andet	12.499	N/A
<b>TOTAL</b>	<b>2.570.139</b>	-

Tabel 2: Bestanden af primære varmeanlæg i boliger i Danmark og i regionerne efter type samt tilhørende PM<sub>2.5</sub> udledning. Kilde: Ea Energianalyse og Det Økologiske Råd.

## Forurening

Disse ultrafine partikler er karakteriseret som særligt sundhedsskadelige i forhold til andre emissionspartikler grundet deres størrelse, hvilket gør, at de lettere kan komme ned i lungerne. Indeluft indeholdende af store mængder PM<sub>2.5</sub> partikler er derfor skadeligt for helbredet.

Naturgasfyr er den gennemsnitligt mindst PM<sub>2.5</sub> forurenende type med en udledning på 0,05 g/GJ, efterfulgt af varmepumper, direkte el og fjernvarme på 0,5-1,5 g/GJ. Brændeovne og kedler har en signifikant højere PM<sub>2.5</sub> udledning på mellem 155 til 930 g/GJ alt efter installationsår. Fordelingen af primære opvarmingskilder per type bolig ses i Figur 5.

### 3.3 Boligforhold

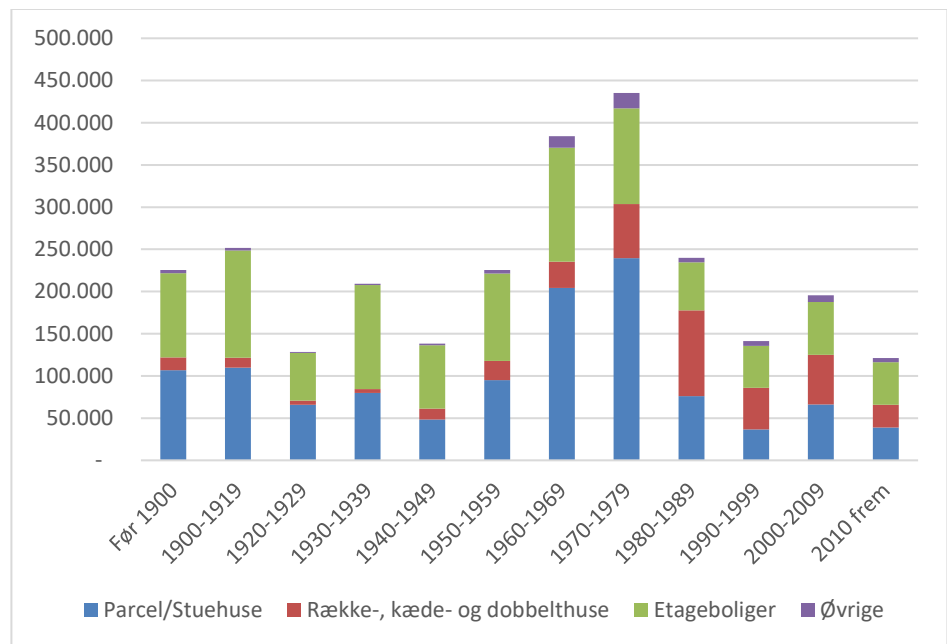
Danske boligforhold er kendetegnet ved en stor mængde enfamiliehuse samt en stor andel boliger bygget før 1980. Per 1. januar 2019 var der i Danmark i alt lige under 2,7 mio. boliger i Danmark (DST, 2019) Det gennemsnitlige antal personer i en bolig er ifølge Danmarks Statistik reduceret fra 2,7 i 1970 til 2,1 i 2018 (Ifølge Eurostat lå gennemsnittet for Danmark på 2,0 og EU28 gennemsnittet på 2,3 i 2018).

<sup>b</sup> Dækker over emissioner udledt fra fjernvarmeværker eller kraftværker.

<sup>c</sup> Dette tal varierer afhængigt af hvor gammel brændeovnen er, hvor brændeovne fra før 1990 er lig 930 g/GJ og brændeovne fra efter 2015 er lig 155 g/GJ.

<sup>d</sup> Dette tal varierer om brændekedlen er installeret med en akkumulator tank. 413 g/GJ er uden tank og 206 g/GJ er med.

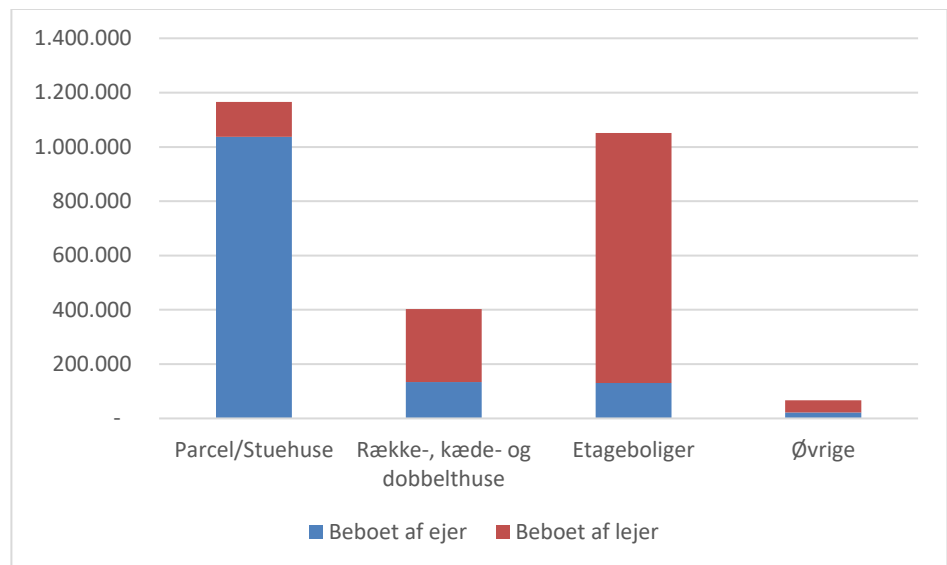




Figur 6: Antallet af danske boliger per 1. januar 2019 inddelt efter type og opførelsesår. Øvrige boliger dækker over kollegier, døgninstitutioner og fritidshuse brugt som helårsbolig. Kun bygninger opvarmet til helårsbrug. Kilde: Danmarks Statistik (BOL102).

#### Boligalder og -type

Mere end halvdelen af de nuværende boliger i Danmark er opført før 1970, mens ca. 74% er opført før 1980. Den danske boligmasse består hovedsageligt af parcel/stuehuse (størstedelen opført i starten af 1900-tallet og fra start 60'erne til slut 70'erne), etageboliger (helt tilbage fra før 1900-tallet og frem til 80'erne) og række-, kæde- og dobbelthuse (som hovedsageligt er opført fra 60'erne til dag). Øvrige boligformer i Danmark er kollegier, døgninstitutioner og fritidshuse brugt som helårsbolig. De øvrige boligformer udgør kun omkring 2,5% af den samlede boligmasse.



Figur 7: Antallet af danske boliger per 1. januar 2019 inddelt efter type og boligforhold. Kilde: Danmarks Statistik (BOL101).

#### Ubeboede boliger

I de senere år er der sket en kraftig befolkningstilvækst i de større byområder, primært København og Aarhus, samtidig med at befolkningsantallet i landdistrikterne går tilbage. Udviklingen har medført, at en del boliger står tomme i kommunerne udenfor de største byområder. Størstedelen af de tomme boliger er parcel/stuehuse. Hvis man betragter hele landet, står lige under 6% af alle boliger tomme. (DSD, 2016) (DST, 2019).

#### Beboelsesareal

Den største andel af danske boliger er mellem 75 og 99 m<sup>2</sup>. Små boliger på under 74 m<sup>2</sup> udgøres hovedsagligt af etageboliger, mens størstedelen af store boliger over 100 m<sup>2</sup> udgøres af parcel-/stuehuse.

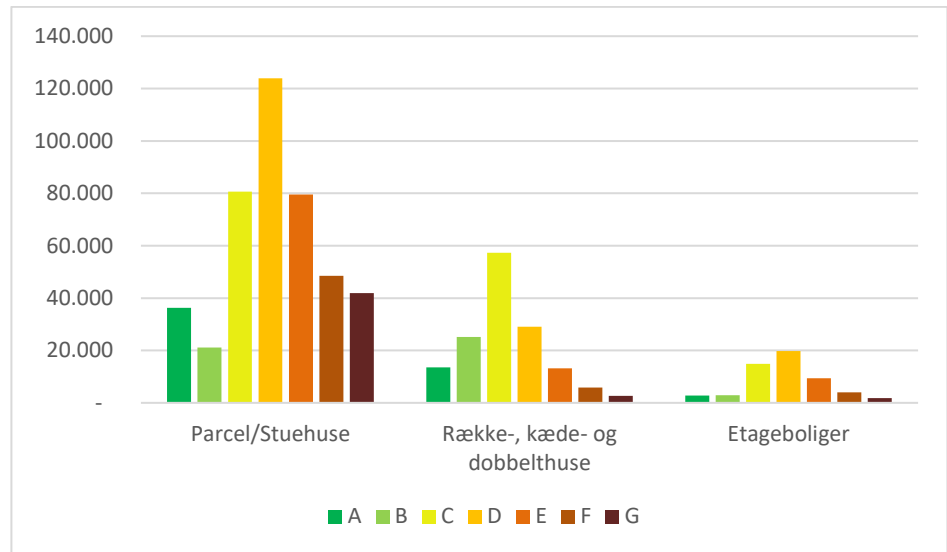
Der bliver mere og mere plads i de danske boliger. Ifølge Danmarks Statistik er det gennemsnitlige boligareal pr. person i beboede boliger steget fra 43 m<sup>2</sup> i 1980 til 52 m<sup>2</sup> i 2018. En vigtig årsag er, at flere bor alene. En anden årsag er, at de danske boliger er blevet større. Det gennemsnitlige areal pr. bolig er steget fra 106 m<sup>2</sup> i 1981 til 112 m<sup>2</sup> i 2018 (DST, 2019). Det stigende beboelsesareal medfører et højere energiforbrug til opvarmning pr. person samt en øget indendørs luftmængde per bolig. Den øgede luftmængde kan have positiv indflydelse på indeklima, da udåndede mængder CO<sub>2</sub> fra boligens beboere fortyndes af den større mængde luft.

### 3.4 Boligernes energimæssige stand

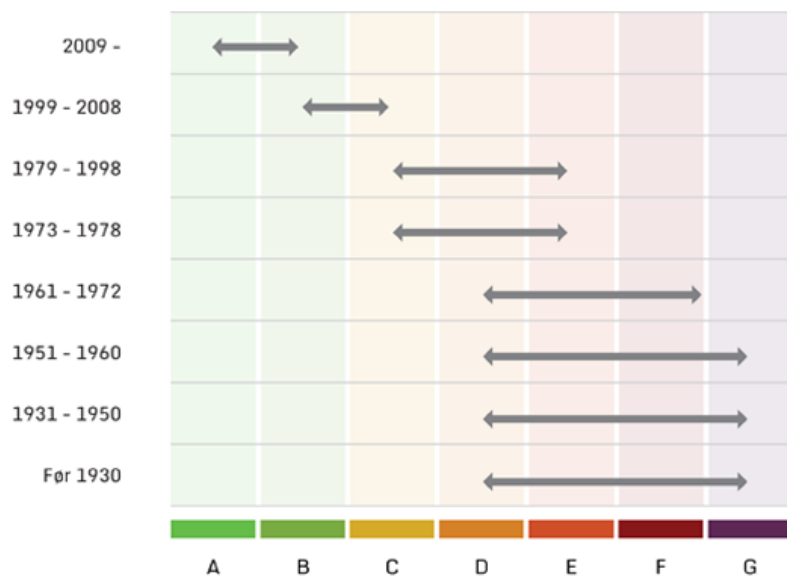
Siden 2006 har der været krav om, at boliger skal energimærkes i forbindelse med salg. Energimærkerne udgør en vigtig kilde til at forstå de danske bygningers energimæssige stand.

Energimærkning

I 2018 var knapt 635.000 af de i alt 2.700.000 danske boliger energimærkede (en stigning på 20% fra 2016 (Dansk Byggeri, 2019)). 51% af de energimærkede boliger har energimærke C eller D. 33% af boligerne har energimærke E eller dårligere, mens de resterende 16% har energimærke A eller B. Andelen af parcel/stuehuse med energimærke E eller dårligere er væsentligt højere end det er tilfældet for række-, kæde- og dobbelthuse og etageboliger.

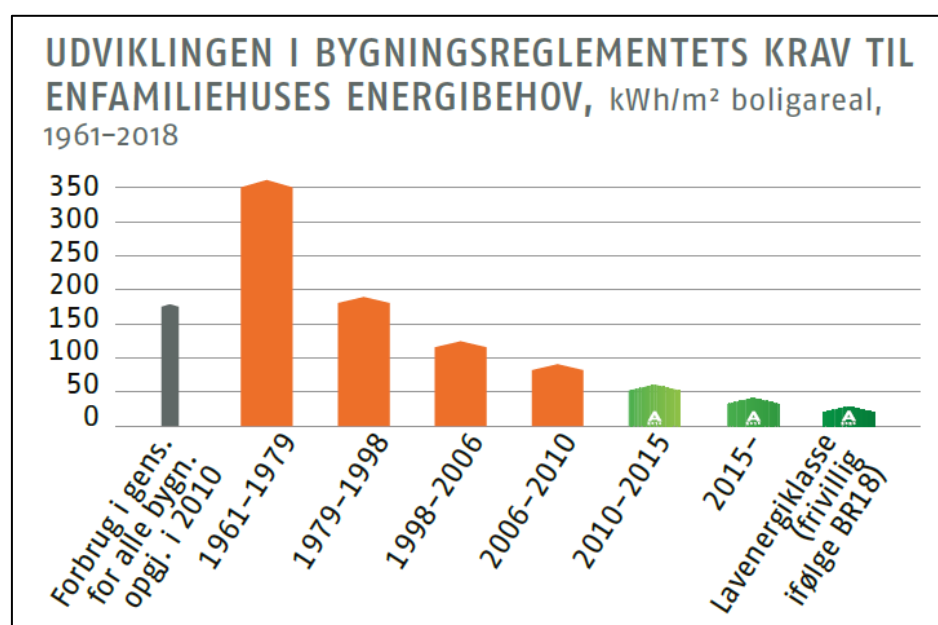


Figur 8: Antal boliger inddelt efter energimærke og type. Kilde: Energistyrelsen.



Figur 9: Statistisk fordeling af energimærker ud fra opførelsesår. Figur fra Energistyrelsen.

Der er sammenhæng mellem opførelsesåret og boligens energimærke. Jo ældre boligen er, jo dårligere er energimærket typisk. Jf. Figur 6 blev størstedelen af parcel-/stuehuse opført inden 1980, hvilket forklarer denne boligtypes dårlige energimærkning. Figur 10 viser udviklingen i bygningsreglementets energikrav, som første gang blev introduceret i 1961. Frem mod i dag er energikravet blevet strammere og strammere i takt med nye bygningsreglementer. Udover kravene til opvarmning indeholder de nyere bygningsreglementer også krav til andre faktorer, som påvirker bygningers indeklima. Eksempelvis blev der i et 2006 tillæg til bygningsreglementet 1995 (Erhvervs- og etagebyggeri) og bygningsreglementet af 1998 (Småhuse) introduceret krav om ventilation, køling og belysning etc.



Figur 10: Data er baseret på et 140 m<sup>2</sup> enfamiliehus. Kilde: Dansk Byggeri og Energistyrelsen.

### 3.5 Energifattigdom

De afledte effekter af energirenoveringer vil ofte have særligt høj værdi i bygninger, hvor beboerne ikke har råd til tilstrækkelig opvarmning. Har beboerne ikke råd til tilstrækkelig opvarmning, kategoriseres de som værende energifattige. Disse mennesker er mere udsatte for negative sundhedskonsekvenser grundet manglende opvarmning, både på grund af kuldepåvirkningen, men også fordi utilstrækkelig opvarmning øger sandsynligheden for kondensdannelse og deraf følgende mugdannelse.

*EU Quality of Life*<sup>e</sup> (QoL) er en Eurostat publikation og har til formål at komplettere de gængse statistikker bl.a. til at følge udviklingen i bruttonationalproduktet. European Quality of Life Survey (QoLS) gennemføres hvert fjerde år og er baseret på data fra flere kilder fra European Statistical System (ESS), bl.a.:

- EU-SILC (Statistics on Income and Living Conditions)
- LFS (Labour Force Survey)
- EHIS (European Health Interview Survey)

Data til den europæiske Statistics on Income and Living Conditions (EU-SILC) indsamles årligt fra Medlemsstaterne og er den primære kilde til information om udviklingen i den europæiske befolknings indtægt, levevilkår og livskvalitet. Data indsamles årligt fra Medlemsstaterne samt Island, Norge, Schweiz og Tyrkiet. Datasættet indeholder to typer af datasæt:

- Tværsnitsdata som sammenligner indkomst, fattigdom, social udstødelse og andre levevilkår på tværs af populationen ("cross-sectional data"), og
- Tidsserier, som følger ændringer på individuelt niveau over tid, observeret periodisk over en fireårsperiode ("longitudinal data").

Dataene indsamles ikke vha. et fælles europæisk survey men i stedet af hver medlemsstat ude fra harmoniserede indikatorer og procedurer.

For Danmarks vedkommende udtrækkes stikprøven fra folkeregistret. De husholdninger, som indgår i undersøgelsen, er en repræsentativ gruppe af private husholdninger eksklusive fælleshusholdninger og institutioner. Stikprøven (simpel tilfældig stikprøve uden stratificering) består af personer på 16 år eller derover. Antallet af husholdninger i stikprøven udgør 4.250 og 3.250 for hhv. cross-sectional og longitudinal survey, mens antallet af personer udgør hhv. 7.250 og 5.500. Dataindsamlingen foregår primært ved computerassisteret personligt interview. Alle husholdningen medlemmer bliver undersøgt, men kun de, der er 16 år eller mere, bliver interviewet.

Der indsamles oplysninger om materielle levevilkår, beskæftigelse ("productive or main activity"), sundhed, uddannelse, fritid og social interaktion, økonomisk og fysisk sikkerhed, medbestemmelse og basale rettigheder, natur og omgivelser, samt generel tilfredshed. Spørgsmål af særlig relevans for det igangværende litteraturstudie er:

---

<sup>e</sup> Kilde: <https://www.eurofound.europa.eu/surveys/european-quality-of-life-surveys>

- Materielle afsavn:
  - L1-Arrears on mortgage or rent payments (basic variable HS010/HS011), utility bills (basic variable HS020/HS021), hire purchase instalments or other loan payments (basic variable HS030/HS031)
  - L9-Ability of the household to pay for keeping its home adequately warm (basic variable HH050)
- Alvorlige boligafsvn (“Severe housing deprivation”, (SEV\_HH\_DEP)):
 

Personer som bor i en overfyldt bolig og samtidig er udsat for:

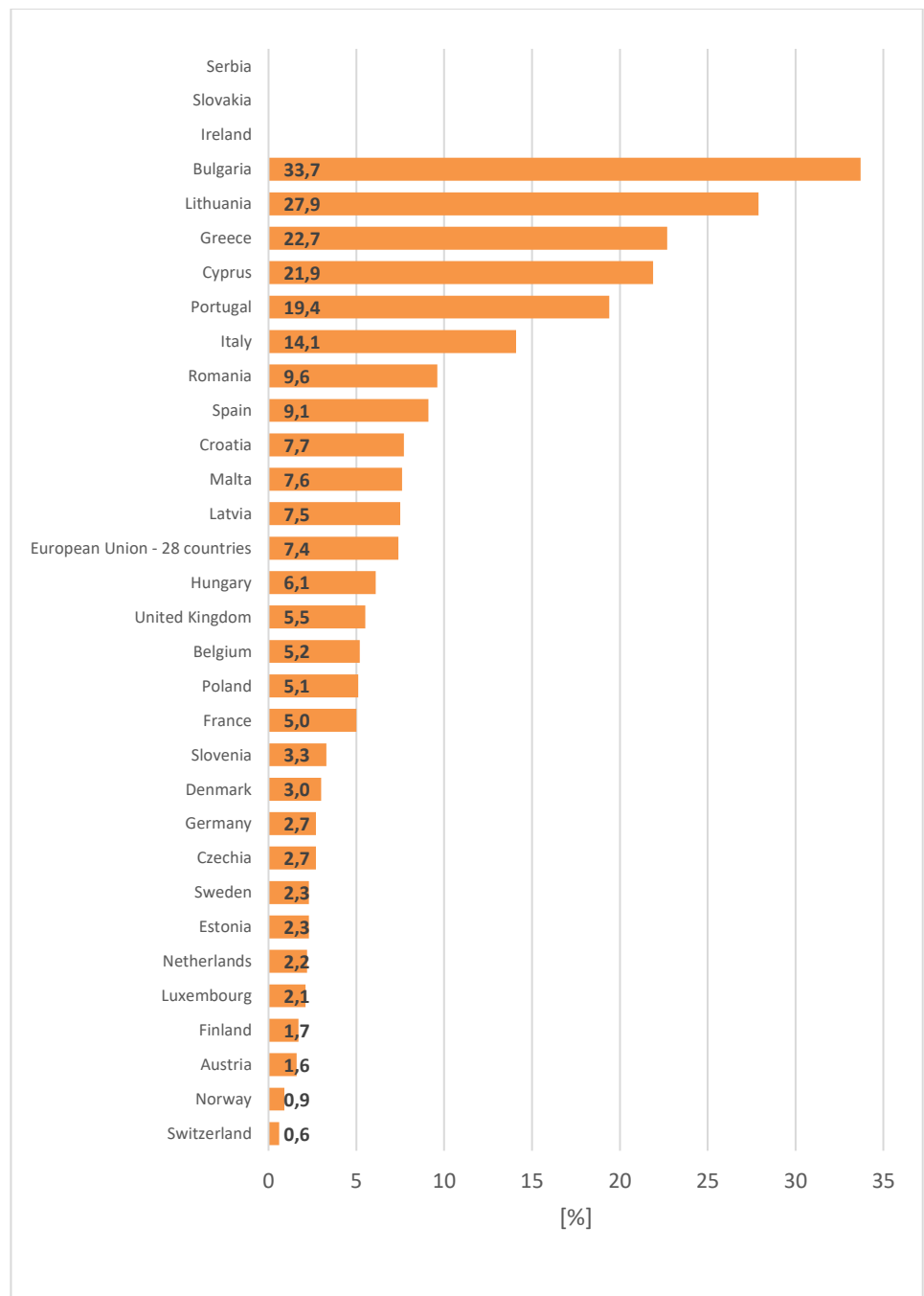
  - Leaking roof, damp walls/floors/foundation, or rot in window frames or floor (HH040)
  - Dwelling too dark (HS160).

Seneste QoL-rapport er fra 2016, mens Danmarks Statistik har publiceret SILC data for 2018.

#### Energifattigdom i Europa

Materielle afsavn kan indikere den økonomiske belastning, defineret som en manglende evne til at skaffe sig de goder, som af de fleste mennesker betragtes som ønskelige eller endda nødvendige for at leve et tilfredsstillende liv. Dette omfatter bl.a. at ikke have råd til: betaling af husleje eller renter og afdrag på gæld i boligen, regninger vedr. el, varme, vand eller gas eller afdrag på forbrugslån eller anden gæld (undtagen boliggæld); en uges årlig ferie; et proteinrigt måltid hver anden dag; uventede økonomiske udgifter; telefon; farvetv; vaskemaskine; og bil. Alvorlig materiel fattigdom defineres som andelen af befolkningen, der ikke har råd til mindst fire af de ovennævnte poster.

På Figur 11 ses andelen af energifattige i EU28-landene. I Danmark svarer 3% af de adspurgte, at de ikke har råd til at varme tilstrækkeligt op. Gennemsnitligt i EU28 er tallet 7,4%. Sverige, Norge og Tyskland har alle en mindre andel energifattige end Danmark, mens Storbritannien har næsten dobbelt så mange. Energifattigdoms-metrikken er ligeledes brugbar til sammenligning af forholdene imellem landene, da den både fortæller noget om økonomi, energipriser og boligstandard.



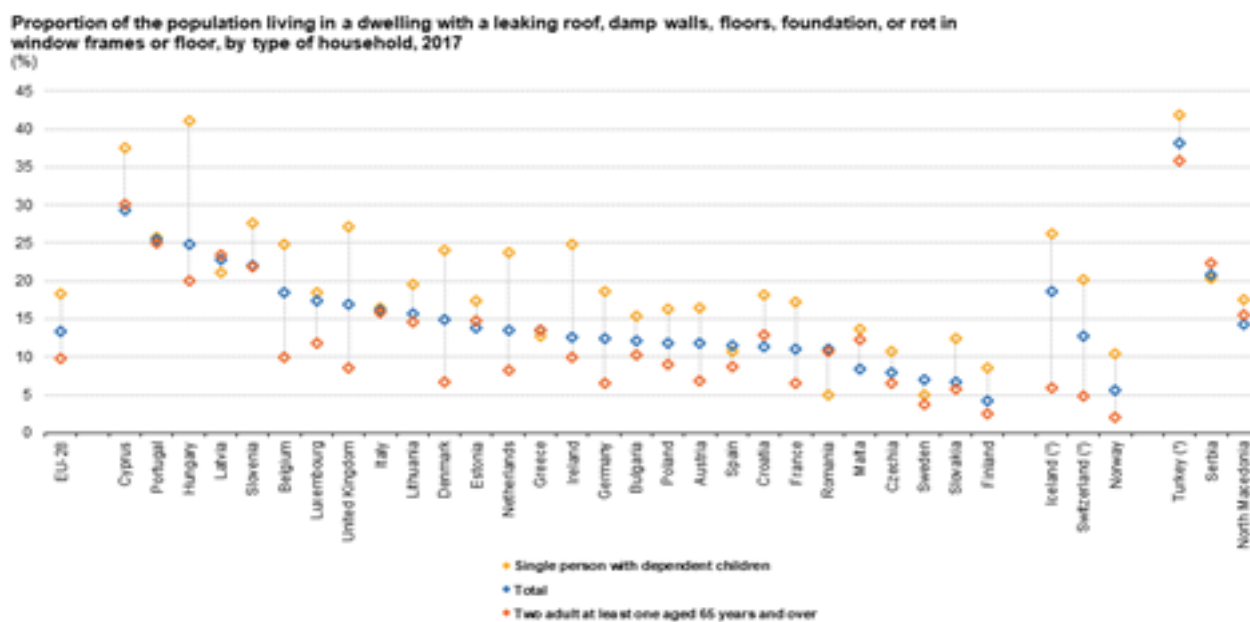
Figur 11: Andelen af energifattige i EU i 2018 fordelt efter land. Kilde: Eurostat (ilc\_mdcs01).

#### Fugt/råd

I 2017<sup>f</sup> boede ca. 13,3% af befolkningen i EU-28 i boliger af lav kvalitet (her defineret som en bolig med lækkende tag, fugtige vægge, gulve, fundamentering eller råd i vinduesrammer eller gulv). Sådanne problemer fremtræder især i sårbare grupper af samfundet. For eksempel havde næsten en femtedel (18,3%) af

<sup>f</sup> Kilde: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Quality\\_of\\_life\\_indicators\\_-\\_material\\_living\\_conditions#Risk\\_of\\_poverty](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Quality_of_life_indicators_-_material_living_conditions#Risk_of_poverty)

enlige forældre i en bolig af lav kvalitet, mens andelen for husholdninger med to voksne, hvoraf mindst en var 65 år eller over, var cirka det halve. I bunden lå Cypern (29,3%) og i Portugal, Ungarn, Letland og Slovenien var den også over 20%. I den anden ende var der fem medlemsstater, hvor færre end 1 ud af 10 personer boede i boliger af lav kvalitet, nemlig Malta, Tjekkiet, Sverige, Slovakiet og Finland (4,2%). Tallet for Danmark var i 2017 14,9% og 24,0% enlige forældre og 7% over 65 år.



Note: ranked on the share of the total population living in a dwelling with a leaking roof, damp walls, floors, foundation, or rot in window frames or floor. (\*) 2016. Source: Eurostat (online data code: ilc\_mdho01)

eurostat

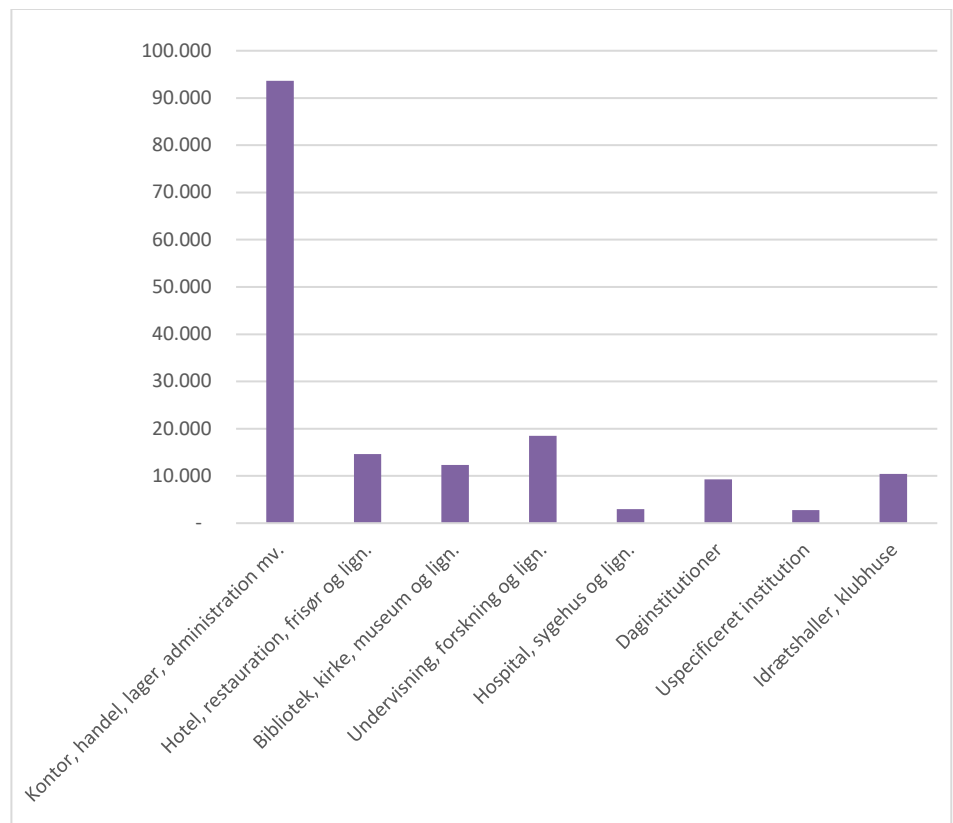
Figur 12: Andel af befolkningen, der lever i boliger med fugt/råd 2017. Kilde: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Quality\\_of\\_life\\_indicators\\_-\\_material\\_living\\_conditions#Risk\\_of\\_poverty](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Quality_of_life_indicators_-_material_living_conditions#Risk_of_poverty)

### 3.6 Andre bygninger

Udover boliger, undersøges i dette litteraturstudie også kontorer, skoler, hospitaler og offentlige bygninger (kirker, rådhus, kontorer o.lign.).

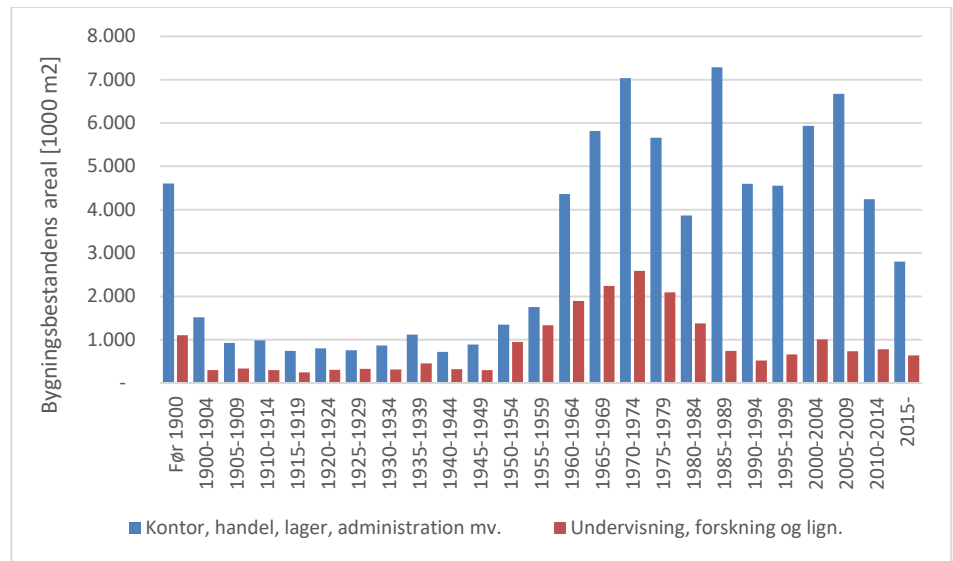
Figur 13 viser antallet af kontorer, offentlige bygninger (biblioteker, skoler, hospitaler) samt idrætshaller og klubhuse. Bygninger i denne gruppe udgør lige knapt 7% af den samlede danske bygningsmasse. Hvis man derimod kigger på bygningsbestandens areal, udgør gruppen 18% af det samlede bygningsareal, mens boliger udgør 45%.





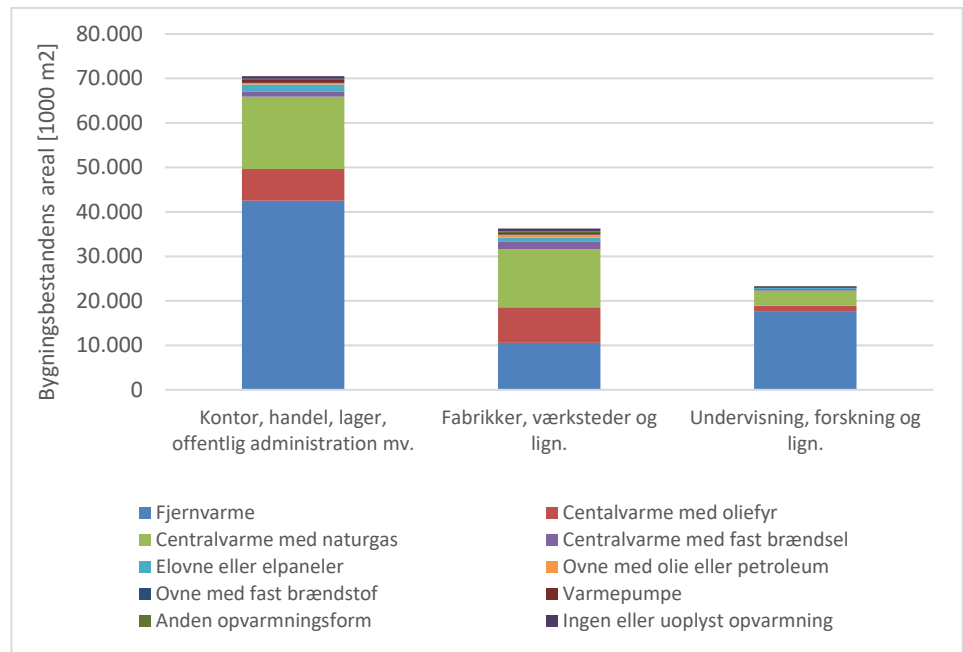
Figur 13: Antallet af danske bygninger benyttet til erhverv, kontor, institutioner mv. per 1. januar 2019. Kilde: Danmarks Statistik (BYGB12).

Størstedelen af bygningerne i den udvalgte gruppe udgøres af kategorien af bygninger til kontor, handel, lager, administration mv. Betragter man opførelsesåret (se Figur 14) for denne kategori, ses, at langt størstedelen af bygningsbestandens areal er opført fra 1960erne og frem (med især mange opførte bygninger i nyere tid). Derudover er en betydelig del af bygningsbestanden fra før 1900. For kategorien af bygninger brugt til undervisning, forskning og lign. viser statistikken, at bygninger i denne kategori hovedsageligt er opført fra 1950 til 1980erne. Herefter er opførelsen af nye bygninger faldet til et fast lavt niveau.

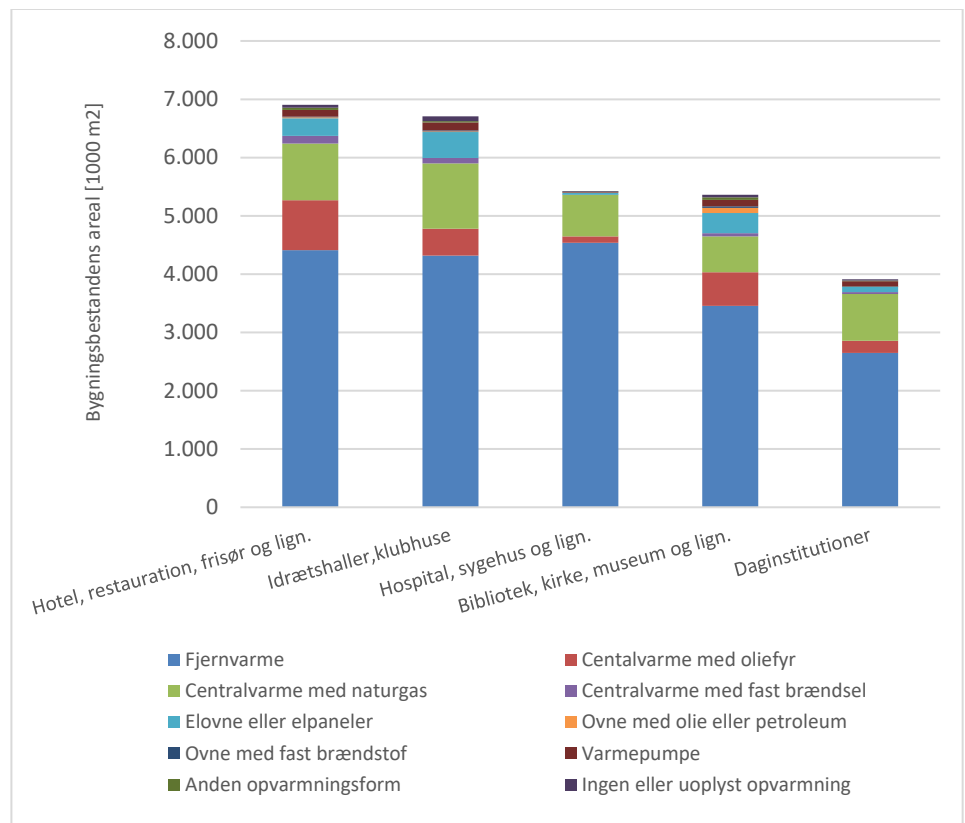


Figur 14: Bygningsbestandens areal for de to største kategorier af bygninger ikke brugt til bolig per 1. januar 2019. Inddelt efter opførelsesår. Kilde: Danmarks Statistik (BYGB34).

Størstedelen af servicesektorens bygninger opvarmes med fjernvarme. I bygninger anvendt til kontor, handel mv. udgør centralvarme baseret på naturgas og oliefyr også en betydelig opvarmningsmetode (se Figur 15 og Figur 16).



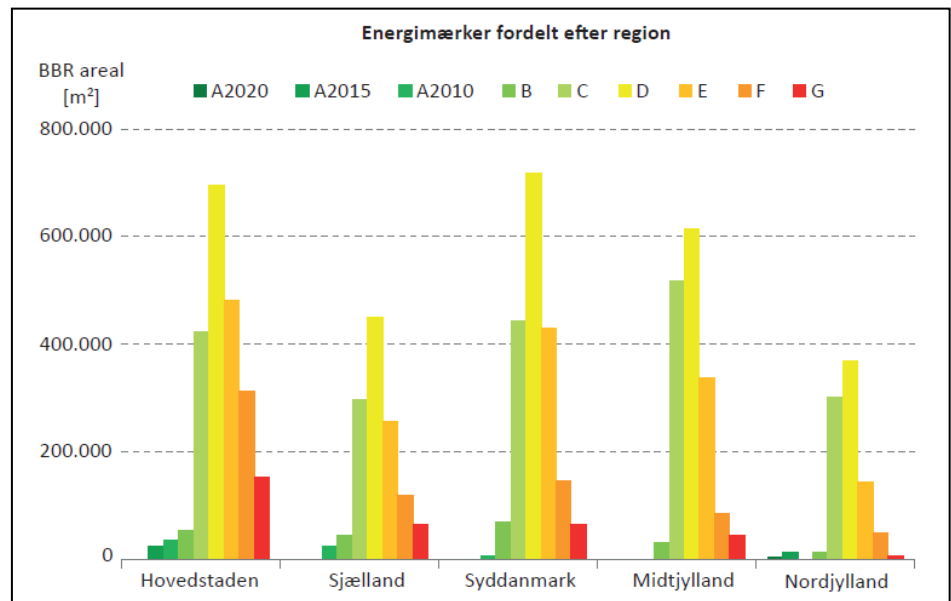
Figur 15: Bygningsbestandens areal inddelt efter bygningens brug og opvarmningsform\_1. Kilde: Danmarks Statistik (BYGB40).



Figur 16: Bygningsbestandens areal inddelt efter bygningens brug og opvarmningsform\_2. Kilde: Danmarks Statistik (BYGB40).

Skoler

Af det omtrent 23 mio. m<sup>2</sup> samlede bygningsareal brugt til undervisning, forskning og lign. udgør folkeskolerne 8,2 mio. m<sup>2</sup> (DTU, 2016). I en omfattende undersøgelse foretaget af DTU i 2016 blev energimærkerne for de danske folkeskoler gennemgået. DTU fandt, at størstedelen af arealet har energimærke D, hvilket hænger sammen med bygningernes opførelsesår. En stor del af bygningsbestandens areal er E eller dårligere. Især hovedstadens folkeskoler har mange m<sup>2</sup> med det dårligste energimærke, G.



Figur 17: Energimærker for danske folkeskoler inddelt efter bygningsbestandens areal og region. I alt repræsenteres 89% af det samlede areal. Kilde: DTU.

### 3.7 Potentialer for energirenovering

En række analyser, bl.a. 'Varmebesparelser i eksisterende bygninger' fra 2017, udarbejdet af SBI, har påvist, at der ved systematiske energirenovering er et betydeligt potentiale for at spare på energi til opvarmning i den eksisterende bygningsmasse i Danmark.

SBI-rapporten udregner potentialet for varmebesparelser i den eksisterende bygningsmasse i syv energieffektiviseringsscenarier, som dækker forskellige niveauer af renovering af bygningers klimaskærm frem til 2050. For hvert scenarie øges energieffektiviseringsniveauet for bygningsmassen ved, at der udføres forskellige energieffektiviseringstiltag. De mest kosteffektive renoveringstiltag implementeres først, og ingen tiltag fjernes, når først de har indgået i et tidligere scenarie, hvilket vil sige, at der for hvert scenarie tillægges nye tiltag og/eller eksisterende tiltag udbygges.

Scenarie 1 svarer til den basale renovering, hvor mindstekrav til indeklima og byggeteknik er opfyldt, og scenarie 7 svarer til en situation, hvor alle forudgående tiltag indgår, og hvor konstruktioner i bygningsmassen når deres slutisoleringsniveau. Scenarie 5 svarer til opfyldelse af dagens krav i bygningsreglementet og betragtes som en reference i SBI-rapporten. Den forventede varmebesparelse ved scenarie 5 forventes at være på 33%.

Scenarie #	Simpelt overblik over scenarieindhold
0	Udgangspunkt uden tiltag
1	Minimum ved basal renovering af bygningsdelene til byggeteknisk acceptabel standard
2	Scenarie 1 + Isolering af tomme hulmure
3	Scenarie 2 + Vinduer med energimærke A
4	Scenarie 3 + Nogen isolering på loft og tag
5	Sædvanlig god praksis for isolering ved renovering (heri indeholdt scenarie 4)
6	Energifokus ved isolering af renoverede bygningsdele (heri indeholdt scenarie 5)
7	Scenarie 6 + efterisolering af loft og tag som er isoleret svarende til scenarie 6

Tabel 3: SBI-rapportens scenarieantagelser.

På baggrund af SBI rapporten analyserede Ea Energianalyse i 2018 det samfundsøkonomiske potentiale for energirenoveringer ved at sammenligne omkostningerne til energirenovering med de sparede forsyningsomkostninger i et energisystem med grøn energiforsyning i 2050 (Ea Energianalyse 2018, Samfundsøkonomisk værdi af varmebesparelser, Optimum mellem forsyningsomkostninger og varmebesparelser i eksisterende bygninger). Beregningerne viste, at det samfundsøkonomisk optimale varmebesparelsesniveau i den eksisterende bygningsmasse er 31% frem mod 2050. Det er svarer til en gennemsnitlig årlig varmebesparelse på 1 procentpoint over perioden

Energistyrelsen vurderede i rapporten "Reboundeffekten for opvarmning af boliger" fra 2016, at omkring 30% af den tekniske besparelse (muligvis mere) omsættes til komfort. Det er altså kun 70% af det årlige optimale spareniveau på 1 procentpoint (0,7 procentpoint), som vi kan forvente skal kunne aflæses i energistatistikken som faktiske energibesparelser. Som tidligere beskrevet viser Energistatistikken dog, at nettovarmeforbruget i eksisterende bygninger (opført før år 2000) ikke er faldet med de "optimale" 0,7% årligt, men kun med 0,25% årligt siden år 2000. Statistikken viser endvidere, at dette fald er helt bremset de seneste år. De faktiske historiske energibesparelser har altså været under halvdelen af det optimale niveau, beregnet i denne analyse.

## 4 Gennemgang af litteratur

Gennemgangen af litteratur omhandlende værdisætningen af afledte effekter har ud fra de opstillede kriterier og afgrænsninger muliggjort en grundig gennemgang af det nuværende videnskabelige fundament for emnet. Vi henviser til Bilag A, B og metodeafsnit for nærmere gennemgang af kriterier og afgrænsninger.

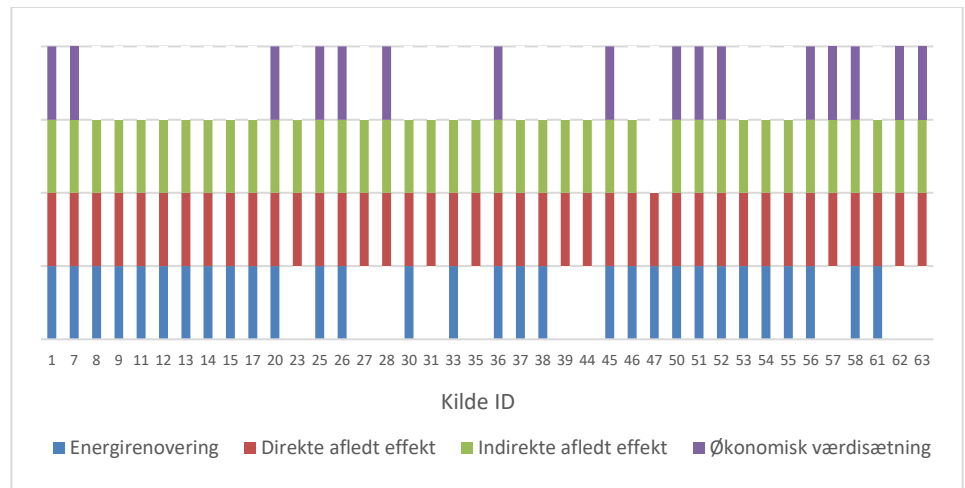
Litteraturen er gennemgået med særligt fokus på fire skridt som i afsnit 4.2 bliver nærmere defineret: 1) Energirenovering, 2) Direkte afledte effekter, 3) Indirekte afledte effekter, og 4) Økonomisk værdisætning.

### 4.1 Litteraturoverblik

Litteratursøgningen har resulteret i identifikation af 63 kilder, som falder indenfor de opstillede kriterier. Efter gennemgang og kortlægning af kilderne er en række af disse valgt undladt fra studiet grundet fx lav akademisk kvalitet, svag metode, ugenomsigtighed ift. antagelser etc. Derudover er nogle kilder ved nærmere gennemgang vurderet til at være irrelevante, fx hvis de har vist sig at hovedsageligt omhandle industrien, eller hvis deres datagrundlag ikke kan relateres til danske forhold. Af ovennævnte grund er 23 litteraturkilder blevet fravalgt og 40 litteraturkilder inkluderet i studiet. En del af de inkluderede kilder er ikke enkeltstående rapporter, men en samling af litteratur om emnet. Disse er behandlet som en enkelt kilde. Det samme gør sig gældende for kildernes referencer, som er blevet behandlet sammen med selve kilden.

Udover de 63 kortlagte kilder er yderligere litteratur inddraget, når det har været nødvendigt for at belyse en sammenhæng. Den yderligere inddragne litteratur er blevet vurderet med samme kriterier for kvalitet og relevans som kilderne undersøgt i det strukturerede kilde ID-system.

Nedenstående figur (Figur 18) giver et grafisk overblik over den inkluderede litteratur. På nær en enkelt kilde ([47]), behandler samtlige inkluderede kilder både direkte og indirekte afledte effekter. Yderligere 16 kilder værdisætter en eller flere indirekte afledte effekter økonomisk, mens 30 kilder sammenkobler en eller flere energirenoveringer med direkte afledte effekter.



Figur 18: Oversigt over den inkluderede litteratur. Det er noteret for hver kilde, hvilke af de fire skridt kilden behandler: Energirenovering (blå), Direkte afledt effekt (rød), Indirekte afledt effekt (grøn), Økonomisk værdisætning (lilla). Et farvet felt betyder, at litteraturkilden beskæftiger sig med området. For nærmere beskrivelse af de fire skridt se afsnit 4.2.

Behandlede geografiske områder

Af de 40 inkluderede kilder omhandler 17 specifikt danske forhold, 15 er bredere EU-studier, 4 kilder er svenske, 3 kilder omhandler USA, mens en enkelt kilde er fra Japan. Halvdelen af kilderne er baseret på meta-data, mens den anden halvdel er baseret på ny data. Der er overvægt af danske studier, som bruger ny data og EU-studier, som er baseret på meta-data.

Tværeuropæiske kilder

Seks af de inkluderede studier er meget omfattende tværeuropæiske analyser. Det drejer sig om: Fraunhofer ([11], [44]), ECOFYS ([14], [30]), Eurofund ([25]), COMBI ([26]), VELUX (RAND Europe) ([28]) og BPIE ([36], [56]). Data og beregninger for Danmark kan derfor findes i alle disse studier, som på nær Fraunhofer-studiet værdisætter en eller flere afledte effekter. Udover de tværeuropæiske studier er materiale fra IEAs ([45]) workshops også behandlet, ligesom U.S. Weatherization Assistance Programme ([20]) også er analyseret.

Kildernes kvalitet

For en del af de ovennævnte rapporter er det vigtigt at understrege, at de ikke er peer-reviewed. Det er derfor nødvendigt at vurdere kildernes videnskabelige validitet, når de gennemgås. Ydermere kan rapporterne være finansieret helt eller delvist af aktører, som kan have intentioner udover den akademiske værdi.

Igennem kapitlet vil udvalgte studier blive fremhævet og diskuteret, som er af særlig relevans for forståelsen af sammenkoblinger mellem de fire skridt.

## 4.2 Fra energirenovering til økonomisk værdisætning

Afledte effekter kan beskrives som positive såvel som negative konsekvenser af energirenoveringer, udover den egentlige energibesparelse. På dansk er termen stort set udefineret, og i engelsksproget litteratur findes der endnu ikke en klar og gennemgående definition. Her anvendes begreberne *non-energy benefits, co-benefits, ancillary benefits, side effects etc.* ofte uden, at det er nærmere forklaret, hvad begrebet præcist dækker over. Grundet denne begrebsforvirring, er det i forbindelse med denne opgave anset som vigtigt at anvende et konsistent begrebsapparat, som muliggør en klar og præcis sammenligning af kilder og de dertilhørende resultater.

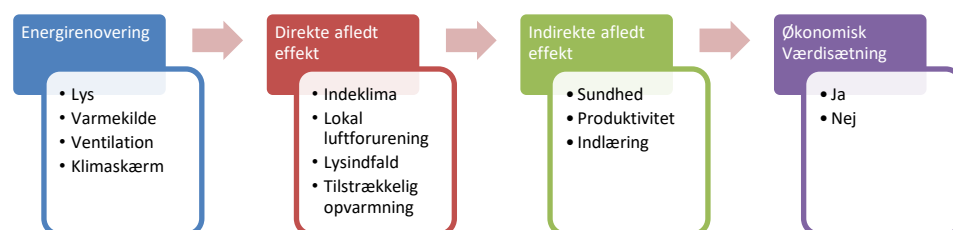
Kædeinddeling af kilder

Jf. Figur 19 opererer vi derfor med fire begreber: 1) **selve energirenoveringen**, fx et isoleringstiltag, 2) **den direkte afledte effekt**, fx mindre kondens og mugdannelse på vægge, 3) **den indirekte afledte effekt**, fx færre astmatilfælde, 4) **økonomisk værdisætning**, fx målt som den økonomiske værdi af færre sygedage relateret til astma.



Figur 19: Fra energirenovering til økonomisk værdisætning. Forløbet skitserer årsagssammenhængen mellem de forskellige skridt i en energirenoveringsproces.

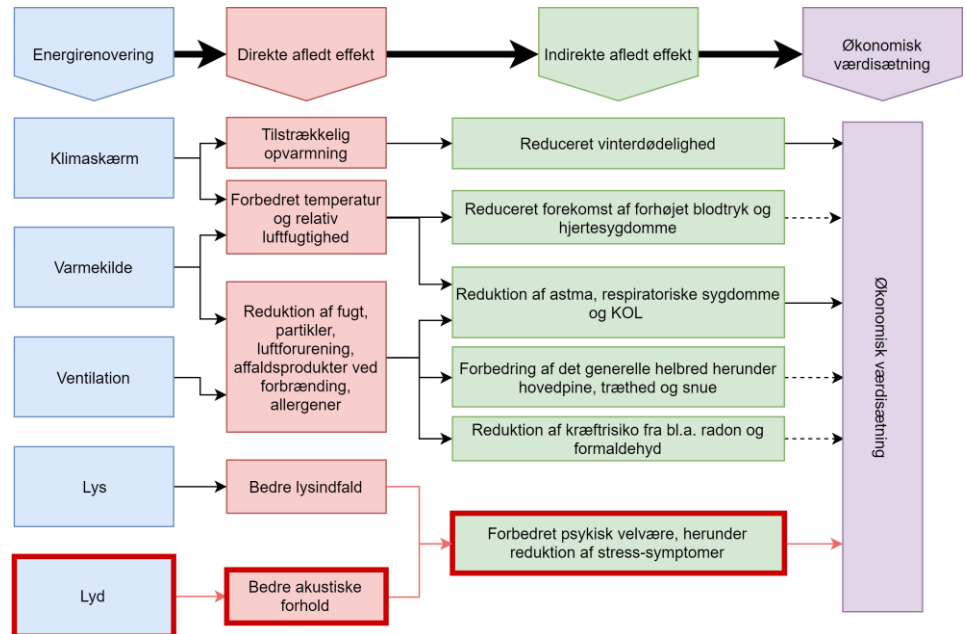
Forløbet skitseret på Figur 19 er anvendt både til at skabe overblik over, hvordan energirenoveringers afledte effekter økonomisk kan kvantificeres samt til inddeling af litteratur i kategorier efter hvilke områder, de beskæftiger sig med. En række antagelser er knyttet til hver skridt i forløbet, og forskellige kilder anvender forskellige metoder til at konstruere sammenkoblinger. På Figur 20 er hvert skridt tildelt et sæt parametre, som gør det muligt at foretage en præcis og overskuelig inddeling af litteraturen og give et kondenseret overblik over velbelyste sammenhænge.



Figur 20: Opstilling af parametre for de fire skridt fra energirenovering til økonomisk værdisætning.



Udvalgte årsagskæder fra energirenovering til økonomisk værdisætning er vist på Figur 21 – eksemplificeret med henblik på helbreds påvirkninger. Her kan det ses, hvordan forskellige observerede direkte og indirekte afledte effekter kan opstå i forlængelse af de behandlede energirenoveringer.



Figur 21: Oversigt over sammenhænge om helbreds påvirkninger, som er gennemgående for den behandlede litteratur. Rød linje omkring en boks signalerer, at parameteren falder uden for denne opgaves rammer. De stiplede pile angiver, at der ikke er fundet kilder, som direkte økonomisk værdisætter den respektive indirekte afledte effekt.

Lydrenoveringer og dertilhørende forbedringer i akustiske forhold falder udenfor studiets fokusområde når sundhed behandles. Den indirekte afledte effekt om forbedret psykisk velvære og reduktion af stress-symptomer, og den dertilhørende potentielle økonomiske værdisætning falder ligeledes udenfor studiets fokusområde. Lys- og lydforhold er i nogen grad behandlet i forbindelse med kilder, som undersøger deres indvirken på produktivitet og indlæring.

I de følgende afsnit findes tabeller, som viser hvilke kilder, der sammenkobler de fire skridt. Tabellerne kan bruges til at danne overblik over i hvilket omfang, den behandlede litteratur beskæftiger sig med de respektive koblinger. Grønne felter betyder, at en stærk sammenhæng er observeret, enten understøttet af et betragteligt antal kilder, eller af specifikke kilder af høj kvalitet. Lysegrønne felter betegner en svagere sammenhæng, hvor antallet af kilder eller kvaliteten ikke har tilstrækkelig kvalitet til at fastslå en robust sammenhæng. Hvide felter angiver, at sammenhængen ikke er observeret i den behandlede litteratur.

## Energirenovering

Der er stor variation i omfanget af den behandlede litteraturs beskrivelse og behandling af selve energirenoveringen. En del af studierne omhandler et specifikt tiltag, fx udskiftning af varmekilde eller forbedring af klimaskærm. De tværeuropæiske studier betragter ofte energirenovering bredt og undersøger derved ikke et specifikt tiltag. For de studier, som ikke har fokus på energirenoveringstiltaget kan det ofte være svært at fastslå en direkte sammenhæng mellem et renoveringstiltag og en afledt effekt. I fx det amerikanske Weatherization Assistance Program ([20]) er fokus på forbedring af klimaskærm for boligmasse i ekstrem dårlig stand. Udover programmets krav til forbedringer af klimaskærm blev der per 2011 tilføjet krav om ventilation. Efterevalueringen af de afledte effekter og den dertilhørende økonomiske værdisætning bliver derfor vanskeliggjort, da det ikke klart kan fastlægges, om det er den generelle forbedring af klimaskærmen eller ventilationen, som fører til de mest væsentlige afledte effekter. Den eksemplificerede problemstilling omkring kausalitetsfastlæggelse mellem specifikke energirenoveringstiltag og deres separate indflydelse på en direkte eller indirekte afledt effekt er gennemgående i litteraturen.

### ***Energirenoveringer i COMBI-studiet:***

COMBI-studiet behandler ikke deciderede energirenoveringstiltag, men i stedet en række scenarier for, hvordan den nuværende europæiske bygningsmasse frem mod 2030 samlet kan reoveres. Der opereres overordnet med 21 renoveringstiltag, hvor fire specifikt omhandler energirenovering af eksisterende bygninger. Til opstilling af scenarier defineres tre renoveringsniveauer; light/shallow retrofits, medium retrofits og deep retrofits. Hvert niveau dækker over hvor omfattende renoveringstiltag, der bliver foretaget. Groft kan light retrofits defineres som absolut nødvendige forbedringer af klimaskærm, så tilstrækkelig indetemperatur kan opretholdes, mens deep retrofits indebærer forbedringer af ventilationssystemer, varmegenvindingssystemer mm.

Det danske studie lavet af NIRAS ([8]) bruger begrebet energistandard som indikator for en bygnings energimæssige tilstand. NIRAS har i en interviewundersøgelse adspurgt 506 husejere om deres erfaringer efter tiltag udført for at hæve boligens energistandard. Analysens resultater peger på sammenhænge mellem forbedring af energistandarden og det oplevede indeklima. Dog påpeger NIRAS selv, at studiets metodiske svage punkt er sammenkoblingen mellem en øget oplevet komfort med et specifikt renoveringstiltag. En stor del af undersøgelsens respondenter havde fået udført mere end et enkelt tiltag, fx installation af automatisk ventilation i forbindelse med udskiftning af vinduer, og forøgelsens i oplevet komfort kunne derfor ikke tildeles udelukkende til det ene tiltag frem for det andet.

For danske folkeskoler er de hyppigst foretagne renoveringstiltag de sidste 10 år ifølge DTU ([33]): Facade og tag, 21%; vinduer/solafskærmning, 18%; ventilation, 18%; belysning, 14%; varmesystem, 10%; bæredygtig energi, 6%; akustik, 4%; helhedsrenovering, 2%; andet, 7%.

### Direkte afledte effekter

Som konsekvens af energirenoveringstiltag vil en række direkte afledte effekter opstå. Eksempelvis vil udskiftning af brændeovne til varmepumper udover potentielle energibesparelser også medføre et lavere indhold af partikler i inde-luften (og i lokalmiljøet). Samtidig vil en varmepumpe muligvis hæve lyd-niveauet – begge eksempler på direkte afledte effekter.

Litteraturgennemgangen har identificeret en lang række direkte afledte effekter, som kan inddeles i fire generelle kategorier; indeklima, lokal luftforurening, lysindfald og tilstrækkelig opvarmning. Indeklima dækker bredt over en række parametre, herunder luftkvalitet (partikelindhold), fugtdannelse og termisk komfort. Lysforhold kan til tider medtages under indeklima, som ligeledes kan omfatte lydforhold. Lysforhold er behandlet separat fra indeklima i denne opgave, mens lydforhold er undladt. Yderligere afgrænsninger er defineret i Bilag B.

==>	Indeklima	Lokal luftforurening	Lysindfald	Tilstrækkelig opvarmning
<b>Klimaskærm</b>	1, 8, 20, 25, 26, 30, 33, 50, 61	-	-	20, 25, 30, 61
<b>Varmekilde</b>	1, 8, 26, 30, 61	1, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 58	-	30, 61
<b>Lys</b>	-	-	12, 13, 17, 33	-
<b>Ventilation</b>	1, 8, 15, 26, 33, 37, 38, 46, 47, 61	-	-	-

Tabel 4: Litteraturkilder, der viser sammenhænge mellem forskellige energirenoveringstiltag og direkte afledte effekter. Grønne felter betyder, at en stærk sammenkobling er fundet, mens hvide felter betyder, at der ikke er fundet en sammenkobling.

Sammenhængen mellem energirenovering og direkte afledte effekter er bredt behandlet i størstedelen af den undersøgte litteratur. På baggrund af litteraturgennemgangen er følgende sammenkoblinger mellem energirenovering og direkte afledte effekter velbelyste:

- Forbedring af klimaskærm har positiv indflydelse på indeklimaet ([1], [8], [20], [25], [26], [30], [33], [50], [61]). De identificerede studier fastlægger dog ikke specifikke sammenhænge mellem et klimaskærms-tiltag og en forbedring af en indeklimate-parameter.
- Generel forbedring af klimaskærm<sup>8</sup> har positiv indflydelse på muligheden for at opvarme bygninger tilstrækkeligt ([20], [25], [26], [50]).
- Udskiftning af varmekilde (fx fra pillefyr til varmepumpe) har positiv indflydelse på indeklimate samt lokal luftforurening (indeklimate: [1], [8], [26], [30], [61]; lokal luftforurening: [1], [50], [51], [52], [53], [54], [55], [58]).
- Udskiftning af varmekilde kan have positiv indflydelse på muligheden for tilstrækkelig opvarmning ([30], [61]).
- Vinduesrenovering har positiv indflydelse på lysindfald ([12], [13], [17], [33]). De parametre, som kan have positiv indflydelse på lysindfaldet, er vinduesareal samt vinduernes placering ift. Verdenshjørnerne.
- Øget ventilation reducerer antallet af partikler i luften og bidrager derved til et forbedret indeklimate ([1], [8], [15], [26], [33], [37], [38], [46], [47], [61]).

Ovennævnte betragtninger om sammenhængen mellem energirenoveringer og direkte afledte effekter er fundet på tværs af de undersøgte bygningssegmenter. Hovedparten af litteraturen opbygger ikke årsagskæder, som eksplicit forklarer sammenhængen mellem en specifik energirenovering og en direkte afledte effekt. Derfor er det sommetider uklart, hvilket renoveringstiltag, der er det afgørende parameter for en given direkte afledt effekt. Som kan ses af ovennævnte sammenkoblinger, undersøger flere studier ligeledes sammenhænge på tværs af forskellige energirenoveringer og direkte afledte effekter.

---

<sup>8</sup> Klimaskærm dækker i dette tilfælde også over U.S. Weatherization Assistance Program, som i nogen tilfælde indebærer renoveringer udover kun selve facade og tag, fx forbedring af ventilation.

### **Hvad er et godt indeklima?**

Det gode inde klima er beskrevet ud fra kravene fremsat af Bygningsreglementet (BR18). Udover krav til luftkvalitet og termiske forhold, indeholder BR18 også krav til lyd- og lysforhold.

- **Luftkvalitet:**

For beboelsesbygninger er der minimumskrav for udeluft-tilførsel på mindst 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal. Derudover er der krav for emhætte i køkkener med minimum sugekapalet på 20 l/s, samt krav til udsugning for wc- rum med og uden bad på henholdsvis 15 og 10 l/s. For daginstitutioner skal ventilationen mindst være 3,0 l/s pr. barn og mindst 5,0 l/s pr. voksen, samt 0,35 l/s pr. m<sup>2</sup> etageareal. For undervisningsrum skal ventilationen være mindst 5,0 l/s pr. person, samt 0,35 l/s pr. m<sup>2</sup> etageareal. Derudover skal det for både daginstitutioner og undervisningsrum sikres at det maksimale CO<sub>2</sub>- indhold i indeluften ikke overstiger 1.000 ppm.

- **Termiske forhold:**

For beboelsesbygninger anses rumtemperaturen for at være tilstrækkelig, hvis der maksimalt er 100 timer pr. år af brugstiden, hvor rumtemperatur overskrider 27 °C og 25 timer pr. år, hvor rumtemperaturen overskrider 28 °C. For bygninger med brugstid svarende til kontorbygninger anses rumtemperaturen som tilstrækkelig, hvis der maksimalt er 100 timer pr. år af brugstiden, hvor rumtemperatur overskrider 26 °C og 25 timer pr. år, hvor rumtemperaturen overskrider 27 °C.

- **Lydforhold:**

Generelt bør støjbelastningen aldrig overstige 85 dB(A) eller spidsværdier af impulser på 137 dB(C). En støjbelastning på 85 dB(A) svarer til et støjniveau på 85 dB(A) i 8 timer, 94 dB(A) i 1 time og 100 dB(A) i 15 minutter.

- **Lysforhold:**

Tilstrækkelig tilgang af dagslys er defineret ved at glasarealet uden skyggende forhold svarer til mindst 10 pct. af det relevante gulvareal eller at den indvendige belysningsstyrke fra dagslys er 300 lux eller mere ved mindst halvdelen af det relevante gulvareal i mindst halvdelen af dagslystimerne.

Udfordringer med at skabe robuste korrelationer

Et eksempel på udfordringerne med at skabe robuste korrelationer kan findes i Eurofund ([25]), som både undersøger sammenhængen mellem klimaskærmsforbedringer og indeklima, og sammenhængen mellem klimaskærm og tilstrækkelig opvarmning. COWI ([9]) opstiller en hypotese om, at en bygnings energimærke kan bruges som indikator for bygningens indeklima. Et af studiets hovedkonklusioner er dog, at det ikke er en brugbar indikator: *"For det første afspejler energimærkerne ikke fuldstændig boligens faktiske indeklimaforhold"*. Problemstillingen er ligeledes gennemgående for de tværeuropæiske studier, som med forskellig metodisk tilgang forsøger at skabe sammenhænge mellem EU-spørgeskemaer om eksempelvis hyppigheden af fugtproblemer og det dertilhørende potentiale for positive afledte effekter ved energirenoveringer.

Udover de positive sammenhænge mellem energirenovering og direkte afledte er der også observeret en række risici og potentielt negative effekter ved forskellige renoveringstiltag. Forbedring af klimaskærm uden at tage højde for luftudskiftning kan forværre bygningen ved lavere luftkvalitet og mere fugtdannelse. På samme måde kan en negativ direkte afledte effekt ved udskiftning af varmekilde til fx varmepumpe give støjgener, som påvirker indeklimaet negativt, ligesom ventilationssystemer også kan risikere at hæve støjniveauet i en bygning. Moderne vinduer, hvor solvarmetransmittans-faktoren er høj og vinduesarealet stort, kan medvirke til uønsket overopvarmning. Mange af de potentielt negative effekter vurderes at kunne undgås ved at gennemføre energirenoveringsprojekterne med omtanke; eksempelvis ved korrekt indregulering og installation af varmepumper og ventilationsanlæg og ved at sikre tilstrækkelig ventilation, når der gennemføres tiltag til tætning af klimaskærmen.

En håndfuld af kilderne behandler sammenhængen mellem enten klimaskærm og indeklima eller ventilation og indeklima. Disse kilder er blevet nærmere gennemgået med henblik på en kritisk gennemgang af antagelser og sammenkoblinger. Det kan ikke alene på baggrund af den nærmere gennemgang fastslås, om indeklimaet bliver positivt ændret ved renovering af klimaskærm, eller om en forbedring af indeklimaet udelukkende opnås, når ventilationsraten også forbedres. Antallet af litteraturkilder, der omhandler ventilation og fastlægger sammenhænge mellem luftkvalitet og sundhedstilfælde, peger dog i retning af, at ventilation er det enkeltstående element, som har størst indflydelse på indeklimaet i en bygning.

**Direkte afledte effekter i COMBI-studiet:**

De direkte effekter behandlet i COMBI-studiet og af relevans for det danske litteraturstudie er indetemperatur, fugt og luftkvalitet.

Udbredelsen af for lave indetemperaturer og for store mængder fugt er begge baseret på information fra EU-SILC-undersøgelsen. Her er borgere blevet spurgt om

- de har råd til at opvarme deres bolig tilstrækkeligt og
- hvorvidt de har 1) fugtige vægge, gulve eller fundament; 2) Utæt tag; eller 3) Råd eller svamp i vinduesrammer eller gulv.

**Indirekte afledte effekter**

Afhængigt af bygningssegmentet og den direkte afledte effekt kan de indirekte afledte effekter inddeles i tre kategorier; sundhed, produktivitet og indlæring. Mens produktivitet hovedsageligt bliver behandlet i forbindelse med studier omhandlende kontorer og indlæring i studier omhandlende skoler, er sundhed

bredt behandlet på tværs af både bygningssegmenter og direkte afledte effekter. De sundhedsrelaterede indirekte afledte effekter er kendetegnet ved, at det kræver observationer over en længere tidsperiode for at kvantificere dem. I modsætning til den direkte energibesparelse vil de indirekte afledte effekter derfor ofte være svære at kvantificere i umiddelbar forlængelse af energirenoveringen.

#### Sundhed

Der er ikke nogen gennemgående metode til fastlæggelse af de indirekte afledte effekter. Det er derfor ikke muligt at opstille brede betragtninger om antagelser og indikatorer på tværs af litteraturen. Generelt kan det dog observeres, at sundhed ofte bliver behandlet som antal forekomster af specifikke sygdomme før og efter ændringen i en direkte afledt effekt, fx forekomsten af fugt (indeklimaparameter). Ofte brugte indikatorer for sundhed er astmatilfælde, respiratoriske symptomer og vinterdødelighed. Antallet af udefrakommende faktorer på den direkte kausalitet mellem direkte og indirekte afledte effekter, gør det dog ofte udfordrende at fastslå klar kausalitet mellem ændring af fx et indeklimaparameter og antal forekomster af en specifik sygdom.

Udover de undersøgte kvantificerbare indikatorer om sygdomstilfælde er det også udbredt i litteraturen at finde kvalitative sammenhænge, fx ved brug af spørgeskemaer med spørgsmål om bygningens brugeres oplevede komfort og bedre velbefindende (NIRAS). Disse undersøgelser indeholder imidlertid ikke en økonomisk værdisætning af komfortforbedringerne.

#### Sammenhæng mellem indeklimaparametre og helbred

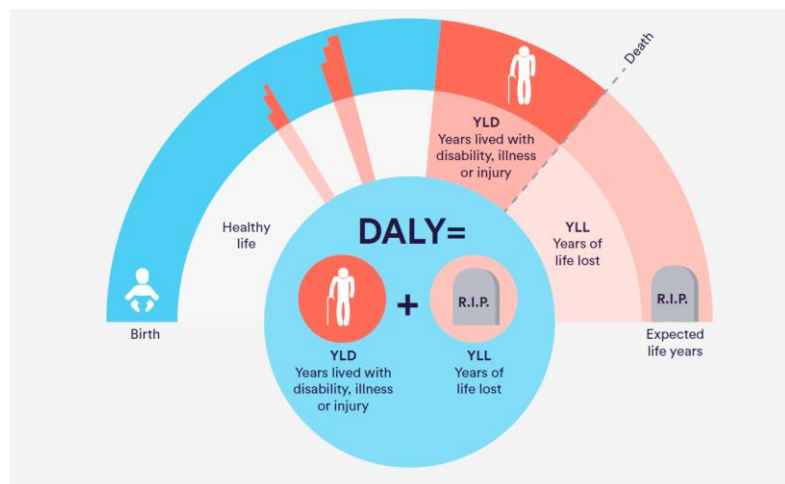
Ifølge Center for indeklima og sundhed i boliger (CISBO) i deres udgivelse "Indeklima og sundhed i boliger", opholder danskere sig i gennemsnittet 80-90% af livet indenfor, og helt op mod 65% af tiden i vores bolig. De har derfor på baggrund af både materiale fra en række EU-eksperter og lokale danske undersøgelser fastslået de ni væsentligste kilder til forurening af indeklimaet, og hvilken indvirkning de kan have på brugernes helbred. De væsentligste sammenhænge mellem forureningskilderne og deres helbredspåvirkninger fremgår af Tabel 5. Udover de nævnte forureningskilder har lys- og lydforhold også stor betydning for indeklimaet, dog er der i den behandlede litteratur ikke koblet nogen sammenhæng mellem lys- og lydforhold og sundhedsparametre udover oplevet komfort. Det skal dog bemærkes, at vi ikke har søgt specifikt på koblingen mellem lydforhold/støj og sundhedseffekter.

	Farligt ved svækket immunforsvar	Nedsat lungefunktion	Astma og allergi	Kræft	Generelt helbred
Partikler	X	X			
Bakterier	X				
Skimmel-svamp			X		X
Fugt			X		
Allergener			X		
Støv			X		X
Kemikalier			X	X	X
PCB <sup>h</sup>				X	
Radon				X	

Tabel 5: Grundlæggende sammenhænge mellem forureningskilder af indeklimaet og helbreds påvirkninger. Kilde: CISBO.

DALY

Flere kilder bruger den metriske enhed Disability-Adjusted Life Year (DALY) til kvantificering af helbredseffekter på tværs af sygdomme. DALYs er velegnet til at fastlægge sygdomsbyrden på tværs af en population i en enkelt absolut værdi. DALY er en sammenlægning af år tabt grundet for tidlig død (Years of Life Lost, YLL) og år levet af folk med nedsat helbred (Years Lost due to Disability, YLD).



Figur 22: DALY er summen af år mistet grundet for tidlig død (YLL) og antallet af år levet med nedsat helbred (YLD). Kilde: Public Health England.

Til bestemmelse af værdien for et år levet med nedsat helbred (YLD), tildeles en given helbredstilstand eller sygdom en vægtet værdi mellem 0 og 1, hvor 0 er

<sup>h</sup> PCB - Polyklorerede bifenylter



perfekt helbred (svarende til et sundt leveår) og 1 er død (svarende til et tabt leveår). Værdien for forskellige sygdomme varierer på tværs af lande.

## Produktivitet

En anden indirekte afledte effekt, som undersøges i flere studier, er produktivtetsændringer. Som udgangspunkt er det litteratur, som beskæftiger sig med kontorer og arbejdspladser, der har fokus på produktivitet. Flere af de tvær-europæiske studier om de afledte effekter af bygninger (inkl. boliger) i dårlig stand inddrager også produktivitet i deres analyse af sammenhængen mellem direkte og indirekte afledte effekter. Ud fra den behandlede litteratur er to grundlæggende metoder til fastlæggelse af produktivtetsændringer. Begge metoder bygger på før- og eftermålinger.

- 1) Antallet af fraværsdage fra arbejde. Ved brug af dette parameter vil der være tæt korrelation mellem produktivitet og sundhed. Antagelsen er ligefrem; forbedret sundhed vil give færre fraværsdage og derfor medføre en stigning i produktivitet. Korrelationen mellem fravær og sænket produktivitet er klar, mens det kan være mere komplekst at fastlægge sammenhængen mellem afledte effekter og fraværsdage. Utallige ikke-overvågede parametre kan have indflydelse på antallet af fraværsdage, som kan være udfordrende at separere fra den undersøgte afledte effekt. Det er derfor nødvendigt med længere observationsperioder, lange tidsserier og store datamængder for at kunne lave robuste sammenhænge. COMBI-studiet ([26]) er et eksempel på et studie, der bruger denne metode til måling af produktiviteten.
- 2) Forøgelse af effektivitet. Produktiviteten bliver målt som en procentvis stigning i effektivitet. Forskellige metoder bliver brugt til at fastlægge effektiviteten herunder hukommelsestest, kognitive test og generelle performance-test. Ved brug af bl.a. de nævnte testmetoder er det relativt simpelt at undersøge korrelation mellem et ændret parameter og effektivitet. Observationsperioden er relativt kort, da en ændring i effektivitet umiddelbart kan observeres i arbejdshastighed og/eller kvalitet. BPIE-studiet ([36]) er et eksempel på et studie, der bruger denne metode til måling af produktiviteten.

Figur 23 er en simpel skitsering af kompleksiteten af de to metoder til kvantificering af produktivitet. Produktivitet målt ved antallet af fraværsdage bygger på flere bagvedliggende antagelser og skal observeres over en længere periode, mens der ved effektivitet som parameter kan opstilles snævre sammenhænge med få antagelser, som kan observeres i umiddelbar forlængelse af et tiltag.



Figur 23: Skitsering af de to hovedmetoder til fastlæggelse af produktivets placering mht. antal antagelser og observationsperiode.

## Indlæring

Den behandlede litteratur om indlæring har fokus på de danske folkeskoler. Som for produktivitet er der hovedsageligt to metoder til at observere en forandring i elevers indlæring:

1. Sygefravær. Før- og efter-studier af sygefravær før og efter et renoveringstiltag kan bruges til at skabe korrelation.
2. PISA<sup>i</sup>-resultater. Ved forbedring af indeklimaparametre kan der observeres en eventuel forbedring i PISA-testresultater.

Indlæring er den indirekte afledte effekt, som der i dette litteraturstudie er identificeret færrest korrelationer omkring. Det Realdania finansierede studie "Indeklima i skoler" (kilde 33) påpeger begge metodens anvendelse i videnskabelige studier, dog laves ikke specifikke beregninger for danske folkeskoler. Der er her fortrinsvis ventilation, som tilskrives reduktion af sygefravær og forbedring af PISA-resultater. I studiet er der gennemført en litteraturgennemgang, hvor det vurderes, hvordan sammenhænge mellem indeklima og trivsel, sundhed og læring fra internationale studier kan bruges i dansk sammenhæng. Her bliver især fremhævet en del interventionsstudier, hvor en eller flere indeklimaparametre er blevet varieret, mens eleverne bliver udsat for før og efter opgaver. De behandlede studier viser, at forbedring af ventilationsrate og temperaturregulering i klasseværelserne medfører en øget hastighed og nøjagtighed for løsning af koncentrationskrævende opgaver på mellem 2,2% og 15%. Fra internationale studier er det også fundet, at for hver 1 l/s pr. person forøgelse af ventilationsraten kan sygefraværet blandt elever reduceres med 1,6%.

<sup>i</sup> Programme for International Student Assessment. Et gennemgående elevvurderingsprogram etableret af OECD, som på tværs af medlemslandene undersøger 15-åriges akademiske præstationer.

==>	Sundhed	Produktivitet	Indlæring
<b>Indeklima</b>	1, 8, 9, 11, 14, 15, 20, 25, 26, 28, 30, 31, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 44, 46, 47, 50, 56, 57, 61	1, 20, 23, 27, 36, 56	33, 36, 56
<b>Lokal luftforurening</b>	1, 7, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 62, 63	1	-
<b>Lysindfald</b>	12, 13, 14, 17, 36, 56, 57	36, 56	36, 56
<b>Tilstrækkelig opvarmning</b>	14, 20, 25, 30, 57, 61	20	-

Tabel 6: Litteraturkilder, der viser sammenhæng mellem direkte afledte effekter og indirekte afledte effekter. Grønne felter betyder, at en stærk sammenkobling er fundet, mens hvide felter betyder, at der ikke er fundet en sammenkobling. Lysegrønne felter betyder, at der er fundet en svag sammenhæng.

Sammenhængen mellem direkte afledte effekter og indirekte afledte effekter

Sammenkoblinger mellem direkte afledte effekter og indirekte afledte effekter er i den behandlede litteratur fokuseret på koblinger mellem ændringer af indeklimaparametre og sundhed. Følgende stærke sammenkoblinger er observeret:

- Forbedret indeklima har positiv indflydelse på sundheden hos bygningens brugere ([1], [8], [9], [11], [14], [15], [20], [25], [26], [28], [30], [31], [33], [35], [36], [37], [38], [39], [44], [46], [47], [50], [56], [57], [61]).
- En reduktion af den lokale luftforurening har positiv indflydelse på sundheden hos mennesker i umiddelbar nærhed af den forbedrede luftkvalitet ([1], [7], [50], [51], [52], [53], [54], [55], [58], [62], [63]).
- Forbedring af lysforhold (fx mere dagslys eller bedre generel oplysning med kunstigt lys) har positiv indflydelse på sundheden hos bygningens brugere ([12], [13], [14], [17], [36], [56], [57]).
- Tilstrækkelig opvarmning af boliger har betydning for sundheden af bygningens brugere, her specifikt vinterdødelighedsraten ([14], [20], [25], [30], [57], [61]).
- Forbedret indeklima har positiv indflydelse på produktivitet og indlæring (produktivitet: [1], [20], [23], [27], [36], [56]; indlæring: [33], [36], [56]).

Derudover peger litteraturen på en række sammenkoblinger, som er svagere belyst og kun behandlet af et begrænset antal kilder eller af varierende videnskabelig kvalitet: der er muligvis sammenhæng mellem lokal luftforurening og

produktivitet ([1]), mellem lysindfald og produktivitet ([36], [56]), mellem lysindfald og indlæring ([36], [56]), og mellem tilstrækkelig opvarmning og produktivitet ([20]).

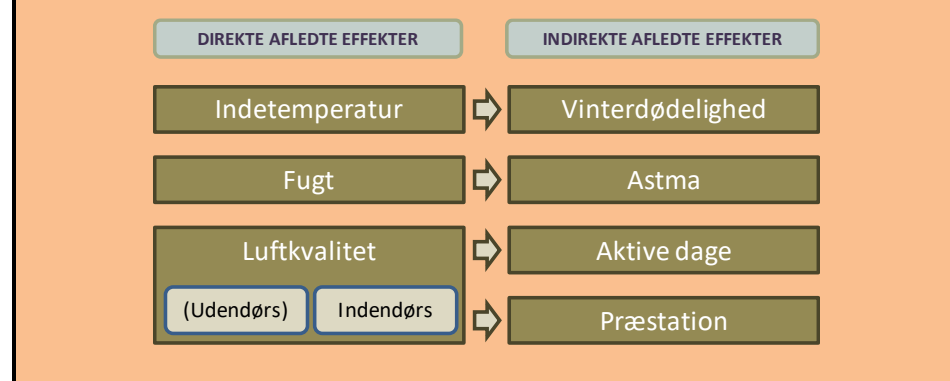
Sundhed dækker over en lang række af helbredsmæssige indikatorer, som påvirker ændringen i antal forekomster af forskellige sygdomme i forbindelse med ændringer i indeklima, lokal luftforurening eller tilstrækkelig opvarmning. For ændringer i lysindfald er der ikke fundet nogen robust, kvantificerbar sammenhæng mellem mængden af dagslys og sygdomsforekomst i den behandlede litteratur, men syv studier peger på, at mængden af dagslys har indflydelse på den oplevede komfort.

#### **Indirekte afledte effekter i COMBI-studiet:**

Den forøgede vinterdødelighed (egentlig den forøgede graddage-dødelighed) bestemmes vha. oplysninger om dødsfald i de fire vintermåneder december-marts i forhold til resten af året, justeret vha. andel vintergraddage. Derpå foretages et skøn af, hvordan renovering påvirker indetemperaturen (fx en let renovering reducerer dødeligheden med 50%), da der ikke findes solide data for årsagssammenhængen.

Samme metodiske tilgang anvendes i bestemmelsen af mængden af astma DALYs, der skyldes fugt i boligerne – først anvendes statistiske data til at bestemme risikoen for astma, når man udsættes for fugt i boligen og dernæst foretages et skøn over sammenhængen mellem renovering og fugt.

Produktivitet bliver opgjort i aktive dage. Det betyder, at en given stigning i produktiviteten i den tertiære sektor har en værdi i form af flere aktive dage, hvor arbejdsstyrken er effektiv.



#### **Økonomisk værdisætning af indirekte afledte effekter**

Kun omtrent halvdelen af de behandlede kilder benytter en metode til økonomisk værdisætning af de undersøgte indirekte afledte effekter. Generelt værdisætter de tværeuropæiske studier en eller flere af de fundne indirekte afledte effekter. Metoderne brugt er varierende både i antagelser og omfang. Se afsnit

4.3 for hovedresultater fra disse studier. Yderligere er resultater fra andre studier inkluderet i afsnit 4.4.

==>	Værdisætning (=JA)	Værdisætning (=NEJ)
Sundhed	1, 7, 20, 25, 26, 28, 36, 50, 51, 52, 56, 57, 58, 62, 63	8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 23, 27, 30, 31, 33, 35, 37, 38, 39, 44, 46, 47, 53, 54, 55, 61
Produktivitet	1, 20, 36, 56	-
Indlæring	-	-

Tabel 7: Litteraturkilder, der viser sammenhæng mellem indirekte afledte effekter og om kilden foretager en økonomisk værdisætning. Grønne felter betyder, at der er fundet en økonomisk værdisætning, mens røde felter betyder, at der ikke er fundet en økonomisk værdisætning.

Værdien af et statistisk liv

I forbindelse med samfundsøkonomiske analyser kan det være nødvendigt at opgøre værdien af et statistisk liv. I en dansk sammenhæng har Finansministeriet i april 2019 udgivet et "Dokumentationsnotat om værdien af statistisk liv og værdien af leveår". Værdien af et statistisk liv beregnes her som befolkningens betalingsvilje for at opnå en marginal reduktion i risikoen for at dø. I den forbindelse anvendes to begreber, hhv. værdien af statistik liv (VSL) og værdien af leveår (VOLY). VSL kan defineres som den samlede nutidsværdi af værdien af hvert fremtidigt leveår (VOLY). Hvis et givent tiltag eller risikofaktor påvirker sandsynligheden for dødsfald i en bestemt aldersgruppe, fx ældre mennesker, som har færre leveår tilbage end den gennemsnitlige befolkning, anvendes VOLY.

VLS er af Finansministeriet bestemt til 34 mio. DKK-2019, mens VOLY er fastlagt til 1,4 mio. DKK-2019. De anbefalede værdier er estimeret ud fra danske værdisætningsstudier. Værdien af VLS og derved VOLY er for nyligt opjusteret væsentligt (per april 2019), hvorfor tidligere studier har brugt lavere værdier.

Ifølge Finansministeriet er det rimeligt at antage, at betalingsviljen for en reduceret risiko for at dø vil være afhængig forbrugernes realindkomst, så for tiltag, som har en effekt i fremtidige år, anbefales det, at beregningspriserne for VSL og VOLY fremskrives hen over den betragtede projektperiode med udviklingen i real BNP pr. indbygger.

DALY, som beskrevet i afsnittet om indirekte effekter, kvantificerer sygdomsbyrden, og kan økonomisk værdisættes direkte med VOLY. Sygdomsbyrder fra forskellige sygdomme opgjort i DALYs kan derfor tilskrives en værdi af 1,4 mio. DKK-2019 per DALY.

BPIE ([36]) anvender i deres studie Gross Value Added (GVA) til økonomisk værdisætning af produktivitet. GVA er en metrisk enhed for økonomisk produktivitet, som bruges både på mikro- og makroniveau. GVA for et land er bruttonationalproduktet (BNP) rensset for subsidier, skatter og afgifter. GVA bliver af BPIE brugt til at økonomisk værdisætte de indirekte afledte effekter højere effektivitet opnået ved forbedrede indeklimaforhold på kontorer på tværs af Europa. En forøgelse i effektivitet er antaget at have direkte korrelation med en stigning i GVA. GVA-værdier er hentet fra Eurostat-databasen.

**Økonomisk værdisætning i COMBI-studiet:**

Forekomsten af vinterdødelighed og antallet af DALYs som direkte resultat af astma bliver økonomisk værdisat på baggrund af værdien for et statistisk leveår (VOLY). COMBI-studiet bruger en statistisk metode til fastlæggelse af VOLY for de 28 europæiske lande.

Produktivitet bliver værdisat på baggrund af nettoindkomst. Der er antaget, at en given stigning i aktive dage har tilsvarende værdi som indkomst. Den samlede økonomiske værdi af forbedret produktivitet er derfor beregnet som det forøgede antal af aktive dage (i timer) ganget med den gennemsnitlige danske indkomst (timeløn).

### 4.3 Udvalgte resultater fra de tværeuropæiske studier

Herunder er udvalgte hovedresultater fra de tværeuropæiske studier præsenteret. Vi har valgt at præsentere resultater fra netop disse studier, da de alle er blevet nærmere gennemgået og indeholder beregninger specifikt for Danmark. Det er blevet prioriteret af præsentere resultater specifikt for Danmark, hvis disse er dokumenteret. Samtidig med præsentation af resultaterne vil studiets metode og kvalitet blive diskuteret kort, og vi vil notere, hvordan studiet og den bagvedliggende litteratur videre kan bruges indenfor emnet.

Da COMBI-studiet løbende er blevet behandlet kapitlet i gennem og danner grundlag for kapitel 5, vil det ikke blive præsenteret i dette kapitel.

Det er vigtigt at nævne, at flere af de nedenstående studier er finansieret af eksterne virksomheder og ikke er peer-reviewed, hvilket kan så tvivl om deres akademiske værdi. For nærmere diskussion af kilderne se Bilag B.

**Fraunhofer Institut ([11], [44]):**

Baseret på data fra WHO estimerer Fraunhofer Institut, at andelen af den danske befolkning med klinisk astma er 10,19%. Yderligere resultater specifikt for

Danmark er ikke nævnt i studiet ej eller den dertilhørende dokumentation. Studiet har fundet frem til en odds ratio (OR) mellem fugt og skimmel i bygninger og forekomsten af astma på mellem 1,25 og 1,8.

Fraunhofer-studiet bygger hovedsageligt på data fra EU-SILC-undersøgelsen. Den økonomiske værdisætning er svagt dokumenteret og disse resultater har vi derfor valgt at ikke præsentere. Studiets styrke er en robust statistisk metode til opstilling af odds ratios mellem forekomsten af en række sundheds-indikatorer og det at bo i en bygning plaget af fugt og skimmel.

#### **ECOFYS ([14], [30]):**

ECOFYS er kommet frem til, at 11% af den danske befolkning, der bor i boliger med utæt tag ("leaking roof"), rapporterer et generelt dårligt helbred ("poor general health"). Modsat rapporterer 8% af danskere, der bor i boliger uden utæt tag, et generelt dårligt helbred. 22% af danskere, der bor i boliger med dårlige lysforhold ("bad lighting conditions"), rapporterer et generelt dårligt helbred. Modsat rapporterer 8% af danskere, der bor i boliger med gode lysforhold, et generelt dårligt helbred.

ECOFYS' opstillede korrelation mellem helbred og boligstandard er lavet på baggrund af EU-SILC-undersøgelsen. Studiet peger selv på, at yderligere forskning med fokus på socioøkonomiske og demografiske variable er nødvendig for at fastlægge mere robuste sammenhænge.

#### **Eurofund ([25])**

Eurofund opstiller på baggrund af tre spørgsmål i European Quality of Life Surveys (EQSL) et billede af den europæiske boligmasses stand. For Danmark beregnes det, at omkring 15% af danskerne oplever enten problemer med fugt og skimmel, problemer med råd, eller problemer med at betale for tilstrækkelig opvarmning. På tværs af EU28 er tallet cirka 22%. På baggrund af EU-SILC er det beregnet, at omkring 2% af Danmarks befolkning bor i alvorlig utilstrækkelige bygninger ("severe housing deprivation") per 2013. Dette er en lille stigning ift. 2007. Nyeste tal (efter Eurofunds udgivelse) fra Eurostat siger, at 2,6% af Danmarks befolkning per 2017 bor i alvorlig utilstrækkelige bygninger.

Eurofund opstiller enhedsværdier i EUR per tilfælde for potentielle besparelser ved eliminering af fem forskellige fareforhold (forholdene er gengivet på engelsk, da de er fast defineret):

Fareforhold	Besparelser i sundhedsvæsen	Totale samfundsbesparelser
Kollaps af bygningselementer	95	1.022
Fugt	321	813
Personlig hygiejne	128	339
"Excess cold"	704	12.541
"Overcrowding"	106	1.694

Tabel 8: Eurofunds estimeringer af potentielle besparelser ved eliminering af fem fareforhold (EUR/bolig).

Det er beregnet, at det vil koste 7.123 EUR per boligrenovering i Danmark, og at det samlet vil koste lige over 2,3 milliarder EUR at eliminere de fem nævnte fareforhold i danske boliger. På baggrund af enhedsværdierne gengivet i Tabel 8 beregnes det, at de årlige potentielle besparelser er lige under 0,6 milliarder EUR, hvilket giver en tilbagebetalings tid på cirka 4 år. Samlet for EU28 er tilbagebetalingstiden beregnet til 1,52 år, hvilket bliver opsummeret flere gange gennem rapporten som: *"for every 3€ invested in improving housing conditions, 2€ would come back in savings in one year"*.

Generelt er Eurofund-studiet relativt ugenomsigtigt, og der bliver ikke klart redegjort for antagelser og metode. Grundet manglen på dokumentation kan det ikke vurderes, om de angivne økonomiske beregninger er robuste.

#### **VELUX (baseret på RAND Europe) ([28]):**

Ifølge VELUX bor 31% af danske børn i "unhealthy homes". Unhealthy homes er ikke fast defineret, men er etableret på baggrund af oplysninger fra EU-SILC. Danmark har en sygdomsbyrde for børn mellem 0 og 15 år på 548 DALYs grundet fugt og skimmel. Danske børn mister årligt 29.393 skoledage grundet fugt og skimmel.

Udover konsekvenserne for børn, der lever i boliger med dårligt indeklima, er det også undersøgt hvordan forbedring af ventilationsraten i de danske skoler vil have en gennemsnitlig økonomisk effekt på BNP (i millioner USD) på:

Ventilationsrate	2040	2050	2060
0,5 l/s	5,8	14,2	24,3
1,0 l/s	11,6	28,4	48,5
1,5 l/s	17,3	42,4	72,3
2,0 l/s	22,9	56,2	95,8
2,5 l/s	28,4	69,7	118,8
3,0 l/s	33,8	82,8	141,2

Tabel 9: Ventilationsraten i danske skolers indflydelse på det danske BNP (millioner USD). Kilde: RAND Europe [28].



RAND Europe undersøgelsen indeholder et omfattende litteratur-review af over 1.200 kilder. Ved yderligere interesse og fokus på indeklimaets sundheds-effekter på børn og unge kan studiet have høj værdi. Ovennævnte resultater er kun et udpluk af de vigtigste fund i studiet.

### **BPIE ([36]):**

BPIE har på baggrund af et litteraturstudie inddelt deres resultater i metriske enheder. Her sammenkobles direkte afledte effekter med indirekte afledte effekter:

	Direkte afledte effekt	Indirekte afledte effekt
<b>Skoler</b>		
Temperatur	Reduktion af over-opvarmning (1 grad celsius)	Forøgelse af indlæringssevne (learning performance) med 2,3%
Luftkvalitet	Forøgelse af ventilationsrate (1 l/s/per op til 15 l/s/per)	Forøgelse af akademisk præstation (academic performance) med 1%.
Luftkvalitet	Reduktion af CO2-koncentration (100 ppm)	Reduktion af sygdoms-relateret fravær med 0,5%
Lys	Forbedret lysstyrke (100 lux)	Forøgelse af uddannelsespræstation (educational performance) med 2,9%
Lys	Bedre dagslys (ingen metrisk enhed)	Forøgelse af uddannelsespræstation (educational performance) med 9% til 18%
Lyd	Reduktion af lydniveau (1 dB)	Forøgelse af akademisk præstation (academic performance) med 0,7%
<b>Kontorer</b>		
Temperatur	Reduktion af over-opvarmning (1 grad celsius)	Forøgelse af arbejdspræstation (worker's performance) med 3,6%
Luftkvalitet	Forøgelse af ventilationsrate (1 l/s/per)	Forøgelse af arbejdspræstation (worker's performance) med 0,8%
Lys	Forbedret lysstyrke (100 lux)	Forøgelse af arbejdspræstation (worker's performance) med 0,8%
Lys	Bedre dagslys (ingen metrisk enhed)	Forøgelse af præstation (performance) med gennemsnitligt 10%
Lyd	Reduktion af lydniveau (1 dB)	Forøgelse af præstation (performance) med gennemsnitligt 0,3%

*Tabel 10: Hovedresultater fra BPIEs litteraturstudie om sammenkoblinger mellem direkte og indirekte afledte effekter for skoler og kontorer. Kilde: BPIE [36].*

BPIE-studiet tilskriver forbedringen i produktivitet for kontorer en værdi på 40 milliarder EUR per procentvis stigning i produktivitet for hele EU. Ved gennemgang af antagelser og det bagvedliggende datagrundlag finder vi dog kvaliteten

af studiet lav, og ovenstående resultater kan kun bruges som overordnede indikatorer på sammenhænge mellem direkte og indirekte afledte effekter. Studiets opstilling af metriske enheder for forskellige parametre er ikke dokumenteret, men er en overskuelig og videre brugbar metode til at skabe sammenkoblinger.

#### **4.4 Yderligere udvalgte resultater**

Udover de tværeuropæiske studier præsenterer vi herunder udvalgte to vigtige kilder mht. økonomisk værdisætning fra USA og Sverige, samt to danske kilder, der indeholder værdisætning af lokal luftforurening i Danmark.

##### **U.S. Weatherization Assistance Programme ([20]):**

Det omfattende "U.S. Weatherization Assistance Programme" er en tilskudsordning til renoveringer af boliger med lavindkomst-beboere i en række amerikanske stater. Hovedsageligt bliver der udført energimæssige forbedringer af klimaskærmen, men siden 2011 har der også været fokus på ventilation. Programmet har kørt siden 1976. Det er først inden for de sidste år, at evalueringer har forsøgt at værdisætte de afledte effekter af programmets renoveringer. Survey-undersøgelser omkring renoveringer foretaget i 2011 og 2013 med før- og efter-svar er brugt til at fastlægge de økonomiske gevinster af færre sygedage og medicinale besparelser.

Ifølge den statistiske analyse af spørgeskemaerne konkluderer Oak Ridge National Observatory, at den økonomiske værdi af de afledte effekter for de enkelte beboere gennemsnitligt er 583 USD (svarende til ca. 4.000 DKK) fra ekstra lønindtægt grundet færre sygedage og 514 USD (svarende til ca. 3.500 DKK) i sparet udgift til medicin. Derudover fastslår analysen også med en statistisk sikkerhed på 91,5%, at der efter energirenovering er omkring 6 gange mindre chance for, at astmatilfælde kræver ambulanceudrykning.

De meget specifikke økonomiske værdier skal tolkes med forbehold, da de er baseret på spørgeskemaer, altså folks egne estimater af de økonomiske værdier. Det fremgår ikke klart, hvilke energirenoveringer der giver hvilke direkte afledte effekter, ej heller hvilke direkte afledte effekter der giver færre sygedage og reducerede medicinale omkostninger. Ydermere er analysen foretaget med data fra 2011 og 2013, som ligger efter indførelse af krav i programmet om ventilation. Tidligere omtalte problemstilling med klar differentiering af, om det er forbedring af klimaskærm eller ventilation, som er den største bidragsyder til de afledte effekter, er derfor meget aktuell i relation til dette studie.

### **Copenhagen Economics ([1]):**

Konsulentvirksomheden Copenhagen Economics har for STEM, den svenske energistyrelse, i 2016 gennemført et bredt studie af afledte effekter ved renovering af den svenske bygningsmasse. Mange af de analyserede områder i studiet falder uden for feltet af denne opgave, fx vurderes reduktionen i helbredsomkostninger som følge af reduceret luftforurening opnået i forbindelse med udbedring af energiproduktionsfaciliteter.

Øget produktivitet som følge af forbedret indeklima i kontorer indgår i undersøgelsen. Det er beregnet, at en reduktion af Sick Building Syndrome har en økonomisk værdi for hele Sverige på op mod 600 mio. SEK i 2020 og 1,1 mia. SEK i 2030. Den øgede produktivitet er antaget at komme fra færre sygedage. Derudover benævner rapporten, at et bedre indeklima *muligvis* vil forbedre skoleelevers indlæringssevne. På baggrund af et andet studie konkluderes det, at forbedret ventilation har øget antallet af elever, der består eksamen i læsning og matematik med 3%.

Det er vores vurdering, at studiet er relaterbart til danske forhold, da det forventes at forhold for kontorer, såsom arbejdsmiljø, minder om hinanden i Danmark og Sverige. Et lignende regnestykke for reducerede sygedage og derved forbedret produktivitet kan foretages for Danmark med anvendelse af en lignende metode. I Bilag B er studiets metode nærmere beskrevet.

### **DCE, COWI og Aarhus Universitet ([51], [52]):**

To tilsvarende undersøgelser, foretaget for Region Hovedstaden og Aarhus Kommune, har haft til formål at fastlægge helbredseffekter og relaterede omkostninger ved luftforurening. Begge studier medtager en lang række forureningskilder (transport, industri mm.), mens det er muligt at isolere forureningen af PM<sub>2.5</sub> i ikke-industriel forbrænding i husholdninger, fx fra brændeovne og pillefyr. Studierne regner sig frem til, at udledningen af PM<sub>2.5</sub> fra ikke-industriel forbrænding har helbredsomkostninger til en værdi af 60,7 mio. DKK (2013-priser) for Aarhus Kommune og 570,5 mio. DKK (2013-priser) for Region Hovedstaden.

Der er ifølge forfatterne, betydelig usikkerhed med hensyn til helbredseffekterne af eksponering af forskellige forureningspartikler. Data fra WHO er blevet brugt til kortlægning af helbredseffekterne. Dette er data generaliseret på tværs af aldersgrupper og lande, hvilket bidrager til usikkerheden, når dataene bliver anvendt specifikt i Danmark. Studierne refererer dog til en række andre studier, som viser, at der er høj korrelation mellem PM<sub>2.5</sub> og helbredseffekter.

Der er brugt gamle værdier for værdien af et statistisk menneskeliv (VSL), som bør korrigeres til de nyeste fremskrivninger fra Finansministeriet, hvis værdierne ønskes brugt.

## 5 Værdisætning af de danske afledte effekter med udgangspunkt i COMBI

I dette kapitel beskrives antagelser og beregninger vedrørende Danmark anvendt i det europæiske COMBI-studie. Vi forventer nemlig, at COMBI-studiet pga. sit omfang vil blive refereret til i årene fremover i den europæiske debat omkring energirenovering. Derfor har vi fundet det relevant at gennemgå de anvendte data for Danmark samt regnemetoder for at illustrere udfordringen i at bestemme og værdisætte indirekte afledte effekter af energirenoveringstiltag. Datagrundlaget for kausaliteten mellem tiltag og effekt er til tider begrænset og derfor foretages også i COMBI-studiet estimater for at kompensere for manglen på data. Når der samtidig skal dannes et overblik på EU-niveau, der omfatter alle 28 medlemsstater, begrænses rådigheden af data yderligere og dermed forsvinder nogle af nuancerne, da der ikke findes samme statistiske materiale for alle 28 medlemsstater. Hensigten med dette kapitel er således at synliggøre de enkelte arbejdsskridt samt fremhæve anvendte antagelser.

COMBI-studiet

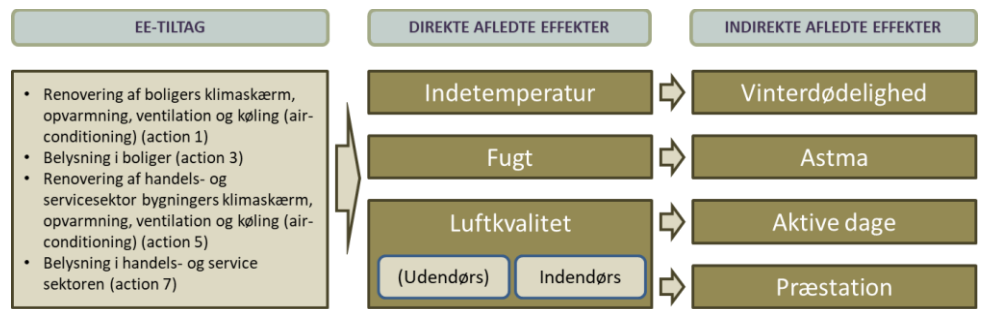
COMBI-studiet er et arbejde delfinansieret af EU Horizon2020. Det er gennemført i perioden marts 2015 til februar 2018 af Wuppertal Institut (DE), Advanced Building & Urban Design (HU), Copenhagen Economics, Antwerp Universitet (NL) og Manchester Universitet (UK). COMBI-studiets ambition har været at skabe et overblik over de væsentligste afledte effekter i 2030 i de 28 EU-medlemsstater baseret på en gennemgang af eksisterende litteratur (meta-data) og videreudvikling af metodikken til bestemmelse af afledte effekter.

I alt 21 forskellige EE<sup>j</sup>-tiltag til forbedring af bygninger, belysning, transport og industrielle processer er analyseret inden for husholdninger og erhverv. De behandlede afledte effekter omfatter luftforurening, ressourceforbrug, sundhed, makroøkonomiske effekter og forsyningsikkerhed. COMBI-studiet er således det mest omfattende studie gennemført inden for de seneste år på tværs af EU-medlemsstaterne.

Af interesse for vores analyse er de direkte afledte effekter som COMBI har behandlet for 4 EE-tiltag – se figuren nedenfor. Flere detaljer kan findes i Bilag C.

---

<sup>j</sup> Energy Efficiency

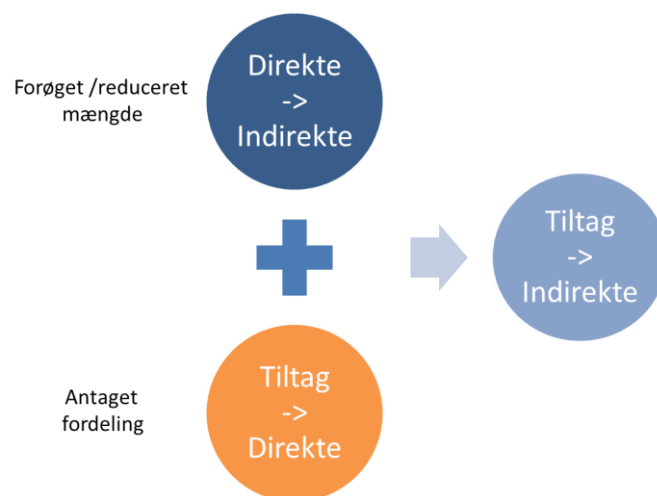


Figur 24: Analyse-dele fra COMBI-studiet, der har relevans for dette litteraturstudie.

COMBI-studiet har som konsekvens af sin præmis været bundet af at skulle finde en ensartet metode og data for alle 28 EU-medlemsstater. I det følgende gennemgår vi summarisk beregningsmetoden for hver af de tre indirekte afledte effekter vinterdødelighed, astma og præstation med henblik på at synliggøre metoden og derpå følsomheden over for opdaterede og mere nuancerede danske data.

Først bestemmes forbindelsen mellem den direkte afledte effekt (fx lav indetemperatur) og den indirekte afledte effekt (øget dødelighed) og dernæst hvordan renoveringer kan formodes at påvirke disse. Til slut bestemmes den økonomiske værdi af de indirekte afledte effekter. **Antagelser gjort undervejs af COMBI-konsortiet er fremhævet med rødt. Basis for COMBI-konsortiets antagelser er summarisk beskrevet i Bilag C og yderligere detaljer kan findes i COMBI-rapporterne. Detaljerne er ikke inkluderet her i teksten, da hensigten først og fremmest har været at tydeliggøre, hvornår der gøres antagelser frem for, hvilken litteratur de er baseret på.**

Arbejdsgangen er søgt illustreret i nedenfor.



Figur 25: Grafisk illustration af arbejdsgang i COMBI-studiets beregninger.

## 5.1 Udviklingsscenarier mod 2030

Antagelser gjort i COMBI-studiet vedrørende energimix og udvikling i bygningsmassen samt energirenoveringstiltag i de analyserede udviklingsscenarier frem mod 2030 for bygningsmassen afviger noget fra de mere nuancerede og opdaterede data for Danmark. De store træk præsenteres kort neden for. Det kunne være relevant at tage udgangspunkt i egne danske fremtidsscenarier og renoveringstiltag, hvis man ønsker at kvantificere de danske afledte effekter mere nøjagtigt.

COMBI-studiet opererer med et baselineforbrug med udgangspunkt i 2015-data og to fremskrivninger frem til 2030, hhv. en referencefremskrivning (REF) og en energieffektiviseringsfremskrivning (EE).

COMBI-studiets opgørelser af energiforbruget til opvarmning og fremskrivningerne af energiforbruget adskiller sig på flere punkter fra Energistyrelsens officielle energistatistik og fremskrivningen af energiforbruget i Basisfremskrivning 2019.

Energiforbrug

COMBI-studiet regner med et energiforbrug til opvarmning af husholdninger på 154 PJ i 2015, som er studiets basisår. Det er ca. 6 PJ under det energiforbrug til opvarmning, som opgøres i Energistyrelsens Energistatistik. Inden for de enkelte energiarter er der ligeledes væsentlige forskelle til Energistatistikken, eksempelvis forudsætter COMBI-studiet et lavere fjernvarmeforbrug og et lavere biomasseforbrug end i Energistatistikken, hvorimod anvendelsen af naturgas er overvurderet.

Forbruget i "overlevende" boliger fremskrives til 135 PJ i 2030 i referenceudviklingen og til 117 PJ i effektivitetsudviklingen. Med overlevende boliger, menes boliger, som ikke rives ned over perioden 2015-2030. COMBI-studiet regner dog med en lav nedrivningsprocent på ca. 0,1% årligt, så fremskrivningen omhandler stort set hele den eksisterende bygningsmasse. Intentionen med COMBI-studiets referencefremskrivning har været at matche EU-Kommissionens fremskrivninger med PRIMES-modellen, men i praksis var det ikke muligt pga. manglende adgang til de relevante data.

Derfor har COMBI-studiet anvendt en mere rudimentær fremskrivningsmetode i referencen for 2030 baseret på følgende forudsætninger:

- 2,5% af bygningsmassen energirenoveres årligt<sup>k</sup> mellem 2015 og 2030.

---

<sup>k</sup> COMBI-rapport D2.2 Annex s. 8.

- Blandt de bygninger, der renoveres, gennemgår 10% en let renovering (light retrofit), 59% en medium dyb renovering (medium retrofit) og 31% en dyb energirenovering (deep retrofit)<sup>1</sup>.

Hvad der er indeholdt i en let/mellem/dyb renovering er beskrevet i COMBI-rapport D2.2.

I energieffektiviseringsscenariet forudsættes 3,0% af bygningsmassen årligt at gennemgå en energirenovering, og her foretages samtidigt dybere energirenoveringer således at 5% af bygningerne renoveres til nearly-zero-energy bygninger og 95% til passivhus-standard.

Fremskrivningen i referenceudviklingen svarer til en reduktion i energiforbruget på ca. 12% over perioden 2015-2030 eller ca. 0,8 procentpoint årligt. I energieffektiviseringsforløbet reduceres energiforbruget til opvarmning med 24% over den 15-årige periode svarende til 1,6 procentpoint årligt.

Sammenlignet med den historiske udvikling af energiforbruget til opvarmning i Danmark og SBIs potentialevurderinger, er der tale om ret markante reduktioner i energiforbruget i begge scenarier. Som tidligere nævnt vurderes energiforbruget til opvarmning historisk set at være reduceret med ca. 0,2% årligt, mens Ea Energianalyses analyse fra 2018 på baggrund af SBIs data vurderer, at en årlig reduktion i energiforbruget som følge af energirenoveringer på ca. 1% vil være samfundsøkonomisk attraktiv. COMBI-studiets referencescenarie for udviklingen frem til 2030 ligger således tættest på det samfundsøkonomisk mest rentable forløb, mens energieffektiviseringsscenariet i COMBI-studiet går længere end det der i en dansk sammenhæng vurderes at være samfundsøkonomisk rentabelt<sup>m</sup>.

#### Energiforsyning

COMBI-studiets fremskrivning af boligernes energiforsyning i både reference- og effektiviseringsforløbet indeholder desuden nogle pudsigheder. På flere punkter matcher den de officielle fremskrivninger, fx antages forsyning fra oliefyr at falde og forsyningen fra varmepumper at stige, men samtidigt forudsættes et kraftigt fald i fjernvarmeforsyningen, mens forsyningen fra gasfyr stiger kraftigt. Denne del af udviklingen forklares ikke.

<sup>1</sup> COMBI-excel-fil D2.3 Data provision Annex – Inputs for scenario building.

<sup>m</sup> For mere information henvises til "Samfundsøkonomisk værdi af varmebesparelser – Optimum mellem forsyningsomkostninger og varmebesparelser i eksisterende bygninger", Ea Energianalyse, marts 2018. samt "Varmebesparelser i eksisterende bygninger – Potentiale og økonomi", SBI, Serietitel 2017:16, ISBN 978-87-563-1862-4.



Handel og service

Indenfor handel og service er der en væsentlig forskel på det energiforbrug, der forudsættes i COMBI-studiet i 2015, nemlig 13 PJ, og det faktiske energiforbrug ifølge Energistyrelsens Energistatistik, nemlig ca. 44 PJ. Hvorfor COMBI-scenariet anvender et andet og lavere udgangspunkt end det faktiske, har vi ikke kunnet afklare. I reference-scenariet falder energiforbruget til opvarmning i handel og service med ca. 13% frem til 2030, mens det i energieffektiviserings-scenariet reduceres med 19%. Igen vurderer vi, at referenceudviklingen bedst matcher en samfundsøkonomisk rentabel udvikling.

## 5.2 Vinterdødelighed

Grundantagelse

**COMBI-antagelse: Utilstrækkelig opvarmning af boliger fører til for tidlig død.**

Indikator: Forøget vinterdødelighed sfa. koldt vejr. Dette kaldes på engelsk for "excess cold weather deaths" (ECWD)

**COMBI-antagelse: Vinter defineres som de fire måneder december-marts.**



Figur 26: Forøget vinterdødelighed som følge af koldt vejr.

### Forøget vinterdødelig som følge af koldt vejr

Død og vintermåneder

Første trin er at bestemme, hvor mange flere dødsfald per måned, der sker i de fire vintermåneder sammenholdt med de øvrige 8 måneder af året. Dette kaldes vinterdødelighed (engelsk: excess winter deaths, EWD):

$$EWD = \frac{\left(\frac{1}{4} * \text{dødsfald i vintermånederne}\right)}{\left(\frac{1}{8} * \text{dødsfald resten af årets måneder}\right)}$$

- Datakilde: Eurostats 'Deaths (total) by month [demo\_mmonth]'
- Resultat: 2.300 EWD årligt svarende til 12.8% af det samlede årlige vinterdødsfald, hvis baseret på Eurostat-tal for perioden 1996-2014.

Den oven for anvendte definition af vinter antages af COMBI-konsortiet at forvride billedet for langt de fleste EU-28 lande, da der ikke tages højde for det faktiske kuldeniveau men blot vedtagne vintermåneder. Derfor introduceres i

stedet graddage. Graddage er et mål for, hvor koldt det har været og hvor meget energi der bruges til rumopvarmning. Graddagetallet gør det muligt at normalisere tallene måned for måned i forhold til et normalår.

Død og udetemperatur

**COMBI-antagelse: Ved at anvende et graddageindeks afspejles de kolde dage bedre i beregningen.**

Derfor beregnes forøget vinterdødelig som følge af koldt vejr (excess cold weather deaths, ECWD) og til dette anvendes information om graddage:

$$ECWD = EWD * \frac{\left(\frac{1}{4} * \% \text{ graddage i vintermånederne}\right)}{\left(\frac{1}{8} * \% \text{ graddage resten af årets måneder}\right)}$$

- Datakilde: Eurostats 'Cooling and heating degree days by country – monthly data [nrg\_chdd\_m]' og metodisk inspiration fra kilde (Liddell et al, 2015).
- Resultat: 3.047 ECWD svarende til 9.9% af det samlede årlige vinterdødsfald, hvis baseret på tal for perioden 1996-2014.

Det ses, at tallet for den forøgede dødelighed bliver væsentligt højere, mens andelen bliver noget lavere.

Lav indetemperatur

Derpå skal populationen, der har for kold indetemperatur, bestemmes. Det findes der ikke faktiske data om, så en *indikator* på dette anvendes i stedet, nemlig den andel af befolkningen, som ifølge selvudsagn, ikke har råd til at opvarme deres bolig tilstrækkeligt.

- Datakilde: EU-SILC surveyets spørgsmål HH050, surveyet er som nævnt i tidligere kapitler udelukkende baseret på respondenternes selvudsagn uden efterprøvning.
- Resultat: 1.9-3.8% siden 2010.

Sammenhæng mellem indetemperatur og død

**COMBI-antagelse: Hvis mindre end 5% af befolkning, ifølge selvudsagn, er ude af stand til at opvarme deres bolig tilstrækkeligt, så kan 10% af den forøgede vinterdødelig som følge af koldt vejr tilskrives kolde temperaturer indendørs.**

- Datakilde: COMBI-skøn baseret bl.a. på en kombination af et skøn foretaget af WHO for hele EU28 (30%) og skøn baseret på EU-SILC surveyets resultater for spørgsmålet om, hvorvidt respondenterne er i stand til

at opvarme sin bolig tilstrækkeligt. For mere information se Bilag C s. 21 eller COMBI-rapport D5.4 s. 27.

- Resultater: 3.047 ECWD x 10% = 305 dødsfald årligt.

#### Dødsfald som følge af koldt vejr, der kan undgås ved EE renovering

Så skal relationen mellem renoveringstiltag og direkte afledt effekt bestemmes.



Figur 27: Dødsfald som følge af koldt vejr (ECWDs), der kan undgås ved EE renovering.

#### Død og renoveringer

COMBI-antagelse: Let, mellem og dyb renovering reducerer ECWD med hhv. 50%, 80% og 100%, mens nye standardboliger, nearly-zero-energy boliger og passivhuse reducerer ECWD med hhv. 80%, 100% og 100%.

- Datakilde: COMBI-rapport D5.4 tabel 9 s. 31 skøn.
- Kommentar: "Gevinsten" ved at gå fra medium/dyb renovering til nearly-zero-energy bolig og passivhus er relativt lille eller nul – og derfor bliver EE-scenariets reduktion i dødsfald lille sammenlignet med skridtet fra baseline til reference.

#### Socialt sårbare

COMBI-antagelse: Det er "socialt sårbare" mennesker, der dør pga. usundt indeklima som følge af koldt vejr. COMBI-konsortiet argumenterer for dette med udgangspunkt i forskellig litteratur. Begrundelserne præsenteret er, at indendørs kulde og fugt er symptomer på energifattigdom og at energifattigdom er manglende evne til at betale for energitjenester, hvilket kan tilskrives dårlige boligforhold, lav indkomst, relativt høje udgifter til energi sammenholdt med husstandsindtægten og mangel på adgang til finansielle ressourcer til boligrenovering (COMBI-rapport D5.4 s.16-18).

COMBI-antagelse: Folk, der i EU-SILC surveyet svarer, at de er ude af stand til at holde deres bolig tilstrækkelig varm, er "socialt sårbare" mennesker. Dette er ifølge vores opfattelse formentlig en af de svagest dokumenterede sammenhænge.

Fra første trin fandt COMBI-konsortiet, at 305 dødsfald kan tilskrives kolde temperaturer indendørs som følge af koldt udevejr.

#### Socialt sårbare og renovering

COMBI-antagelse: Socialt sårbare lever i bygninger, der kan renoveres let eller renoveres samt i nye standardbygninger.

Med andre ord, så lever de socialt sårbare ifølge antagelsen ikke i nearly-zero-energy bygninger eller passivhuse og har ikke råd til dybe renoveringer. Antallet af dødsfald som følge af koldt vejr, som kan undgås ved renovering, afhænger af hvor mange socialt sårbare, der bor i hver bygningstype. Der skelnes mellem tre renoveringspolitikker:

- Ingen målretning af renovering mod socialt sårbare;
- Prioritering af socialt sårbare – En mellemting mellem de to andre politikker;
- Socialt sårbare først.

Og der arbejdes i COMBI-studiet med en baseline (2015) og to 2030-scenarier for udviklingen i bygningsmassen, nemlig et reference- og et energieffektiviserings-scenarie er:

- Reference-scenarie – Antal renoveringer er 2,5% årligt og ikke så omfangsrige;
- EE-scenarie – Antal renoveringer er 3,0% årligt og dybere.

Resultat – reduceret dødelighed

For hver af de tre politikker og to scenarier beregnes reducerede dødsfald som følge af energirenoveringstiltag.

- Datakilde: COMBI scenario-analyser.

Renoverings-politik	2030-Reference		2030-EE	
	Andel	Reduceret antal dødsfald	Andel	Reduceret antal dødsfald
Ingen målretning	5%	16	11%	32
Prioritering af socialt sårbare	34%	104	42%	127
Socialt sårbare først	100%	305	100%	305

Tabel 11: Potentiale i Danmark for reduktion af forøget vinterdødelighed (antal dødsfald per år) som følge af koldt vejr ved renovering. Bemærk, at nye standardboliger indgår i antallet af boligforbedringer og ikke kun let/mellem/dyb energirenovering – kun nybyggede nearly-zero-energy boliger og passivhuse er ekskluderet.

Værdien af forøget dødelighed kan ifølge COMBI-konsortiet sættes lig værdien af et enkelt statistisk leveår (VOLY). Det antages med andre ord af COMBI-konsortiet, at de personer, der dør for tidligt, fordi de bor i en kold bolig, ellers ville have levet 1 år længere. To af begrundelserne givet er, at den udsatte del af befolkningen overvejende er seniorer og at man ønsker at sikre sig et konservativt estimat<sup>n</sup>. Forudsætningen har selvsagt stor betydning for resultatet og er ikke

<sup>n</sup> COMBI-rapport D5.4 side 43.

nærmere begrundet i COMBI-studiet. Havde man antaget, at de samme personer i stedet havde levet 5 år længere, ville værdien ligeledes være 5 gange højere.

COMBI-studiet anvender en VOLY-værdi på 232.791 EUR-2015 (svarende til ca. 242.000 EUR-2019) beregnet ud fra OECD-data for 2012<sup>o</sup>. Antages kurs 7,45 DKK/EUR svarer dette til ca. 1,7 mio. DKK-2015 (svarende til ca. 1,8 mio. DKK-2019).

Anvendes i stedet Finansministeriets 1,4 mio. DKK2019/VOLY<sup>p</sup>, så betyder en renoveringspolitik, der prioriterer socialt sårbare boliger, en besparelse på 427 mio. DKK-2019 årligt, mens der i en referenceudvikling, som ikke målrettes socialt sårbare, blot opnås en gevinst på 22 mio. DKK2019 årligt.

Det er værd at bemærke, at der kan opnås en stor gevinst alene ved at gå fra baseline til Reference-udviklingen og at prioriteringen af socialt sårbare betyder mere end valget af renoveringsforløb.

### **Forbedringsmulighed**

Ud over at anvende en opdateret dansk værdi for VOLY, så kan følgende overvejes mhp. at forbedre validiteten af regnestykkerne udført i COMBI-studiet:

- Kan vinterdagsbegrebet raffineres yderligere? Dette har formentlig mindre betydning end nogle af de følgende parametre men er nok lettere at fremskaffe data for.
- Kan der dokumenteres en entydig sammenhæng mellem udetemperaturer og indetemperaturer, især for boliger med socialt sårbare? I lande som Danmark, hvor boligerne er bygget til både sommer og vintervejr, er der måske andre faktorer, der kan "drukne" en eventuelt side-effekt af renovering.
- Findes der et dansk alternativ til selvudsagn om, hvorvidt husholdningen har råd til opvarmning?
  - Kan der overhovedet sættes lighedstegn mellem SILC-undersøgelsens svar på "Har din husstand/du råd til ... at holde boligen tilstrækkeligt opvarmet?" og for kold indetemperatur?
  - Kan der findes en alternativ og bedre beregningsmetode for kold indetemperatur end COMBI-skønnet, at 10% af dødelighed kan tilskrives dårlig opvarmning, hvis andelen af befolkning

---

<sup>o</sup> Bilag C s. 35.

<sup>p</sup>"Dokumentationsnotat om værdien af statistisk liv og værdien af leveår", Finansministeriet, april 2019.

gen, som ifølge selvudsagn, ikke kan opvarme deres bolig tilstrækkeligt (socialt sårbare) er under 5%? Findes der reelt et alternativ til SILC?

- COMBI-studiet skønner, at let renovering reducerer antal dødsfald med 50% – Findes der alternative data for forholdet mellem renovering og ændret dødelighed? Dette vil have stor betydning for udfaldet af det samlede regnestykke.
- Vil udviklingstempo og dybde af renovering baseret på nyere danske data, give større overensstemmelse med seneste politikker og strategier?
- Kunne det give mere mening at differentiere på bygningstype (fx en-/flerfamilieboliger, indtægtsgrupper, ...) og måske helt undlade at lave et samlet nationalt estimat og i stedet nøjes med delmængder af boligerne.; eventuelle politikker kunne tage afsæt i de samme delmængder?

### 5.3 Astma

Nogenlunde samme fremgangsmåde som for reduktionen i vinterdødelighed anvendes til beregning af den reducerede forekomst af astma, som kan tilskrives energirenoveringer.

Grundantagelse

**COMBI-antagelse: Fugt i boliger bidrager til fugt, som bidrager til astma, hvilket betyder for tidlig død og leveår med begrænset helbred.**

Indikator: Sygdomsbyrden målt i sygdomsjusterede leveår (på engelsk: Disability-Adjusted Life Year, DALY<sup>9</sup>).

Forøget astma som følge af fugt



Figur 28: Astmatilfælde opgjort i DALYs som resultat af eksponering for fugt.

Fugteksponering

Hvor stor en andel af befolkningen, der eksponeres for boliger med fugt hentes fra EU-SILC-undersøgelsens spørgsmål om, de adspurgtes bolig har 1) fugtige vægge, gulve eller fundament; 2) Utæt tag; eller 3) Råd eller svamp i vinduesrammer eller gulv.

<sup>9</sup> Se evt. kapitel 4 for mere information om begrebet DALY.

- Datakilde: EU-SILC datatabel ilc\_mdho01.
- Resultat: 16,4% af populationen blev eksponeret til fugt som årligt gennemsnit i perioden 2012-2014.

En kommentar til SILC-undersøgelsen data om fugt kan ses i tekstboksen længere fremme i teksten.

Henførbare risiko

Den henførbare risiko ("attributable risk") for astma er den procentvise forskel i observeret sundhed mellem den eksponerede og den u-eksponerede population. Det udtrykker med andre ord den sygdomsbyrde, der ville forsvinde, hvis der ikke var nogen risiko for forekomst af fugt i boliger.

- Datakilde: Estimat fra Quansah et al 2012. Se Bilag C s.25-27 for mere information.
- Data: Henførbare risiko for astma = 1,33 med et konfidensinterval på 1.12-1.56.

PAF

Den andel af befolkningens samlede DALY for et givent år, som skyldes astma, skal beregnes. Denne andel kaldes på engelsk "Population attributable fraction" (forkortet til PAF). PAF beregnes ud fra andelen af populationen, der eksponeres for fugt og risikoen for at få astma ved eksponering.

$$PAF = \frac{\text{Eksponeret andel af populationen} * \text{henførbare risiko}}{(\text{eksponeret andel af populationen} * \text{henførbare risiko}) + 1}$$

Indsættes tallene fra før, så fås:

$$PAF = \frac{16,4\% * 1,33}{(16,4\% * 1,33) + 1} = 5.13\%$$

Astma DALYs 2015

Astmabyrden i 2015, som kan tilskrives fugt, er ifølge COMBI-studiets beregninger 801 DALYs.

- Datakilde: <http://ghdx.healthdata.org/>

### Opgørelse af fugtproblemer:

EU-SILC undersøgelsens datasæt [ilc\_mdho01] bruges af flere kilder inklusive COMBI-studiet til at fastsætte andelen af befolkningen, der udsættes for fugt i boligen, og dermed andelen af astmatilfælde der kan påvirkes af energirenoveringer. SILC-undersøgelsen er som nævnt tidligere baseret på selvudsagn fra interviewede borgere. I interviewet spørger intervieweren: Har I/du et eller flere af følgende problemer i boligen? Svarmulighederne vedrørende fugt er: HH040\_Q1] Fugtige vægge, gulve eller fundament – ja/nej; [HH040\_Q2] Utæt tag – ja/nej; [HH040\_Q3] Råd eller svamp i vinduesrammer eller gulv – ja/nej.

GEO/TIME	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
European U:		16,1	15,6	15,1	15,6	15,7	15,2	15,4	13,3	13,7
Denmark	7,8	8,0	16,3	17,6	16,6	15,0	16,1	15,9	14,9	16,4
Germany (u	14,0	13,3	13,7	13,5	13,1	12,3	12,8	13,1	12,5	13,4
Netherlands	14,2	15,2	14,6	16,2	15,6	15,8	15,7	16,3	13,5	15,8
Finland	4,9	5,0	5,7	6,0	5,2	5,0	4,4	4,7	4,2	4,6
Sweden	6,8	8,0	8,7	7,8	7,7	7,7	7,7	7,4	7,0	7,8
United King	14,6	15,0	15,9	17,2	15,9	16,6	14,8	16,4	17,0	

Ser man på de danske svar, så er der to forhold, der påkalder sig opmærksomhed:

1. Der sker et stort spring i andelen fra 2010 til 2011.
2. Danmark ligger væsentlig højere end fx Sverige og Finland – altså har flere danskere problemer med fugt.

Danmarks Statistik har på vores forespørgsel oplyst, at springet fra 2010 til 2011 skyldes, at opregningsmetoden er væsentlig forbedret. Denne metode korrigerer for skævt bortfald på fx indkomster, hvor personer med lave indkomster svare mindre end personer med høj indkomst. Men den primære årsag til springet er, at der indtil 2010 har været en fejl i kodningen. I SILC-spørgeskemaet stilles tre separate spørgsmål, som tilsammen danner grundlag for Eurostats variabel "HH040: Leaking roof, damp walls/floors/foundation, or rot in window frames or floor". Frem til 2010 er det danske tal alene baseret på det første spørgsmål (Q1). Fra 2011 og frem er der kodet "ja", hvis der er svaret "ja" til mindst et af de tre spørgsmål, hvilket er det korrekte. Danmark Statistik oplyser, at et hurtigt kig på data for 2016-2018 viser, at ca. 7% svarer "ja" til første og sidste spørgsmål, mens ca. 3% svarer "ja" til at have utæt tag. 12-13% svarer "ja" til mindst et af de tre spørgsmål.

### Astma DALYs, der kan undgås ved EE renovering



Figur 29: Astma DALYs, der kan undgås ved EE renovering.

Ligesom for forøget dødelighed beregnes dernæst sammenhængen mellem fugt og energirenoveringer.

Fugt og renoveringer

COMBI-antagelse: Let, mellem og dyb renovering reducerer fugttilfældene med hhv. 40%, 60% og 80%, mens nye standardboliger, nearly-zero-energy boliger og passivhuse reducerer fugttilfældene med hhv. 70%, 100% og 100%. Let renovering er ifølge COMBI muligvis ikke tilstrækkeligt til at løse problemet med



fugt og desuden omfatter let renovering ikke ventilationsløsninger og der kan derfor være risiko for at der i stedet skabes fugtproblemer. Renoveringer af mellem-omfang antages at reducere fugt bedre. Dybe renoveringer antages at inkludere ventilationsløsninger men der kan være strukturelle eller orienteringsmæssige bygningsforhold, som gør at fugt ikke helt udryddes. Det samme gælder for nearly-zero-energy bygninger.

- Datakilde: COMBI-skøn<sup>r</sup>, da meget lidt konkrete data findes om relationen mellem fugt og renovering.
- Kommentar: "Gevinsten" ved at gå fra medium/dyb renovering til nearly-zero-energy bolig og passivhus er relativt lille eller nul – og derfor bliver EE-scenariets reduktion i dødsfald lille sammenlignet med skridtet fra baseline til reference.

Socialt sårbare

Definitionen fra før på socialt sårbare bibeholdes og er altså andelen af respondenter fra SILC-undersøgelsen, der svarer, at de er ude af stand til at holde deres bolig tilstrækkelig varm.

Socialt sårbare og renoveringer

COMBI-antagelse: Antal astma DALYs som følge af fugt, som kan undgås ved renovering, afhænger af hvor mange socialt sårbare, der bor i hver bygningstype. Antagelsen er, at kolde indetemperature og fugt ofte er et resultat af dårlig bolig eller mangel på vedligehold.

Der skelnes ligesom i tilfældet med forøget dødelighed mellem tre renoveringspolitikker og to 2030-scenarier.

Resultat – reduceret astmatilfælde

For hvert af de tre politikker og to scenarier beregnes astma DALYS som følge af fugt.

- Datakilde: COMBI-scenario-analyser.

---

<sup>r</sup> COMBI-rapport D5.4 tabel 14 s. 39.

Renoverings-politik	2030-Reference		2030-EE	
	Andel	Reduceret	Andel	Reduceret
		antal DALYs/år		antal DALYs/år
Ingen målretning	4,13%	33	8,16%	65
Prioritering af socialt sårbare	32,58%	261	38,44%	308
Socialt sårbare først	100%	801	100%	801

Tabel 12: Potentiale i Danmark for reduktion af astma DALYs per år som følge af fugt ved renovering. Bemærk, at nye standardboliger indgår i antallet af boligforbedringer og ikke kun let/mellem/dyb energirenovering – kun nybyggede nearly-zero-energy boliger og passivhuse er ekskluderet.

Hvis reduktion af astma forårsaget af fugt er værd 1,4 mio. DKK-2019/DALY<sup>s</sup>, så betyder en renoveringspolitik, der prioriterer socialt sårbare boliger, en besparelse på 1,12 mia. DKK årligt, mens en referenceudvikling, der ikke er målrettet socialt sårbare alene giver en årlig gevinst på ca. 46 mio. DKK.

Det er igen værd at bemærke, at der kan opnås en stor gevinst alene ved at gå fra 2015-baseline til reference-udviklingen og at politikken der prioriterer socialt sårbare først betyder mere hvorvidt der er tale om et reference-scenarie eller et EE-scenarie.

### Forbedringsmulighed

Ud over at anvende en opdateret dansk værdi for DALY, så kan følgende overvejes mhp. at forbedre validiteten:

- EU-SILC-spørgsmålene angående fugt eller ej i boliger giver kun en relativ grov indikation af boligernes tilstand. Der er formentlig mht. astma stor forskel på, om der er et enkelt kældervindue med fugt i boligen eller større partier af boligen, der har tegn på fugt. Dette lader ikke til at blive taget i betragtning i EU-SILC-surveyet. Man kunne derfor overveje, om der kan findes anden potentiel kilde – gerne dansk – til data om mængde af boliger med væsentlig fugt.
- Dokumentation af sammenhængen mellem renovering og reduktion af fugt i boligen vil kunne validere, hvorvidt den skønnede sammenhæng er af ret størrelse. Er størrelsesforholdet nogenlunde rigtigt, når det antages at fx let renovering reducerer antallet af boliger med fugt med fx 40%?
- Som i foregående effekt eksempel: Udviklingstempo og dybde af renovering baseret på nyere danske data?

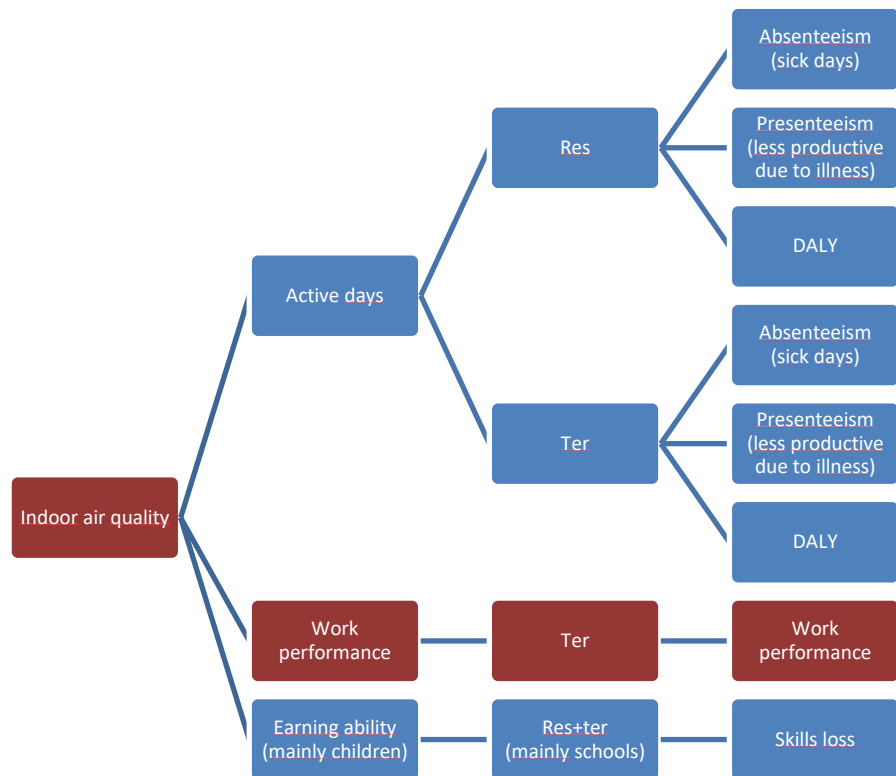
<sup>s</sup>”Dokumentationsnotat om værdien af statistisk liv og værdien af leveår”, Finansministeriet, april 2019.

- Kunne en mere detaljeret segmentering af boligerne hjælpe med til at fokusere eventuelle politikker bedre mod udsatte målgrupper (enfamilie, flerfamilie, opvarmningstype)?

## 5.4 Produktivitet

Indeklima relaterede indirekte effekter

Figuren neden for viser de afledte indirekte effekter belyst in COMBI-studiet, der forårsages af bedre kvalitet indendørsluft. Her præsenteres kun regnestykket for produktivitet i handel & service-sektoren (se røde bokse i Figur 30).



Figur 30: Afledte indirekte effekter belyst in COMBI-studiet, der forårsages af bedre kvalitet indendørsluft. Effekter markeret med røde bokse er behandlet i teksten.

Beregningen af potentiel forbedring af produktivitet er relativ simpel.

Grundantagelse

**COMBI-antagelse: En forbedring af indeluftens kvalitet medfører forbedring af arbejdskraftens produktivitet.**

Antallet af sygedage forventes også at kunne mindskes, men den effekt ignoreres bevidst for at undgå risiko for overlap.

- Indikator: Forbedring af præstationen opgjørt i arbejdstimer per år.

Regnestykket lyder således:

$$\text{Produktivitet} = \text{Faktisk gns. arbejdstid} * \text{population} * (1 + \text{produktivetsforbedring})$$

Der differentieres i COMBI mellem forskellige bygningstypers populationer – det vil sige, om der er tale om u-renoverede bygninger, let, mellem eller dybt renoverede bygninger, nearly-zero-energy bygninger, eller passivbygninger.

- Datakilder:
  - Gennemsnitligt faktisk antal arbejdstimer per år per ansat på nationalt plan findes i [https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AVE\\_HRS](https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AVE_HRS). Antallet er 1.422 timer/år hvis perioden 2008-2015 betragtes og 1.439 timer/år hvis 2000-2015.
  - Antal ansatte per type af bygning (ikke-renoveret, let, mellem, dyb renovering, nearly-zero-energy bygninger og passivbygninger) hentes fra COMBI-udviklingsscenarier.
  - Datakilde for antal faktiske timer per ansat: Eurostat [https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AVE\\_HRS#](https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AVE_HRS#)

**COMBI-antagelse: For at undgå overvurdering af potentialet, medregnes kun produktionsforbedring som følge af dybe renoveringer.**

COMBI-scenarie	Antal dage per år, 2030	Antal timer per år, 2030, 8 timer/dag
Produktivetsforbedring per dybt renoveret bygning	12	94
Produktivetsforbedring i alt	52.224	417.792

Table 13: Potentiale i Danmark for forbedret produktivitet som følge af bedre indeklima og komfort opnået gennem renovering i COMBI-scenariet.

Derpå beregnes værdien af produktivetsforbedringen ud fra information fra Eurostat om månedlige nettoindtægter.

- Datakilde: Værdien af produktivetsforbedringen hentes ifølge COMBI-studiets rapport D5.4a fra "Toxic moulds and indoor air quality", Indoor and Built Environment 14, no. 3-4, 2005 by Jagjit Singh, men læser man artiklen igennem fremgår der ingen oplysninger om størrelsen af forventelige produktivetsforbedringer.
- Data: Værdien anvendt i COMBI for Danmark er ca. 28 EUR/timer svarende til ca. 205 DKK/time. Opdaterede data for gennemsnitlig årlig

dansk løn er 418,577 DKK-2018, hvis perioden 2008-2015 betragtes, svarende til 294 DKK-2018/time og 397,305 DKK-2018, hvis perioden er 2000-2015, svarende til 276 DKK-2018/time.

- Resultat: COMBI-konsortiet når frem til 11,5 millioner EUR/år i 2030 svarende til 85,7 mio. DKK/år. Opdaterede løndata giver 115-123 mio. DKK-2018 ekstra lønindtægt, som kan opnås ved forbedring af indeklima og komfort i 4.447 servicesektor-bygninger vha. dybe renoveringer.

### **Forbedringsmulighed**

Ud over at anvende opdaterede danske værdier for lønindtægter, så kan følgende overvejes mhp. at forbedre validiteten:

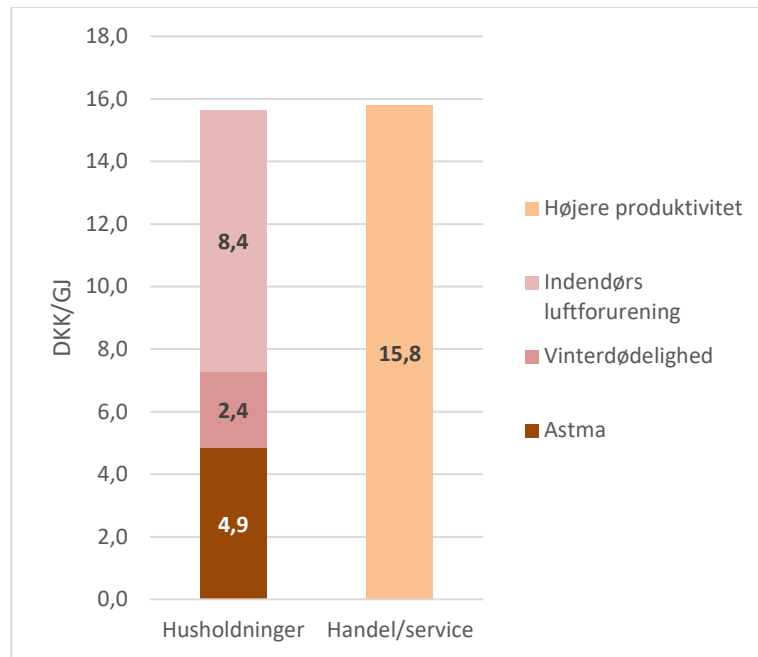
- COMBI-beregningen er baseret på data for faktisk arbejdstid opgjort på nationalt plan. Data for faktisk arbejdstid i den danske tertiære sektor, gerne opdelt på undersektorer kan muligvis give et mere retvisende billede af, hvad der kan opnås, særligt hvis der også tages højde for, hvad man typisk forventer at kunne forbedre i undersektorens bygningsmasse.
- På samme vis kan også antallet af ansatte i hver undersektor anvendes i stedet for nationale tal.
- Der findes en del kilder, der præsenterer ny data om sammenhængen mellem produktivitet og indeluft. Er der overensstemmelse mellem resultater fra danske og udenlandske cases? I det omfang, der findes valide danske data, bør de nok foretrækkes.

## **5.5 Sammenfatning af COMBI-resultater**

På COMBI-studiets hjemmeside er det muligt at opgøre de afledte gevinster forbundet med energirenoveringstiltag i EUR/MWh besparelse baseret på en sammenligning af Reference-scenariet i 2030 uden prioritering af socialt sårbare og EE-scenariet med prioritering af de socialt sårbare.

De sundhedsrelaterede multiple-benefit gevinster repræsenterer, hvad der svarer til godt 15 DKK/GJ sparet energi – både i husholdninger og bygninger indenfor handel og service. 15 DKK/GJ udgør i størrelsesordenen til 15-20% af de sparede energiomkostninger i bygninger.

Figuren nedenfor viser fordelingen af gevinsterne ifølge COMBI.



Figur 31: Estimerede potentielle sundhedsrelaterede gevinster, baseret på COMBI-studiets referencescenarie uden prioritering af socialt sårbare og energieffektiviseringsscenariet med prioritering af de socialt sårbare (mellem-politikken).

## 5.6 Evaluering af COMBI-studiet

Som nævnt i indledningen af dette kapitel forventer vi, at COMBI-studiet pga. sit omfang vil blive refereret til i årene fremover i den europæiske debat omkring energirenovering. Gennemgangen af udvalgte regnestykker og anvendte datakilder illustrerer udfordringen i at bestemme og værdisætte indirekte afledte effekter af energirenoveringstiltag. Datagrundlaget for kausaliteten mellem tiltag og effekt er ofte begrænset, når man bevæger sig ud over case-specifikke eksempler. Derfor foretages estimater for at kompensere for manglen på data. Når der samtidig skal dannes et overblik på EU-niveau, der omfatter alle 28 medlemsstater, begrænses mængden af til rådighed værende data og dermed nogle af nuancerne, da der ikke findes samme statistiske materiale for alle 28. COMBI-studiets resultater vurderes derfor at være behæftet med en betydelig metodisk usikkerhed. Dertil kommer at værdien af en konkret energirenoveringspolitik i grad høj vil afhænge af hvordan den designes, bl.a. i hvilket omfang den prioriterer de socialt sårbare og i hvilket omfang klimaskærmsforbedringer suppleres af tiltag til at sikre god ventilation.

Flere detaljer om COMBI-studiet kan findes i Bilag C, hvor en specifik gennemgang af det danske datagrundlag forefindes.

## 6 Forbedringsplan

Gennemgangen af litteratur har muliggjort en identifikation af, hvor både stærke og svage sammenkoblinger kan laves. I kapitel 4 blev de 40 inkluderede kilder rubriceret alt efter, hvilke områder af årssagskæden den specifikke kilde behandlede, og sammenhænge mellem trinene blev opstillet. På baggrund af denne gennemgang kommer vi i dette kapitel med en række konkrete bud på, hvor det er nødvendigt at forbedre datagrundlaget, så der i fremtiden kan opstilles mere robuste sammenhænge og økonomiske værdisætninger. Forbedringsforslagene er indsnæret til områder, hvor vi forventer at se de mest væsentlige afledte effekter. Ydermere vil vi fokusere på at komme med forbedringsmuligheder, hvor vi vurderer klare, dokumenterbare sammenhænge kan opstilles.



Figur 32: Skitsering af væsentlighedshierarki.

Opstilling af væsentlighedshierarki

Kompleksiteten af sammenhænge mellem energirenovering, direkte afledt effekt, og indirekte afledt effekt nødvendiggør betragtninger om kausaliteten mellem skridtene. For at anskueliggøre denne kompleksitet har vi opstillet et væsentlighedshierarki, som danner udgangspunktet for forslag til forbedring af datagrundlaget. Væsentlighedshierarkiet skal forstås som kriterier for opstilling af forbedringsplanen:

1. Energirenoveringer foretages med udgangspunkt i et mål om energi- og CO<sub>2</sub>-besparelser. Det betyder, at *renoveringstiltag*, som forventes at blive foretaget i stort omfang og/eller har store energibesparelspotentialer, skal have høj prioritet.
2. Det skal være muligt at danne en *stærk sammenhæng* mellem bygningsrenovering og de resulterende direkte afledte effekter.
3. De indirekte afledte effekter skal have en *væsentlig størrelse*. De indirekte afledte effekter skal i videst muligt omfang kunne isoleres og kædes til et decideret renoveringstiltag.
4. Det skal være muligt at *dokumentere og kvantificere* de enkelte skridt fra renoveringstiltag til økonomisk værdisætning. Fokus skal være på målbare sammenhænge.
5. Renoveringstiltag skal være *realiserbare* i det pågældende segment.

Disse fem kriterier danner grundlaget for forslagene til forbedring af datagrundlag og metode længere fremme i teksten. Ydermere er det vigtigt at lave betragtninger om de identificerede direkte og indirekte afledte effekter, hvor der er identificeret stærke sammenkoblinger i den nuværende litteratur. En del af de nuværende kendte cases er baseret på udenlandske studier, som ikke nødvendigvis afspejler danske forhold. De metodisk stærke studier kan med fordel foretages med brug af et dansk datagrundlag. Vi har i litteraturgennemgangene set, at der ofte bliver fokuseret på en håndfuld specifikke sammenhænge:

#### Fokus i litteraturen

- *Energifattigdom* resulterer i utilstrækkelig opvarmning, som giver forhøjet vinterdødelighedsrate. Antagelsen er, at forbedring af klimaskærmen medfører, at flere mennesker har økonomisk mulighed for at varme boligen tilstrækkeligt op, og der vil kunne observeres en reduktion i vinterdødelighedsraten. Spørgsmålet er, hvordan omfanget af energifattigdom vurderes.
- Lav ventilationsrate og utilstrækkelig opvarmning resulterer i forhøjet fugt og skimmel, som giver øget forekomst af astmatilfælde. Forbedring af ventilation og klimaskærm resulterer i bedre luftkvalitet og varmere boliger, og der vil kunne observeres en reduktion i antal astmatilfælde. For denne sammenhæng er det en udfordring at fastlægge præcist, om det er *luftkvalitet eller tilstrækkelig opvarmning, som giver reduktion i fugt og skimmel* og derved har størst indflydelse – og derved størst forbedringspotentialer – på antallet af astmatilfælde.
- Lokal opvarmning med ovne (brændeovn, træpillefyr mm.) resulterer i høje CO<sub>2</sub>- og partikelkoncentrationer, som har negativ indflydelse på



sundhed. Udsiftning af ovne til eksempelvis fjernvarme eller varmepumper kan sænke den lokale luftforurening, hvilket vil resultere i forbedret sundhed og reduktion af sygefravær. Denne sammenhæng er veldokumenteret. Kilde [51], [52], [53], [54], [55] samt [58] behandler sammenhængen mellem varmekilde og indeklime eller lokal luftforurening. Det er dog værd at bemærke, at yderligere direkte og indirekte afledte effekter ikke er behandlet i forbindelse med udsiftning af varmekilde. Fx er det ikke fastlagt, i hvilket omfang *tilstrækkelig ventilation både før og efter* en eventuel udsiftning af varmekilde har betydning for effekten af udsiftningen.

- *Dårligt indeklime* resulterer i lav produktivitet og indlæringssevne. En forbedring af indeklimaparametre kan forøge produktivitet og indlæring. For denne sammenhæng er der især en mangel på kobling til et energirenoveringstiltag. Meget tyder på, at den væsentligste parameter for forbedring af produktivitet og indlæring er *tilstrækkelig ventilation*.

Væsentlig eller mulig

Det er vigtigt at overveje, om de i litteraturen behandlede sammenhænge afspejler den egentlige *væsentlighed* af en parameter – både i dansk og international sammenhæng – eller nærmere er udtryk for, at det har været *muligt* at skaffe data og foretage beregninger af disse. De tværeurøpæiske studier fokuserer i stort omfang på enten vinterdødelighed eller astmatilfælde. Fokus på disse to parametre behøver ikke nødvendigvis være valgt grundet deres størrelse, men måske fordi det er oplagt at lave kvantificerbare sammenhænge på baggrund af det nuværende datagrundlag. De større studier er bundet af, at data skal være bredt tilgængelig på tværs af lande, og har derfor udvalgt sammenhænge, som er muligt at undersøge på baggrund af nuværende eksisterende store datasæt. Det er derfor vigtigt i en dansk sammenhæng at overveje, om vinterdødelighed og astma er de to mest betydende indirekte afledte effekter, eller om der i Danmark muligvis er andre parametre, som er af betydelig størrelse. Fx kunne kræfttilfælde, KOL, lungesygdomme, hjertesygdomme mm. i en dansk sammenhæng måske vise sig at være lige så betydelige.

### **Forslag til forbedring af datagrundlag**

På tværs af energirenoveringstiltag, resulterende afledte effekter og økonomisk værdisætning, er det således primært sammenhængen mellem renoveringstiltag og direkte afledt effekt, som er mangelfuldt dokumenteret. Derudover kan klare sammenkoblinger mellem en specifik direkte og indirekte afledt effekt også være begrænset, da litteraturen ofte er udfordret af mange forstyrrende og ikke registrerede parametre.

Tydeligere link til energireno-  
vering

Jf. opstillingen af væsentlighedshierarkiet og de observerede sammenkoblinger vurderer vi derfor, at en indsats for at synliggøre og dokumentere de afledte effekter af specifikke renoveringstiltag vil kunne tilvejebringe et forbedret datagrundlag. Herunder er listet konkrete forslag til forbedringer af datagrundlaget, som vil gøre det muligt at danne mere robuste og valide sammenhænge:

Indeklima-situation før

- I et repræsentativt udsnit af socioøkonomiske forhold for beboerne i danske boliger (såsom indtægt, alder, boligtype, rygning) eller særligt segment (fx socialt sårbare) monitoreres indeklima før at kende de eksisterende bygningers udgangspunkt inden renovering. Herefter foretages efter-målinger, hvor potentielle ændringer kan observeres. De to større danske undersøgelser med fokus på boligsegmentet (NIRAS [8], COWI [9]) har baseret deres sammenkoblinger på baggrund af kvalitative observationer. Ved tilvejebringelse af før- og eftermålinger af ventilationsrate, CO<sub>2</sub>-koncentration, partikelkoncentration, luftfugtighed, temperatur mm. ville det blive muligt at lave en databaseret undersøgelse af energirenoveringers indflydelse på en række indeklimaparametre. Som oplagt alternativ eller bidrag vil renoveringsarbejde af kommunal bygningsmasse med fordel kunne suppleres med lignende før- og eftermålinger. Især mange af de danske folkeskoler står overfor gennemgribende renoveringsarbejde, hvor det vil være oplagt at høste data.

Realdania har med deres 2017 rapport "Indeklima i skoler" [33] igangsat et større arbejde med kortlægning af indeklimaet i de danske folkeskoler. Hen over sommeren 2019 er fem projekter tilsammen blevet tildelt 5 mio. kroner til videre forskning for at udvikle, afprøve og dokumentere nye løsninger til forbedringer af indeklimaet. De fem projekter er alle baseret på indsamling af ny data, som vi vurderer, kan være brugbart i fremtidigt arbejde omkring afledte effekter.

- **Skoleklima.dk – Climaid, Inqvation, København, Taastrup:**  
Sensormålinger af indeklimaparametre og real-time anbefalinger til brugere. Test på to skoler i København og Høje-Taastrup
- **Common Sense – CEBRA, NNE, Aarhus:**  
Sensormålinger af belastning og brug af klasselokaler. Test på fire skoler i Aarhus.
- **Sund Fornuft – SundForLuft/KL.7:**  
Sensormålinger af CO<sub>2</sub>-niveau indbygget i lampe, som ved farvekoder fortæller om luftkvalitet er på et godt niveau. Test på 40 skoler rundt omkring i Danmark.
- **Inventilate – Inventilate, DIS, Artlinco, TI, AU m.fl.:**  
Videreudvikling og implementering af ny, decentral ventilationsløsning. Test i 10 klasselokaler i Aarhus og Bornholm.
- **Airmaster, Teknologisk Institut:**  
Videreudvikling og implementering af ny, decentral ventilationsløsning. Sensormålinger af flygtige kemiske forbindelser (VOC) og CO<sub>2</sub>-koncentrationer. Test på en skole i Aarhus.

Skyldes effekten forbedring af klimaskærm eller ventilation

- Differencering mellem typer af energirenoveringer og deres afledte effekter, så der tydeligt kan opstilles sammenhænge mellem specifikke tiltag og effekter. Især er det observeret, hvordan ventilation har en indvirkning på indeklima-parametre. Ligeledes er det identificeret, at ventilation ikke nødvendigvis er et energirenoveringstiltag i en snæver forstand, og at det ofte bliver udført i forlængelse af andre tiltag, fx forbedring af klimaskærm eller udskiftning af varmekilde. Udover muligheden for tilstrækkelig opvarmning (og derved reduceret vinterdødeligheden) er forholdet mellem størrelserne af klimaskærms- og ventilationsforbedringers indvirken på direkte og indirekte afledte effekter ikke tilstrækkeligt dokumenteret. En dataindsamling fra bygninger, som kun får udført enten klimaskærmsforbedringer eller ventilationsforbedringer, suppleret med data fra bygninger, som får udført begge tiltag, vil kunne bidrage til en mere konkret vurdering af kausaliteten mellem renoveringstiltag og afledte effekter.

- Det er identificeret, hvordan den tværeuropæiske EU-SILC-undersøgelse (som i Danmark foretages af Danmarks Statistik) danner grundlag for de toneangivende EU-studier om afledte effekter. EU-SILC-undersøgelsen leverer data om bl.a. respondenternes indkomst, oplevet fugt og betalingsproblemer (som kan kombineres med andre statistiske data), men data om sammenhængen til boligernes muligheder for energirenovering er begrænsede (se tekstboks). Desuden er det uklart, om det primært er boligens energimæssige tilstand eller brugen af boligen og levestil i øvrigt, der fører til helbredsbelastende fugt, temperatur eller indendørs luft. Grundet undersøgelsens tværeuropæiske natur er spørgsmålene ofte af generel karakter og kan i nogle tilfælde ikke ukritisk anvendes. En undersøgelse, som har fokus på en mindre generisk kortlægning af danske forhold, vil kunne give et væsentligt bedre indblik i den faktiske situation. Eksempelvis konkluderer RAND Europe [28], at op mod 31% af danske børn bor i ikke-sunde hjem, mens flere studier (herunder COMBI [26]) fastslår, at lige over 15% bor i bygninger, som har problemer med fugt og skimmel. Skarpere danske definitioner på ikke-sunde hjem, problemer med fugt og skimmel mm. og dertilhørende mere specifikke spørgsmål vil være nyttigt, hvis beregningsmetoderne skal anvendes under danske forhold.

**Sammenhængen mellem oplevet indeklima, bolig situation, økonomisk situation og helbred:**

I Danmarks Statistiks Levevilkårsundersøgelse 2019 (Skema 080818) stilles en stor mængde spørgsmål til et repræsentativt udsnit danskere med henblik på at fastlægge danskernes levevilkår. Data for 2019 vil først være tilgængelig i 2020.

Nedenfor listes de spørgsmål, der vedrører sammenhænge mellem oplevet indeklima, bolig situation, økonomisk situation og helbred. I spørgeskemaet indgår desuden spørgsmål om alder, køn, hustands sammensætning mm., som kan bidrage til at kortlægge mere præcise korrelationer vedrørende hvem og hvor specifikke indeklima problemer opleves. I parentes er nævnt spørgsmålets ID-nummer. HH040 og HH050 er de spørgsmål, som bliver brugt som direkte indikatorer i EU-SILC-undersøgelsen.

**Indeklima**

- Har I/du et eller flere af følgende problemer i boligen?
  - Fugtige vægge, gulve eller fundament (HH040\_Q1)
  - Utæt tag (HH040\_Q2)
  - Råd eller svamp i vinduesrammer eller gulv (HH040\_Q3)
  - Boligen er for mørk, ikke nok dagslys (HS160)

- Støj fra naboer eller udefra (trafik, forretninger, industri eller lign.) (HS170)
- Forurening, snavs eller andre miljømæssige problemer i nabolaget. Fx røg, støv, ubehagelige lugte, udstødning fra biler eller forurennet vand. (HS180)

#### **Bolig situation**

- Er din/jeres bolig en leje- eller en ejerbolig? (ejerlejer)
- Hvor stor er husstandens/din månedlige husleje? (Beløb i hele kr.). Beløbet skal være før fradrag af boligstøtte. Hvis du er i tvivl, så giv dit bedste skøn. (Lejesam)

#### **Økonomisk situation**

- **At holde boligen tilstrækkeligt opvarmet (HH050)**
- Når du tager den samlede indkomst for alle husstandens medlemmer/Når du tager din samlede indkomst i betragtning, hvor svært eller let er det da at få pengene til at slå til? Dvs. at have penge nok til at betale nødvendige udgifter i hverdagen. (HS120)
- Hvis husstanden/du pludselig fik en uforudset udgift på 10.000 kr., ville du/I kunne betale den uden at skulle låne? (HS060)
- Hvad er din/hans/hendes status på arbejdsmarkedet på nuværende tidspunkt? Barselsorlov angives ved den status, du/han/hun har orlov fra. (AM\_status)

#### **Helbred:**

- Nu kommer en række spørgsmål, som drejer sig om helbred. Hvordan er dit/hans/hendes helbred i almindelighed? (PH010)
- Har du/han/hun nogen langvarig sygdom eller et helbredsproblem? Med langvarig menes sygdomme eller helbredsproblemer, der har varet eller forventes at ville vare 6 måneder eller mere. (PH020)

#### **Opvækst**

- I hvilket område boede du/han/hun, da du/han/hun var 14 år? (PT250)
- Hvilken type bolig boede din/hans/hendes familie i? (PT210)
- Hvad beskriver bedst den økonomiske situation i din/hans/hendes husholdning, da du/han/hun var 14 år? (PT190)

Konklusionen på gennemgangen af foreliggende litteratur er, at en fælles generel værdi for de afledte effekter på tværs af bygningssegmenter formentlig er mindre pålidelig og anvendelig end en segmenteret tilgang, hvor der skelnes mellem problemtyper og renoveringstiltag. En segmenteret tilgang kan give

både mere pålidelige og anvendelige værdier. Som nævnt i starten af dette kapitel muliggør en segmenteret tilgang formentlig også i højere grad, at fokus kan rettes mod væsentlige parametre for det udvalgte segment frem for parametre, hvor der allerede foreligger datasæt. Værdien af de opnåede indirekte afledte effekter kan have forskelligt udgangspunkt. Eksemplerne nævnt i denne gennemgang er værdien af påvirkning af helbred og liv (herunder også udgifter til fx sundhedsvæsen) og værditilvækst i form af øget indtjening eller læring, men kunne også omfatte andre udgangspunkter såsom betalingsvilje for bedre forhold (fx hus uden gadestøj) eller noget helt fjerde.

Et eksempel på segment kunne være socialt udsatte i dårlige boliger. Forekommer her mere mug og generelt dårligere indeklima, og kan energirenovering påvirke forekomsten? Hvilken type af energirenovering har størst effekt? Er den reducerede negative påvirkning af helbred og liv væsentlig sammenlignet med andre faktorer? En anden type segmentering kunne være bygninger, hvor mange mennesker er samlet fx skoler og kontorer. Kan indeklimaet forbedres ved energirenovering og hvor lidt er nok – fx kun forbedret ventilation – til at opnå en væsentlig øget værditilvækst i form af øget indtjening eller læring?

Segmenteringen har desuden den fordel, at den viden, der derved blotlægges eller tilvejebringes, samtidig kan anvendes i udformningen af de politikker, som er nødvendige for at stimulere interessen i energirenovering.

## 7 Referenceliste

- Dansk Byggeri. (2019). *Byggeriets Energianalyse 2019*. Dansk Byggeri.
- Det Økologiske Råd. (2016). *Forurening fra brændefyring*.
- DSD. (2016). *Den Store Danske, Gyldendal*. Hentet fra [http://denstoredanske.dk/Mad\\_og\\_bolig/Bolig/Boligforhold/Danmark\\_-\\_boligforhold](http://denstoredanske.dk/Mad_og_bolig/Bolig/Boligforhold/Danmark_-_boligforhold)
- DST. (2019). *Danmark i tal 2019*. Danmarks Statistik.
- DTU. (2016). *Indeklima i skoler*. Center for Indeklima og Energi ved Danmarks Tekniske Universitet.
- Ea Energianalyse. (2016). *Brændeforbrug i Danmark 2015*.
- Finansministeriet . (2019). *Dokumentationsnotat om værdien af et statistisk liv og værdien af leveår*. Finansministeriet.

## 8 Litteraturliste

- [1] Copenhagen Economics; *Multiple benefits of energy renovations of the Swedish building stock*; 2016; Rapport; <https://www.copenhageneconomics.com/publications/publication/multiple-benefits-of-energy-renovations-of-the-swedish-building-stock>
- [2] Josefine Rasmussen; *The additional benefits of energy efficiency investments - a systematic literature review and a framework for categorisation*; 2017; Journal; <https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-017-9528-1>
- [3] Enrico Cagno; Davide Moschetta; Andrea Trianni; *Only non-energy benefits from the adoption of energy efficiency measures? A novel framework*; 2018; Journal; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261833751X>
- [4] Jeniffer Thorne Amann (ACEEE); *Valuation of Non-Energy Benefits to Determine Cost-Effectiveness of Whole-House Retrofits Programs: A Literature Review*; 2006; Rapport; <https://aceee.org/research-report/a061>
- [5] Therese Nehler; Patrik Thollander; Mikael Ottosson; Maja Dahlgren; *Including non-energy benefits in investment calculations in industry - empirical findings from Sweden*; 2014; Journal; [https://www.eceee.org/library/conference\\_proceedings/eceee\\_Industrial\\_Summer\\_Study/2014/6-business-models-to-improve-industrial-efficiency-global-perspective/including-non-energy-benefits-in-investment-calculations-in-industry-empirical-findings-from-sweden/](https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Industrial_Summer_Study/2014/6-business-models-to-improve-industrial-efficiency-global-perspective/including-non-energy-benefits-in-investment-calculations-in-industry-empirical-findings-from-sweden/)
- [6] Michael Freed; Frank A. Felder; *Non-energy benefits: Workhorse or unicorn of energy efficiency programs?*; 2017; Journal; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040619016302305>
- [7] Copenhagen Economics; *Multiple benefits of investing in energy efficient renovation of buildings*; 2012; Rapport; <https://www.copenhageneconomics.com/publications/publication/multiple-benefits-of-investing-in-energy-efficient-renovation-of-buildings>
- [8] NIRAS; *Sammenhængen mellem boligens energistandard og komfort – Interviewundersøgelse*; 2015; Rapport; [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Energibesparelser/sammenhaengen\\_mellem\\_boligens\\_energistandard\\_og\\_komfort.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Energibesparelser/sammenhaengen_mellem_boligens_energistandard_og_komfort.pdf)
- [9] COWI; *Sammenhængen mellem boligens energistandard og forekomst af sygdomme hos beboerne - analyse baseret på registerdata*; 2016; Rapport; [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Energibesparelser/sammenhaengen\\_mellem\\_boligens\\_energistandard\\_og\\_forekomst\\_af\\_sygdomme\\_hos\\_beboerne\\_.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Energibesparelser/sammenhaengen_mellem_boligens_energistandard_og_forekomst_af_sygdomme_hos_beboerne_.pdf)



- [10] Maja Skovgaard; Jesper Kirkeskov Lindegaard; Lise Lotte Beck Raunkjært; CISBO; *Indeklima og sundhed i boliger*; 2016; Rapport; <https://realdania.dk/publikationer/faglige-publikationer/indeklima-og-sundhed-i-boliger>
- [11] Gunnar Grün (Fraunhofer); Susanne Urlaub (Fraunhofer); *Towards an identification of European indoor environments' impact on health and performance*; 2016; Journal; [https://www.researchgate.net/publication/310600188\\_Part\\_A\\_Towards\\_an\\_identification\\_of\\_European\\_indoor\\_environments'\\_impact\\_on\\_health\\_and\\_performance\\_-\\_Mould\\_and\\_Dampness\\_-](https://www.researchgate.net/publication/310600188_Part_A_Towards_an_identification_of_European_indoor_environments'_impact_on_health_and_performance_-_Mould_and_Dampness_-)
- [12] Carlo Volf; Kjeld Johnsen; *Sundere dagslys og kunstlys - Nye veje mod lavenergiarkitektur 2020*; 2016; Rapport; <https://vbn.aau.dk/en/publications/sundere-dagslys-og-kunstlys-nye-veje-mod-lavenergiarkitektur-2020>
- [13] Jens Christoffersen; Kjeld Johnsen; *Vinduer og dagslys - en feltundersøgelse i kontorbygninger*; 1999; Rapport; <https://vbn.aau.dk/da/publications/vinduer-og-dagslys-en-feltunders%C3%B8gelse-i-kontorbygninger>
- [14] ECOFYS; *The relation between quality of dwelling; socio-economic status and health in EU28 and its Member States*; 2017; Rapport; [https://www.researchgate.net/publication/324418616\\_The\\_relation\\_between\\_quality\\_of\\_dwelling\\_socio-economic\\_status\\_and\\_health\\_in\\_EU28\\_and\\_its\\_Member\\_States\\_-\\_Scientific\\_report\\_as\\_input\\_for\\_Healthy\\_Homes\\_Barometer\\_2017](https://www.researchgate.net/publication/324418616_The_relation_between_quality_of_dwelling_socio-economic_status_and_health_in_EU28_and_its_Member_States_-_Scientific_report_as_input_for_Healthy_Homes_Barometer_2017)
- [15] Det Økologiske Råd (i samarbejde med Det National Forskningscenter for Arbejds miljø, Københavns Universitet, VLETEK, Rockwool og Velux); *Indeklima i daginstitutioner*; 2019; Rapport; <https://realdania.dk/publikationer/faglige-publikationer/indeklimaidaginstitutioner>
- [16] Det Nationale Forskningscenter for Arbejds miljø; *Sammenhæng mellem arbejdsmiljø og produktivitet - En registerbaseret follow-up undersøgelse (ISBN: 978-87-7904-347-3)*; 2018; Rapport; <http://nfa.dk/da/Forskning/Udgivelse?journalId=7e14c231-b67f-4c2c-9739-ac97a3ed2582>
- [17] Region Hovedstaden, DTU Fotonik, SBi (ELFORSK projekt); *Dagslyskvalitet som sundhedsmæssig driver for energirenovering: 2-lags vinduer vs. 3-lags vinduer*; 2019; Rapport; [https://orbit.dtu.dk/en/publications/dagslyskvalitet-som-sundhedsmæssig-driver-for-energirenovering-2lags-vinduer-vs-3lags-vinduer\(911ec6a9-cff6-43a3-aaf6-e69ac1c9c641\).html](https://orbit.dtu.dk/en/publications/dagslyskvalitet-som-sundhedsmæssig-driver-for-energirenovering-2lags-vinduer-vs-3lags-vinduer(911ec6a9-cff6-43a3-aaf6-e69ac1c9c641).html)
- [18] Michael Blasnik; Greg Dalhoff; David Carrol; Ferir Ucar; *National Weatherization Assistance Program Impact Evaluation: Energy Impacts for Large Multifamily Buildings*; 2014; Rapport; <https://www.osti.gov/biblio/1223640-national-weatherization-assistance-program-impact-evaluation-energy-impacts-large-multifamily-buildings>
- [19] Marilyn A. Brown; Linda G. Berry; Richard A. Balzer; Ellen Faby; *National Impacts of the Weatherization Assistance Program in Single-Family and Small*

- Multifamily Dwellings*; 1993; Rapport; <https://www.osti.gov/servlets/purl/10179419>
- [20] Bruce Tonn; Erin Rose; Beth Hawkins; Brian Conlon; *Health and Household-Related Benefits Attributable to the Weatherization Assistance Program*; 2014; Rapport; <https://nascsp.org/wap/weatherization-publications/reports-and-fact-sheets/>
- [21] Alireza Bozorgi; *Integrating value and uncertainty in the energy retrofit analysis in real estate investment - next generation of energy efficiency assessment tools*; 2015; Journal; <https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-015-9331-9>
- [22] Janet Ige; Paul Pilkington; Judy Orme; Ben Williams; Emily Prestwood; D. Black; Laurence Carmichael; Gabriel Scally; *The relationship between buildings and health: a systematic review*; 2018; Journal; <https://www.researchgate.net/publication/327209465> The relationship between buildings and health a systematic review
- [23] Shin-ichi Tanabe; Masaaki Haneda; Naoe Nishihara; *Workplace productivity and individual thermal satisfaction*; 2014; Journal; <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013231500089X>
- [24] R. Sauter; A Volkery; *Review of costs and benefits of energy savings*; 2013; Rapport; <http://energycoalition.eu/sites/default/files/Energy%20Savings%202030%20IEEP%20Review%20of%20Cost%20and%20Benefits%20of%20Energy%20Savings%202013.pdf>
- [25] Eurofund; *Inadequate housing in Europe: Costs and consequences*; 2016; Rapport; <https://www.eurofound.europa.eu/da/publications/report/2016/quality-of-life-social-policies/inadequate-housing-in-europe-costs-and-consequences>
- [26] Wuppertal; Abud; Copenhagen Economics; University of Antwerp; University of Manchester; COMBI-project: *Calculating and operationalising the multiple benefits of energy efficiency in Europe*; 2017; Værktøj; <https://combi-project.eu/>
- [27] Konstanstin Vrettos; KTH; (TRITA IES 2017:07); *Utvärdering av inomhusklimat och produktivitet - från etablerad praxis till innovative metoder*; 2017; Rapport; <http://kth.diva-portal.org/smash/reCORD.jsf?pid=diva2%3A1161191&dswid=5986>
- [28] Ecofys; Fraunhofer; Copenhagen Economics published by VELUX; *Healthy homes barometer 2019 - Buildings and their impact on the health of Europeans*; 2019; Rapport; <https://www.researchgate.net/publication/317256481> Healthy Homes Barometer 2017 - Buildings and Their Impact on the Health of Europeans
- [29] Kasper Lyng (Alextia); *Godt indeklima - gevinst på bundlinjen*; 2008; Artikel/rapport; [http://www.detgodeindeklima.dk/?page\\_id=72](http://www.detgodeindeklima.dk/?page_id=72)

- [30] Andreas H. Hermelink og Joh Ashok fra ECOFYS; *The relation between quality of dwelling; socio-economic data and well-being in EU28 and its Member States*; 2017; Rapport; <https://www.researchgate.net/publication/324418616> *The relation between quality of dwelling socio-economic status and health in EU28 and its Member States - Scientific report as input for Healthy Homes Barometer 2017*
- [31] M. Jartunen; Fernandes E. Oliveira; P. Carrer; S. Kephelopoulou; *Promoting healthy indoor air quality (IAIAQ) EU-DG for health and Consumers*; 2011; Rapport; <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4beb6973-83f8-49a9-a6c8-d31a6d75a247>
- [32] Fernanda Acre; Annemie Wyckmans; Elsevier Journal of Sustainable Built Environment (2015) 4; 21-41; *Dwelling renovation and spatial quality - The impact of the dwelling renovation on spatial quality determinants*; 2015; Journal; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609015000023>
- [33] DTU; *Indeklima i skoler*; 2016; Rapport; <https://realdania.dk/nyheder/arkiv/innovation-i-byggeriet/et-godt-indeklima/nyheder/fokus-paa-skoler-nes-indeklima>
- [34] IEA; *Capturing the multiple benefits of energy efficiency*; 2014; Rapport; [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Multiple\\_Benefits\\_of\\_Energy\\_Efficiency.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Multiple_Benefits_of_Energy_Efficiency.pdf)
- [35] Gitte Juel Holst (Aarhus Universitet); *Dampness and microbial exposure in relation to asthma and allergy in children and adults – An epidemiological approach (PhD afhandling)*; 2016; Rapport; <http://news-room.au.dk/en/news/show/artikel/phd-defense-gitte-juel-holst/>
- [36] BPIE; *Quantifying the benefits of energy renovation investments in schools; offices and hospitals*; 2018; Rapport; <http://bpie.eu/publication/building-4-people-valorising-the-benefits-of-energy-renovation-investments-in-schools-offices-and-hospitals/>
- [37] Torben Sigsgaard et al.; *Indoor air quality in nursing homes in Europe*; 2015; Journal; [https://pure.au.dk/portal/da/persons/torben-sigsgaard\(5d7f5dc8-00ea-48ba-9467-a93703b015b7\)/publications/indoor-air-quality-ventilation-and-respiratory-health-in-elderly-residents-living-in-nursing-homes-in-europe\(32560141-71cd-45c8-a807-8aa69703b725\).html](https://pure.au.dk/portal/da/persons/torben-sigsgaard(5d7f5dc8-00ea-48ba-9467-a93703b015b7)/publications/indoor-air-quality-ventilation-and-respiratory-health-in-elderly-residents-living-in-nursing-homes-in-europe(32560141-71cd-45c8-a807-8aa69703b725).html)
- [38] Yulia Olsen; Dorina Gabriela Karottki; Ditte Marie Jensen; Gabriel Bekö; Birthe Uldahl Kjeldsen; Geo Clausen; Lars-Georg Hersoug; Gitte Juel Holst; Aneta Wierzbicka; Torben Sigsgaard; Allan Linneberg; Peter Møller and Steffen Loft (Environmental Health 2014; 13:112); *Vascular and lung function related to ultrafine and fine particles exposure assessed by personal and indoor monitoring*; 2014; Journal; <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-13-112>

- [39] G. J. Holst; A. Høst; G. Doekes; H. W. Meyer; A. M. Madsen; K. B. Plesner; T. Sigsgaard (Indoor Air 2016; 26: 880–891); *Allergy and respiratory health effects of dampness and dampness-related agents in schools and homes: a cross-sectoral study in Danish pupils*; 2015; Journal; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26643593>
- [40] Rune Vinther Andersen; Jørn Toftum; Klaus Kaae Andersen; Bjarne W. Olesen; DTU; Energy and Buildings 41 (2009) 11–16; *Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in Danish dwellings*; 2008; Journal; <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778808001655>
- [41] Tran Ngoc Quang; Congrong He; Luke D. Knibbs; Richard de Dear; Lidia Morawska; Energy and Buildings 85 (2014) 225–234; *Co-optimisation of indoor environmental quality and energy consumption within urban office buildings*; 2014; Journal; <https://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778814007130>
- [42] Olli Seppanen and William J. Fisk; *Association of Ventilation System Type with SBS symptoms in Office Workers*; 2001; Journal; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12216473>
- [43] Petter Hellström; KRH; Stockholm; *Assessing the impact of the indoor environment on productivity - A case study in a university building in Stockholm*; 2018; Rapport; <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1215017&dswid=-2391>
- [44] Susanne Urlaub; Gunnar Grün (Fraunhofer Institute) for VELUX; IBP-Report EER-058/2016/950; *Mould and dampness in European homes and their impact on health*; 2016; Rapport; [https://www.researchgate.net/publication/310600268\\_Mould\\_and\\_dampness\\_in\\_European\\_homes\\_and\\_their\\_impact\\_on\\_health?channel=doi&linkId=5832e42e08ae138f1c0a6ec4&showFulltext=true](https://www.researchgate.net/publication/310600268_Mould_and_dampness_in_European_homes_and_their_impact_on_health?channel=doi&linkId=5832e42e08ae138f1c0a6ec4&showFulltext=true)
- [45] IEA; *IEA workshop on multiple benefits of energy efficiency*; 2018; Workshop presentation; <https://www.iea.org/workshops/evaluating-the-multiple-benefits-of-energy-efficiency.html>
- [46] C. G. Bornehag; J. Sundell; L. Hägerhed-Engman; T. Sigsgaard (Indoor Air 2005; 15: 275–280); *Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children*; 2005; Journal; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15982274>
- [47] Simone; Angela; Yu; Juan; Levorato; Gabriele; Olesen; Bjarne W.; Zhu; Yingxin; *Thermal comfort assessment of Danish occupants exposed to warm environments and preferred local air movement*; 2014; Journal; [https://orbit.dtu.dk/files/103299986/Thermal\\_comfort\\_assessment.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/103299986/Thermal_comfort_assessment.pdf)

- [48] Ongun B Kazanci; Dolaana Khovalyg; Takayoshi Iida; Yoshitaka Uno; Tomoki Ukiana; Bjarne W. Olesen; *Human response to the thermal indoor environment created by a radiant; and a combined radiant and convective cooling system*; 2019; Journal; [https://orbit.dtu.dk/en/publications/human-response-to-the-thermal-indoor-environment-created-by-a-radiant-and-a-combined-radiant-and-convective-cooling-system\(ae66aa07-6247-4b1e-9ae0-4151ae0ff60\).html](https://orbit.dtu.dk/en/publications/human-response-to-the-thermal-indoor-environment-created-by-a-radiant-and-a-combined-radiant-and-convective-cooling-system(ae66aa07-6247-4b1e-9ae0-4151ae0ff60).html)
- [49] Eleftherios Bourdakis; Angela Simone; Bjarne W. Olesen; *An experimental study of the effect of different starting room temperatures on occupant comfort in Danish summer weather*; 2018; Journal; [https://orbit.dtu.dk/en/publications/an-experimental-study-of-the-effect-of-different-starting-room-temperatures-on-occupant-comfort-in-danish-summer-weather\(b9ccc762-c338-4e0c-a33f-399c2d1aa612\).html](https://orbit.dtu.dk/en/publications/an-experimental-study-of-the-effect-of-different-starting-room-temperatures-on-occupant-comfort-in-danish-summer-weather(b9ccc762-c338-4e0c-a33f-399c2d1aa612).html)
- [50] Jakob Hjort Bønløkke; Gitte Juel Holst; Torben Sigsgaard; Ulrik Smith Korsholm; Bjarne Amstrup; Iratxe Gonzales-Aparicio; Jens Havskov Sørensen; *Modeled effects of an improved building insulation scenario in Europe on air pollution; health and societal cost*; 2015; Journal; [https://pure.au.dk/portal/da/persons/gitte-juel-holst\(375866ed-3b79-4bfd-be93-d862793d3ac9\)/publications/modeled-effects-of-an-improved-building-insulation-scenario-in-europe-on-air-pollution-health-and-societal-costs\(e5e59e5c-a909-4f37-a652-bfa358779bc6\).html](https://pure.au.dk/portal/da/persons/gitte-juel-holst(375866ed-3b79-4bfd-be93-d862793d3ac9)/publications/modeled-effects-of-an-improved-building-insulation-scenario-in-europe-on-air-pollution-health-and-societal-costs(e5e59e5c-a909-4f37-a652-bfa358779bc6).html)
- [51] Steen Solvang Jensen; Jørgen Brandt; Jesper Helie Christensen; Matthias Ketzel. DCE; COWI; Aarhus Universitet; *Health effects and related external costs of air pollution in Aarhus Commune*; 2017; Rapport; <https://dce2.au.dk/pub/SR225.pdf>
- [52] Steen Solvang Jensen; Jørgen Brandt; Jesper Heile Christensen; Camilla Geels; Matthias Ketzel; Marlene Schmidt Plejdrup; Ole-Kenneth Nielsen. DCE; COWI; Aarhus Universitet; *Kortlægning af luftforureningens helbreds- og miljøeffekter i Region Hovedstaden*; 2018; Rapport; <http://dce.au.dk/udgivelser/vr/nr-251-300/abstracts/nr-254-kortlaegning-af-luftforureningens-helbreds-og-miljoeffekter-i-region-hovedstaden/>
- [53] Kåre Press-Kristensen; Det Økologiske Råd; *Forurening fra brændefyring*; 2016; Rapport; <https://www.ecocouncil.dk/forurening-fra-braendefyring>
- [54] Helge Rørdam Olesen; Peter Wåhlin; Jytte Boll Illerup; *Brændefyringens bidrag til luftforurening*; 2010; Rapport; <https://www2.dmu.dk/Pub/FR779.pdf>
- [55] Miljøstyrelsen; *Boligopvarmning ved brændefyring*; 2012; Rapport; <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2012/07/978-87-92903-34-1.pdf>

- [56] BPIE; *The inner value of a building - Linking IEQ and energy performance in building regulation*; 2018; Rapport; [http://bpie.eu/wp-content/uploads/2018/11/The-Inner-value-of-a-building-Linking-IEQ-and-energy-performance-in-building-regulation\\_BPIE\\_Final.pdf](http://bpie.eu/wp-content/uploads/2018/11/The-Inner-value-of-a-building-Linking-IEQ-and-energy-performance-in-building-regulation_BPIE_Final.pdf)
- [57] ACEEE (IE1502) - Christopher Russell; Brendon Baatz; Rachel Clueet og Jennifer Amann; *Recognizing the value of energy efficiency's multiple benefits*; 2015; Rapport; <http://www.aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/ie1502.pdf>
- [58] DCE; *Luftforureningens indvirken på sundheden i Danmark*; 2014; Rapport; <https://dce2.au.dk/pub/SR96.pdf>
- [59] ACEEE (IE1702) - Ethan A. Rogers og Eric Junga; *Using Intelligent Efficiency to Collect and Analyze Nonenergy Benefits Information*; 2017; Rapport; <https://aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/ie1702.pdf>
- [60] NEEP; *Non-energy impacts approaches and values: an examination of the Northeast; Mid-Atlantic; and beyond*; 2017; Rapport; <https://neep.org/sites/default/files/resources/NEI%20Final%20Report%20for%20NH%206.2.17.pdf>
- [61] U.S. Department of Energy - Jonathan Wilson; David Jacobs; Amanda Reddy; Ellen Tohn; Jonathan Cohen; Ely Jacobsohn; *Home R\_x: The Health Benefits of Home Performance - A Review of Current Evidence*; 2016; Rapport; <https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/home-rx-health-benefits-home-performance-review-current-evidence>
- [62] IVL – Malin Gustafsson; Jenny Lindén; Lin Tang; Bertil Forsberg (Umeå Universitet); Hans Orru (Umeå Universitet); Stefan Åström; Karin Sjöberg; *Quantification of population exposure to NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> and estimated health impacts*; 2018; Rapport; <https://www.ivl.se/download/18.2aa26978160972788071cafe/1529073450199/C317%20Quantification%20of%20population%20exposure%202015.pdf>
- [63] WHO; *Economic cost of health impact of air pollution in Europe*; 2015; Rapport; [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf)