

Aalborg Universitet



Livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer

Miljømæssige konsekvenser belyst via casestudier

Rasmussen, Freja Nygaard; Birgisdottir, Harpa

Creative Commons License
Ikke-specificeret

Publication date:
2015

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Rasmussen, F. N., & Birgisdottir, H. (2015). *Livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer: Miljømæssige konsekvenser belyst via casestudier*. SBI forlag. SBI Bind 2015:29

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

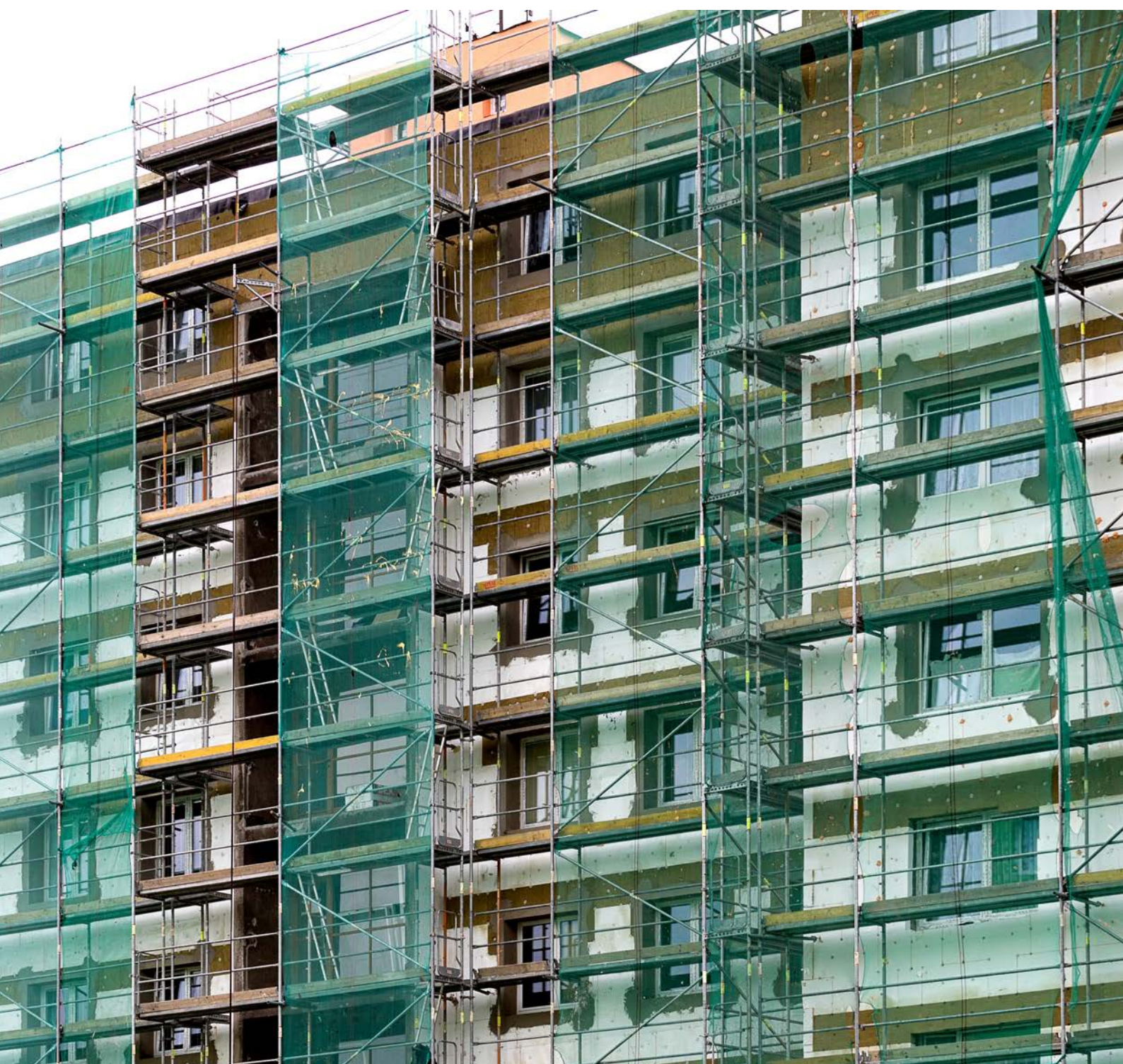


STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

LIVSCYKLUSVURDERING AF STØRRE BYGNINGSRENOVERINGER

MILJØMÆSSIGE KONSEKVENSER BELYST VIA CASESTUDIER

SBI 2015:29



Livscyklusvurdering af større byggningsrenoveringer

Miljømæssige konsekvenser belyst via casestudier

Freja Nygaard Rasmussen
Harpa Birgisdóttir

Titel	Livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer
Undertitel	Miljømæssige konsekvenser belyst via casestudier
Serietitel	SBi 2015:29
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2015
Forfattere	Freja Nygaard Rasmussen, Harpa Birgisdóttir
Fagfælle- bedømmer	Morten Birkved
Sprog	Dansk
Sidetæl	55
Litteratur- henvisninger	Side 44-45
Emneord	Livscyklusvurdering, Life Cycle Assessment, LCA, miljø, renovering, nybyggeri
ISBN	978-87-563-1748-1
Omslag	Colourbox
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretslov



Forord

I de sidste par år er bæredygtighed gradvist blevet til et mere væsentligt begreb i diskussionen om kvalitetssikring af byggeriet. Bæredygtighed i byggeriet er et begreb, som omhandler byggeriets miljømæssige, økonomiske og sociale kvalitet og ses derfor som et supplement til de andre traditionelle og nødvendige kvaliteter af et byggeri.

Livscyklusvurdering (LCA) er et vigtigt værktøj til at belyse byggeriets miljømæssige bæredygtighed. Trafik- og Byggestyrelsen har som led i et øget fokus på bæredygtigt byggeri igangsat en række projekter udført af SBI. Det gælder bl.a. udvikling af et dansk LCA-værktøj for byggeri – LCAByg – som blev lanceret i april 2015 og som er frit tilgængeligt for den danske byggebranche. Dertil kommer publikationen 'Introduktion til LCA på bygninger' samt SBI-rapport 2015:09, 'Bygningens livscyklus'.

Bæredygtigt byggeri har i første omgang hovedsagelig været fokuseret på nybyggeri, selvom den eksisterende bygningsmasse også er af interesse. Formålet med dette projekt er at bidrage til mere viden omkring anvendelsen af LCA i renoveringsprojekter. I projektet udføres livscyklusvurderinger på udvalgte cases af renoverede bygninger. Eksempler fra disse cases bruges til at illustrere de forskellige materials betydning samt sammenligning af miljøpåvirkninger ved renovering vs. nybyggeri. Projektet er udført af Freja Nygaard Rasmussen og Harpa Birgisdóttir.

Rapporten er fagfællebedømt af lektor Morten Birkved ved Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København
Energ og Miljø
December 2015

Søren Aggerholm
Forskningschef

Ordforklaring

CEN/TC 350

CEN/TC 350 er den europæiske komité som udarbejder standarder for bæredygtighed af bygnings- og anlægskonstruktioner. CEN/TC 350 har udgivet en række standarder for bæredygtighedsvurdering af bygninger og byggematerialer.

Indlejrede miljøpåvirkninger

Indlejrede påvirkninger forstås i denne rapport som miljøpåvirkninger, som relaterer sig til byggematerialernes påvirkningsbidrag i en LCA udført på en bygning. Det inkluderer i denne rapport påvirkninger relateret til bygningens forskellige livscyklusfaser: produktion af materialer, udskiftninger samt endt levetid.

LCA

LCA er forkortelse for det engelske udtryk Life Cycle Assessment. Den danske betegnelse er Livscyklusvurdering.

Miljøprofil

En bygnings miljøprofil benyttes ofte som en samlet betegnelse for de resultater der fås af en bygnings LCA. Eftersom resultaterne typisk er opgivet på en række forskellige miljøpåvirkningskategorier, består miljøprofilen således af et sæt af resultater fordelt på de valgte kategoriers indikatorer

Miljøpåvirkningskategori

De potentielle miljøpåvirkninger og ressourceforbrug fra en bygnings livscyklus opgøres i miljøpåvirkningskategorier, f.eks. påvirkningspotentialet for global opvarmning (GWP). Inden for hver kategori kvantificerer man en påvirknings omfang udtrykt i én indikator og én enhed. I denne rapport er den benyttede indikator for GWP med enheden kg CO₂-ækvivalenter.

Miljøvaredeklaration

Miljøvaredeklarationer for byggevarer er et standardiseret format til dokumentation af byggevarers miljøegenskaber baseret på LCA. Information fra en miljøvaredeklaration kan anvendes som data i en bygnings livscyklusvurdering. CEN/TC 350-standarderne indeholder en standard for miljøvaredeklarationer, nemlig DS/EN 15804:2012 med titlen 'Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Miljøvaredeklarationer - Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer'.

Indhold

Forord	3
Ordforklaring	4
Indhold	5
1. Indledning	6
2. Renovering i bygningens livscyklus	8
2.1. Renoveringskonceptet i denne rapport.....	8
2.2. Tidsperspektiver ved bygningsrenoveringer og LCA.....	8
2.3. Renoveringskonceptet i LCA-standarder.....	10
2.4. Renoveringskonceptet i byggebranchen	13
3. Materialestrømme i en renovering	14
3.1. Hvad består renoveringsarbejdet i?.....	14
3.2. Materialestrømme ind i en renovering	15
3.3. Materialestrømme ud af en renovering.....	15
3.4. Renoveringstypologi og eksempler på materialestrømme	17
3.5. PCB-forurenede materialestrømme.....	24
4. LCA casestudie af materialestrømme ved renovering	25
4.1. LCA-metodisk baggrund	25
4.2. LCA på renovering af Sorgenfrivang II etageboliger	28
4.3. LCA på renovering af Traneparken etageboliger	32
4.4. Manglende LCA-materialedata for teknik	34
4.5. Vurdering af betydningen af PCB-forekomster i en renoverings-LCA.....	34
5. Renovering eller nybyg?.....	36
5.1. Sammenligning med nybyggeri	36
5.2. Miljømæssig tilbagebetalingstid af renovering.....	38
6. Opsummering	42
Henvisninger.....	44
Appendiks I: Yderligere om LCA-metoden	46
Funktionel ækvivalens	46
Scenarier til beregningerne.....	46
Værktøj og databaser	47
Appendiks II: LCA-resultater – detaljer	48
Appendiks III: LCI liste.....	50

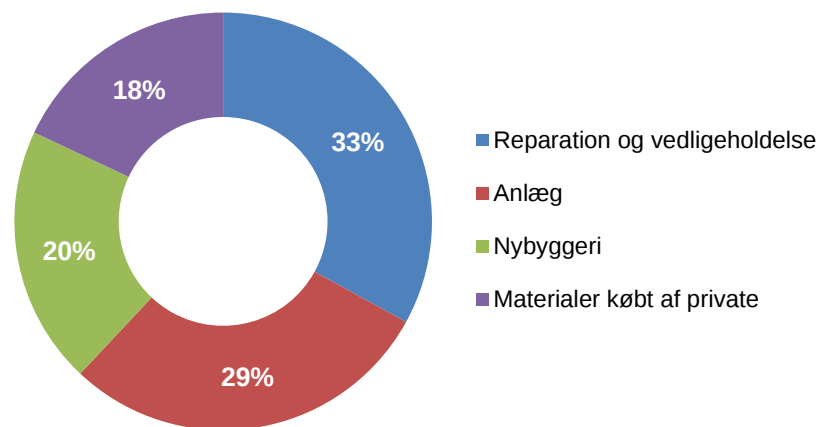
1. Indledning

Formål

Formålet med dette projekt er at undersøge, hvilke materialestrømme og heraf følgende miljøbelastninger og ressourceforbrug, der kan forventes at koble sig til større renoveringsarbejder på eksisterende danske bygninger. Målgruppen for rapporten er alle, som har interesse i miljøpåvirkninger fra og livscyklusvurderinger af renoveringsprojekter, f.eks. rådgivere, bygningsdesignere og byggevareproducenter, men også bygherrer og investorer.

Baggrund

Bæredygtighed er de senere år kommet i fokus ved opførelse af nybyggeri. Det eksisterende byggeri udgør dog en væsentligt større andel af bygningsmassen end nybyggeriet, og renoveringer af den eksisterende bygningsmasse rummer dermed et stort potentiale for bæredygtige tiltag. 33 % af byggeriets samlede produktionsværdi¹ kan tilskrives reparation og vedligeholdelse (se figur 1). Hertil kommer renoveringer udført i privat regi, der falder ind under de 18 % af byggeriets samlede produktionsværdi der kan tilskrives materialer købt af private. Til sammenligning udgør nybyggeri 20 % af byggeriets samlede produktionsværdi.



Figur 1. Byggeriets samlede produktionsværdi fordelt på hovedmarkeder. Figur fra Dansk Byggeris konjunkturanalyse februar 2014 på baggrund af tal fra Danmarks Statistik.

Den samlede byggeaktivitet udgør ifølge Dansk Byggeri ca. 200 mia. kr. pr. år, hvoraf *større* renoveringsarbejder i den eksisterende bygningsmasse udgør ca. 33 mia. kr. pr. år. (Wittchen m.fl., 2014). Hidtil har der ved sådanne renoveringer primært været fokuseret på energi- og indeklimaforbedringer. Byggeriet som helhed står for en stor del af samfundets ressourceforbrug, og det er således relevant, at der også fokuseres mere bredt på bæredygtighed ved renoveringer. Dette projekt beskæftiger sig med et afgrænset område af det bæredygtige perspektiv på renoveringer, nemlig materialeforbruget ved renovering og den tilknyttede miljøbelastning kvantificeret ved brug af livscyklusvurdering (LCA) på udvalgte casestudier.

¹ Produktionsværdien er den økonomiske aktivitet uden fradrag af forbrug af materialer og hjælpstoffer i produktionen. Produktionsværdien bliver opgjort i basispriser, dvs. uden moms og afgifter

Afgrænsning

Til projektet er kortlagt de forventede typer af materialestrømme for 5 forskellige casestudier. Samtlige tilgængelige casestudier er enten etagebolig- eller kontorbyggeri, og undersøgelsen afgrænses dermed fra øvrige bygningstyper. Hvad angår egentlige LCA'er viste blot to projekter sig at have de mængdedata til rådighed, der er nødvendige for selve beregningerne. Disse to projekter er begge etageboliger. De overordnede konklusioner fra disse studier antages dog at kunne overføres også til renoveringer af typisk kontorbyggeri.

Med brugen af LCA beregnes kun en del af de miljømæssige påvirkninger ved renoveringsarbejder. Der knytter sig dog væsentlige bæredygtighedsaspekter af både økonomisk og social karakter til renoveringer, som dermed kan vurderes sideløbende ved brug af andre metoder og værktøjer.

I LCA'erne er fokus lagt på at undersøge livscyklusfaser, materialetyper e.l. ud fra den metodiske tilgang præsenteret i DS/EN 15978². Derudover henvises til Rasmussen og Birgisdóttir (2015) for vurderinger af (ny)byggeriers absolutte miljøpåvirkninger beregnet ved brug af LCA, ligesom der henvises til Birgisdóttir og Rasmussen (2015) for en generel introduktion til LCA på bygninger.

En væsentlig afgrænsning af projektet er ydermere, at kun større renoveringsprojekter indgår som en del af analysen. Dette defineres yderligere i kapitel 2. Renoveringsbegrebet benyttes bredt over forskellige omfang af renoveringsindgreb, men casestudierne i dette projekt har alle det tilfælles, at renovering af klimaskærmen indgår. En stor del af de renoveringer, der foretages i eksisterende danske boliger, er dog af mindre omfattende karakter (eksempelvis køkkenrenoveringer i boliger, eller renovering af rum-layout i kontorbygninger), men disse er ikke undersøgt her.

² Standarden "Assessment of environmental performance of buildings – calculation method" (2012). En del af CEN/TC 350:Sustainability of construction works.

2. Renovering i bygningens livscyklus

I dette kapitel afgrænses renoveringsbegrebet til brug i denne rapport, og tidmæssige perspektiver på bygningsrenoveringer præsenteres og diskuteres. Derudover udredes hvordan konceptet renovering forstås, dels i teoretisk sammenhæng som præsenteret i de relevante europæiske standarder og dels i praktisk sammenhæng som benyttet i byggesektoren.

2.1. Renoveringskonceptet i denne rapport

De i denne rapport analyserede casestudier betragtes på bygningsniveau som renoveringsarbejder, hvor formålet er at forbedre bygningens medbyggede standard. De ønskede forbedringer er stort set af samme karakter på tværs af de analyserede projekter, nemlig forbedringer i retning af drifts-energibesparelser, bedre indeklima og øget beboerkomfort.

En nødvendig afgrænsning i LCA-øjemed har været at se bort fra den type af renoveringer, der transformerer bygningen til en anden status, altså f.eks. fra industri til bolig. Eftersom en sådan ændring medfører ændret anvendelsesformål, og sandsynligvis også ændret areal, er der de facto skabt en ny bygning. Det giver derfor ikke umiddelbar mening i dette projekt at analysere en sådan bygning som en renoveringscase.

2.2. Tidsperspektiver ved bygningsrenoveringer og LCA

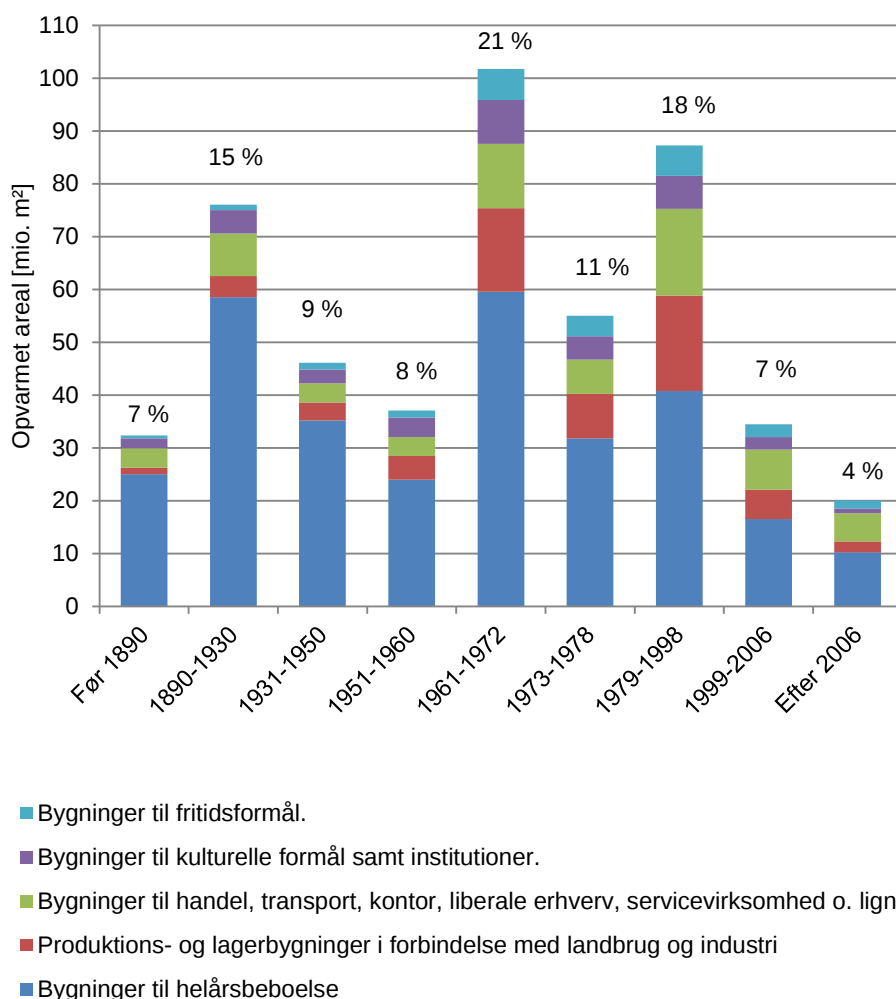
Der er ingen endelige tal for, hvornår i en bygningens levetid den er moden til renovering. Indenfor bæredygtighedsvurderinger af bygninger opererer man med forskellige betragtninger af levetider, der knytter sig til en række faktorer som bl.a. beskrevet i Aagaard m.fl. (2013):

- a. *Teknisk levetid*: materialekvalitet, udformning og design, udførelse, påvirkninger indendørs og udendørs, brugsforhold, vedligehold mv.
- b. *Funktionel levetid*: samfundsforandringer, teknologisk udvikling, ændrede livsmønstre, urbanisering mv.
- c. *Økonomisk levetid*: konjunkturer, renteniveau, priser på arbejdskraft og byggematerialer, materialegenskaber, design mv.
- d. *Æstetisk levetid*: livsstil og mode mv.

Faktorerne knytter sig i udgangspunktet til enkelte bygningsdele og materialer, men betragtningerne kan overføres til bygningen som en helhed bestående af disse mange bygningsdele og materialer.

Den udløsende faktor for igangsættelsen af en renovering vil sandsynligvis kunne findes inden for en ændring af krav til bygningens ydeevne på de ovennævnte faktorer. Sådanne ændrede krav kan bl.a. komme i spil ved ejerskifte. Sandsynligvis er det et sammenspil af faktorerne, der igangsætter et renoveringsarbejde, og i den forbindelse vil bygningens alder spille en rolle, fordi bygningens relative standard falder med alderen.

I SBI-rapport 2014:01 (Wittchen m.fl., 2014) findes oversigten vist i figur 2 over opførelsesperioderne for danske bygningers opvarmede areal.



Figur 2. Det opvarmede areal opgjort efter opførelsesperiode og i hovedanvendelsesgrupper. Bygninger uden varmeinstallation og fredede bygninger er ikke medregnet. Figur fra SBI-rapport 2014:01 (Wittchen m.fl. 2014).

Den tilhørende analyse i SBI-rapport 2014:01 beskæftiger sig med energirenoveringstiltag. Af analysen fremgår det, at en stor andel af det opvarmede areal opført i perioden 1890-1930 (15 %) står overfor gennemgribende renovering og vedligehold med deraf følgende krav om opgradering af isoleringsevnen. Tilsvarende rummer perioderne 1961 til 1978 et stort antal bygninger, som nærmer sig et tidspunkt, hvor de står foran renovering eller udskiftning af bygningskomponenter. Perioden 1979 til 1998 omfatter også en større mængde bygninger, men i disse må rentabiliteten af de fleste potentielle forbedringer forventes at være begrænset.

Standardforbedringer ved energirenoveringer er synlige for bygningsejeren, fordi økonomiske beregninger kan fortælle, om investeringen kan hentes hjem i besparelser på driften. Der kan dermed være direkte, økonomisk rationelle begrundelser for en renovering. Anderledes forholder det sig med nogle af de andre faktorer, der påvirker levetiden. For eksempel er en bygnings umoderne udseende måske i sig selv ikke nok til at foranledige en renovering, fordi der ikke på samme måde er direkte økonomiske gevinster forbundet med det.

Betragtningsperiode for LCA'er ved renoveringer

Uanset baggrunden for en bygningsrenovering til en forbedret standard, er de fremadrettede tidsperspektiver af betydning ved en LCA.

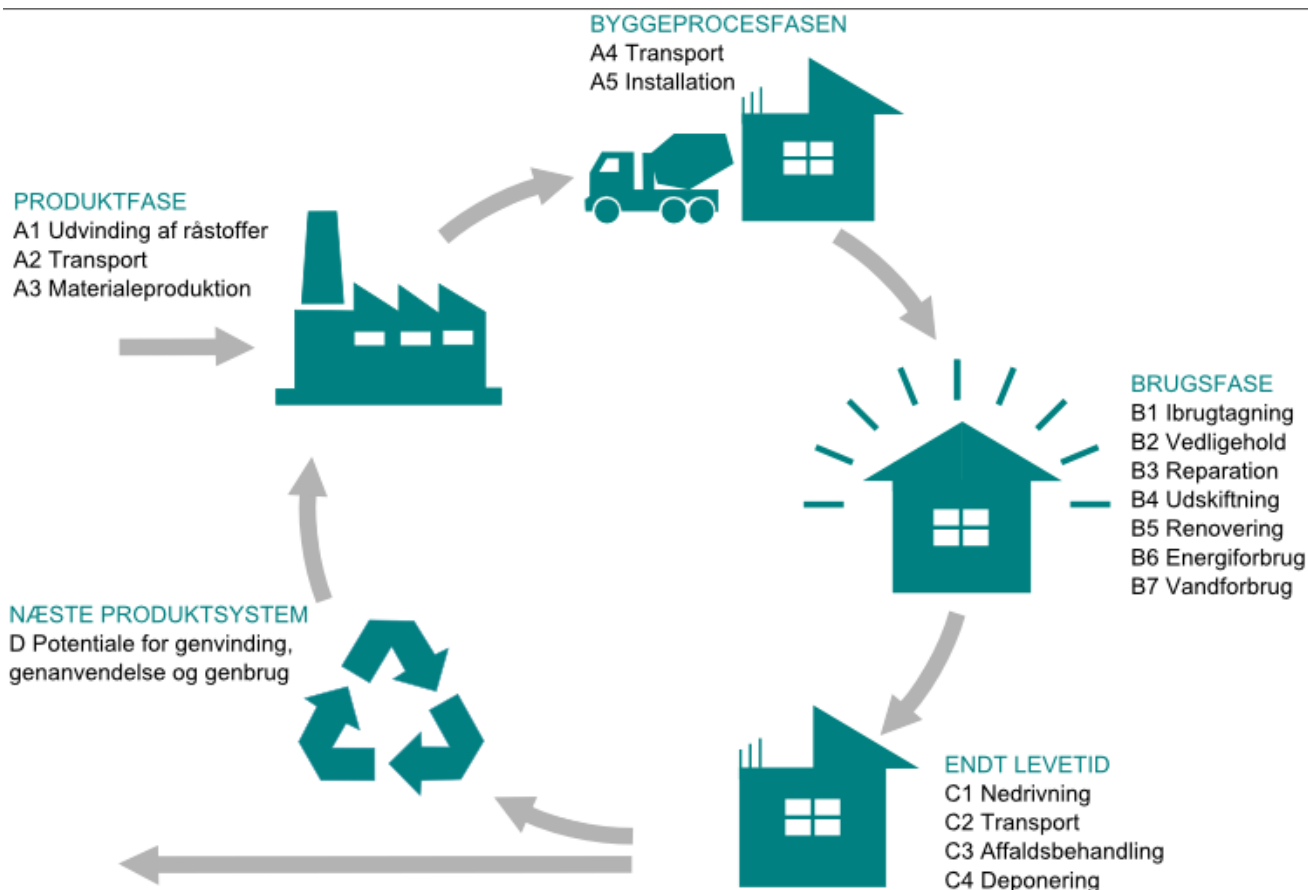
Under danske brugsforhold og byggetraditioner anbefales, bl.a. i det danske LCAByg-værktøj³, at regne med en samlet levetid på 100 år for nye bygninger til beboelsesformål. Eftersom en renovering foretages på allerede eksisterende bygninger vil yderligere betragtninger gøre sig gældende, først og fremmest: hvor lang levetid kan man regne med at bygningen har efter en udført renovering? Er det f.eks. rimeligt at regne med at en renoveret bygning vil have en tilbageværende levetid svarende til et nybyggeris samlede levetid på 100 år, eller skal man begrænse betragtningsperioden ud fra den antagelse at det renoverede hus enten nedrives eller renoveres igen inden der er gået 100 år?

De europæiske CEN/TC 350-standarder for vurdering af bæredygtigt byggeri giver intet bud på metodiske detaljer ved beregning af LCA på renoveringsprojekter. Dertil kommer at kun få publicerede forskningsprojekter beskæftiger sig med LCA på renoveringsprojekter, og at der dermed ikke ligger nogen egentlig praksis til grund for benyttede tidshorisonter. I et internationalt forskningsprojekt under International Energy Agency (IEA) Annex 56 angives dog en række betragtninger på levetiden ved LCA'er på renoveringsprojekter, primært i relation til de energitekniske komponenters forventede levetider. I forskningsprojektet anbefales derudfra en betragtningsperiode på 50-60 år til renoveringsprojekter (Ott et al, 2014).

Til beregningerne foretaget til dette projekt regnes med en levetid af renoveringsarbejdet på 50 år som anbefalet i ovennævnte IEA-forskningsarbejde. Hertil knytter sig en antagelse om, at en bygning typisk gennemgår et større renoveringsarbejde halvejs inde i den forventede levetid.

2.3. Renoveringskonceptet i LCA-standarder

Bygningens livscyklus i henhold til de europæiske standarder CEN/TC 350 inkluderer de livscyklusfaser (produktfase osv.) og procesmoduler (A1-D), der fremgår af figur 3. Brugsfasen er den tidsmæssigt mest omfattende af de skitserede livscyklusfaser og strækker sig over al den tid, bygningen står som en funktionel bygning. Alt efter bygningens formål kan den funktionelle levetid for nye bygninger forventes at være op mod 200 år (Aagaard m.fl., 2013).



Figur 3. Bygningens livscyklus med faser og procesmoduler som beskrevet i de europæiske CEN/TC 350-standarder.

I løbet af brugsfasen er forfald af bygningens fremtoning og tilstand forventelig. Ligeledes er genopretningen af dette forfald forventeligt, men selve genopretningsindgrebet kan defineres på forskellige niveauer. I CEN/TC 350-standarderne skelnes der således mellem begreberne vedligehold (B2), reparation (B3), udskiftning (B4) og renovering (B5). Begreberne dækker over forskellige niveauer af indgreb illustreret i nedenstående med et vinduesparti som eksempel:

Vedligehold (B2)

- Vask af glas, rammer og karme
- Smøring af lukkemekanismer e.l.

Reparation (B3)

- Udbedring af uforudsete skader på glas, rammer, karme

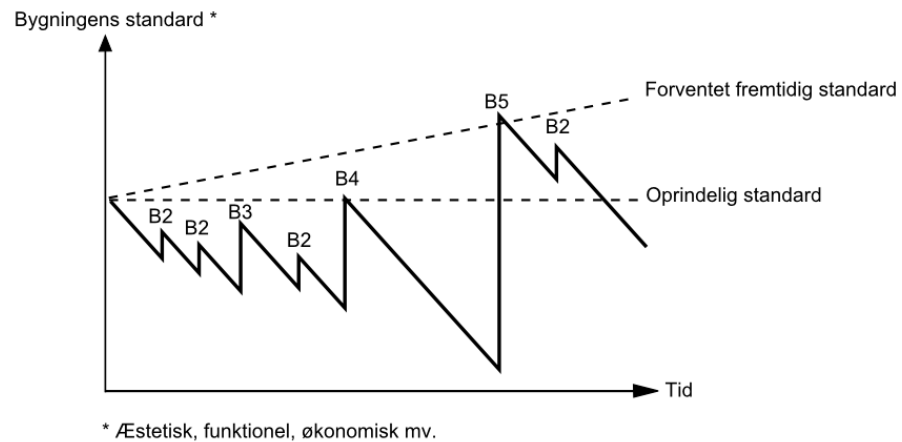
Udskiftning (B4)

- Erstatning af glas og/eller rammer og karme med produkter tilsvarende det oprindeligt installerede

Renovering (B5)

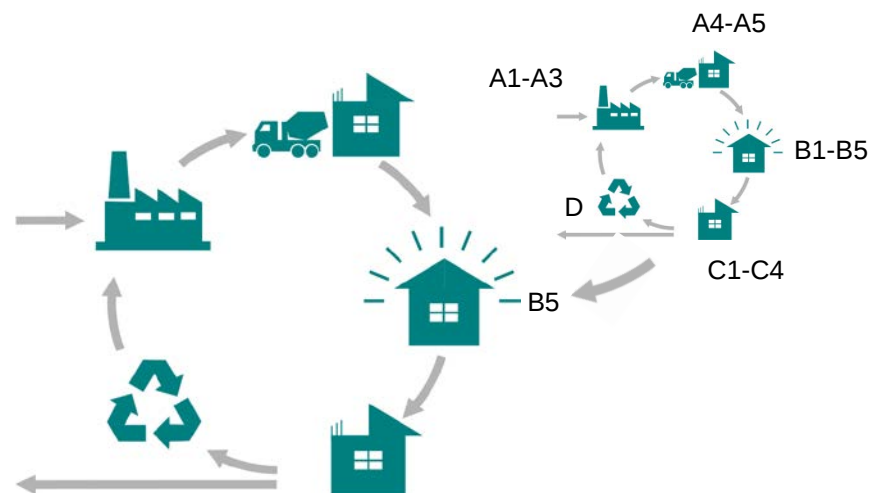
- Erstatning af glas og/eller rammer og karme med produkter af anden karakter end det oprindeligt installerede, eksempelvis lavenergivinduer, vinduesparti med solafskærmning eller automatiske åbne-/lukkemekanismer

Figur 4 giver et grafisk eksempel på de forskellige koncepter fra CEN/TC 350-standarderne, der relaterer sig til at genoprette eller ny-skabe en bygnings standard. Bemærk at rækkefølgen af indgrebene er tilfældig i figurens eksempel, således at eksempelvis en renovering (B5) godt kan forekomme inden en reparation (B3).



Figur 4. Eksempel på betydning for bygningens standard med indgreb af hhv vedligeholdende (B2), reparerende (B3), udskiftende (B4) og renoverende (B5) karakter.

Med til forståelsen af begreberne og beregningerne i en LCA hører også, at selvom genopretningsindgrebet (f.eks. en renovering) foretages i bygningens brugsfase, så medfører materialeforbruget forårsaget af renoveringen, at yderligere livscyklusser inkluderes i beregningerne. For samtlige materialer installeret i en renovering (B5) vil der knytte sig både en produktfase (A1-A4) en brugsfase (B1-B5 med tilhørende genopretning, f.eks. udskiftning) samt en bortskaffelsesfase (C1-C4) og en eventuel indtræden i et nyt produktsystem (D). Dette er illustreret i figur 5.



Figur 5. En række af procesmodulerne i bygningens brugsfase, f.eks. B5, involverer yderligere livscyklusser for de materialer der introduceres og forbruges.

Af CEN/TC 350-standarderne fremgår det, at B5 kun inkluderes som et procesmodul for sig i et nybyggeris samlede LCA, såfremt renoveringsindgrebet er planlagt allerede ved bygningens opførelse. Til beregningerne i denne rapport omhandler beregningerne allerede eksisterende bygninger, hvorfra der ikke foreligger nogen tidligere LCA'er af de eksisterende konstruktioner. LCA beregnes derfor i kapitel 4 uafhængigt af den eksisterende bygnings miljøprofil. Det betyder, at renoveringsindgrebet bliver beregnet og rapporteret som produktion af nye materialer (A1-A3), udskiftninger i den efterfølgende brugsfase (B4) samt processerne ved endt levetid (C3-C4).

I kapitel 5 sammenlignes de potentielle miljøpåvirkninger fra den renoverede bygning med en referencebygning. I denne sammenhæng introduceres yderligere et tidsmæssigt allokeringsspektiv, hvor den eksisterende konstruktions indlejrede miljøpåvirkning medregnes i renoveringsindgrebet med en brøkdel af den eksisterende konstruktions samlede miljøpåvirkning; en brøkdel svarende til den tilbageværende forventede levetid af den oprindelige konstruktions samlede levetid på 100 år. Dette uddybes i kapitel 5.

2.4. Renoveringskonceptet i byggebranchen

Den meget skematiske afgrænsning af renoveringsbegrebet som skitseret i forrige afsnit er naturligvis svær at overføre direkte til byggebranchens praktiske arbejde. Her vil det der betegnes som renoveringsarbejder i høj grad omfatte en blanding af genopretningskoncepterne snarere end en stringent afgrænsning, der kun omfatter en højnelse af bygningstandarden til tidssvarende standard eller mere. Ydermere ses renoveringskonceptet også benyttet til at beskrive omfattende transformeringsarbejde på en bygning og heraf følgende statusændring, f.eks. ved gennemgribende ombygninger af gamle industribygninger der efterfølgende tjener som bolig eller kontor.

I senere års arbejde med at kortlægge renoveringsaktiviteten i Danmark, er renoveringsbegrebet flere steder søgt defineret. Centrale undersøgelser⁴ peger på renoveringsbegrebet som en formålsafgrænsning, altså en afgrænsning i forhold til hvad man forsøger at opnå med sit byggetekniske indgreb. Samlet set kan der så skelnes mellem:

- Type 1. Vedligeholdelse og renoveringstiltag, der har til formål at *bevare og genoprette* en bygnings oprindelige standard (jvf. begreberne B2-B4 fra standarderne, skitseret i forrige afsnit).
- Type 2. Renoveringstiltag, der har til formål at *forbedre/transformere* bygnings oprindelige standard til en erhvervet standard, der er tidssvarende, altså en fornyelses- eller foryngelsesproces (jvf. begrebet B5 fra standarderne, skitseret i forrige afsnit)

På komponent-niveau vil det måske være muligt at redegøre for formålet med et renoveringsindgreb, f.eks. om et vinduesparti udskiftes for at genoprette bygningens medfødte tilstand (B4) eller om vinduespartiet udskiftes for at forbedre bygningens standard ved at være mere energieffektivt (B5). På bygnings-niveau, og altså for renoveringsarbejdet på bygningen som helhed, øges kompleksiteten dog, fordi der kan ligge forskellige formål til grund for de enkelte komponenters genopretning. Nogle komponenter skal eksempelvis repareres, mens andre skal udskiftes. Desuden træder supplerende mekanismer i kraft ved en større bygningsrenovering, f.eks. økonomiske overvejelser om, at man lige så godt kan skifte taget ud, fordi stilladset allerede er sat op med henblik på at udskifte vinduer.

⁴ Bygherreforeningen og Grundejernes Investeringsfond, 2011: "Hvidbog om bygningsrenovering".
Grundejernes Investeringsfond og Realdania, 2012: "Fokus på bygningsrenovering".

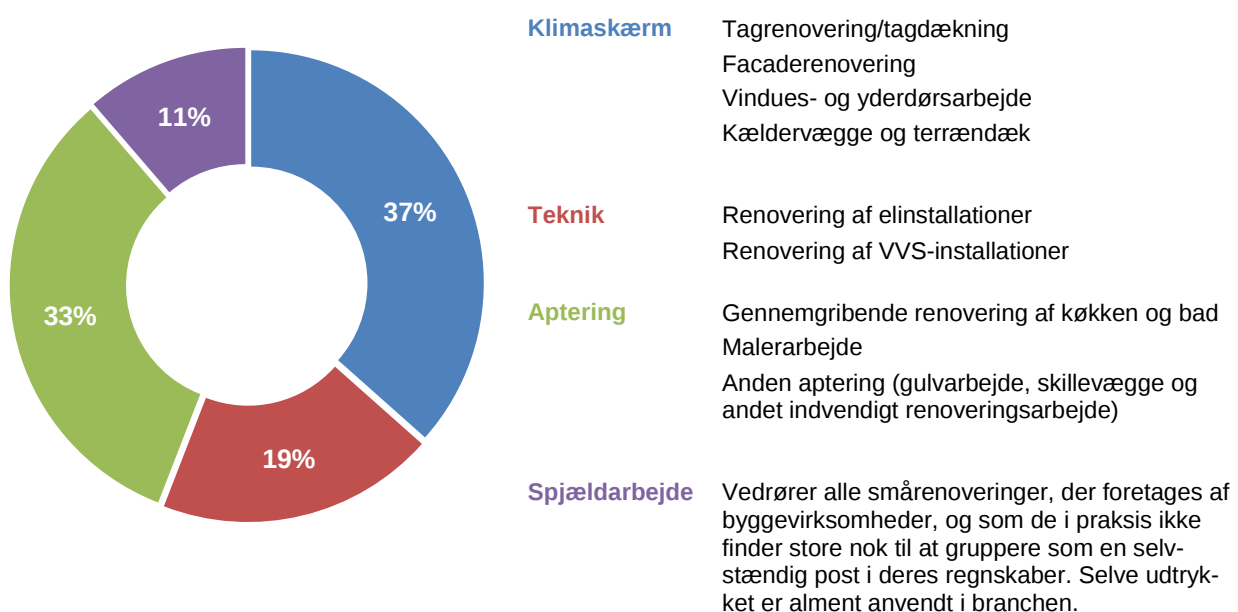
3. Materialestrømme i en renovering

I dette kapitel søges i første omgang en afklaring af, hvilke primære materialer, der forventeligt vil indgå som en del af en typisk renovering, både hvad angår afinstallerede materialer til bortskaffelse og materialer til installation i bygningen. Efterfølgende illustreres materialestrømmen fra en renovering med opgørelser og beregninger fra 2 casestudier.

3.1. Hvad består renoveringsarbejdet i?

Ved en LCA af en bygningsrenovering skal informationer om mængder og typer af materialer være tilgængelig. Opgørelser over de materialer, der skal installeres i en renoveret bygning, kan estimeres ud fra bl.a. arkitekttegninger eller udbudsmateriale. Sværere forholder det sig dog med hensyn til at skabe overblik over de bortskaffede materialer, og der findes samlet set ikke meget datamateriale over materialemængderne, der forlader bygningen ved renoveringsprojekter. Til dette projekt baseres en tilnærmelse af generelle bortskaffelsesmængder på statistik over renoveringsaktivitet og bestående boligmasse som vist i det følgende.

Figur 6 viser fordelingen af renoveringsaktiviteternes produktionsværdi i 2013 opgjort i en analyse fra Teknologisk Institut (Hougaard m.fl., 2014). Heraf fremgår det, at renoveringsarbejde på klimaskærmen er den type af renoveringer med højest samlet omsætning for branchen som helhed. Forskellen er dog ikke stor ned til apteringsarbejdet, der har karakter af mere indvendigt renoveringsarbejde. Teknik-renoveringer står for knap 20 % af den samlede omsætning, og mindre arbejder, benævnt spjældarbejde, for cirka det halve.



Figur 6. Vægtet fordeling af byggevirksomheders renoveringsaktiviteter i 2013 målt i produktionsværdi. Tal fra Hougaard m.fl. (2014).

3.2. Materialestrømme ind i en renovering

De indgående materialestrømme i et renoveringsarbejde afhænger selvsagt af typen af renovering jvf. figur 6 og af karakteren af bygningen, som undergår renovering. Desuden findes der for hver renoveringstype et utal af potentielle materialeløsninger. For eksempel kan en energirenovering af klimaskærmen indebære udvendig efterisolering eller total erstatning af hele ydervægge.

Eftersom netop klimaskærmsrenoveringer udgør en stor del af branchens samlede aktivitet, er det forventeligt at isoleringsmaterialer vil være en hyppigt benyttet kategori af materiale, der indgår som input til en renovering. Dette gør sig bl.a. gældende for de analyserede casestudier, der præsenteres i afsnit 4.2. og 4.3. De renoverede overfladematerialer afhænger af den valgte renoveringsløsning, som igen vil have en sammenhæng med den oprindelige bygnings konstruktion, hvis det oprindelige arkitektoniske udtryk ønskes bevaret.

For renoveringsarbejdet, der karakteriseres som apteringsarbejde, jvf. figur 6, er det forventeligt, at en stor del af de primære materialer vil være indvendige overfladematerialer såsom fliser/klinker, gulve, gips o.l. Derudover indgår sandsynligvis en del materialer i form af komponenter, produkter samt elementer, f.eks. køkkenelementer til en køkkenrenovering, armaturer til en badrenovering osv.

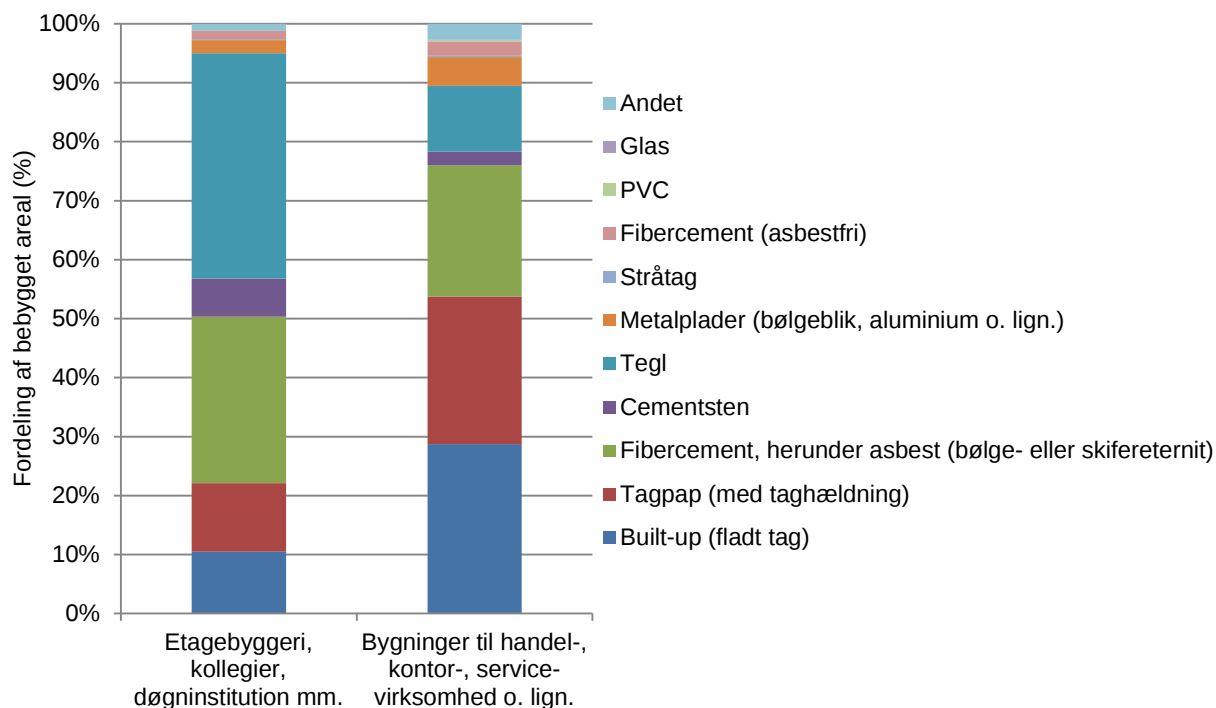
For renoveringsarbejdet af den tekniske karakter kan materialeinputs dels dreje sig om materialer til allerede installerede komponenter, f.eks. materialer til efterisolering eller fornyelse af rør, men det kan også dreje sig om materialer i forbindelse med ny-etablerede tekniske løsninger, f.eks. ventilation, LED-belysning eller lignende.

Koblingen mellem mængder af materialerne og den miljømæssige betydning er dog ikke ligetil. Dette perspektiv uddybes i kapitel 4, hvor to udførte LCA'er af input-mængderne ved forskellige renoveringsprojekter viser, at udskiftningen af vinduer er et meget væsentligt element i miljøpåvirkningerne, på trods af at materialemængderne fra vinduerne ikke er fremtrædende.

3.3. Materialestrømme ud af en renovering

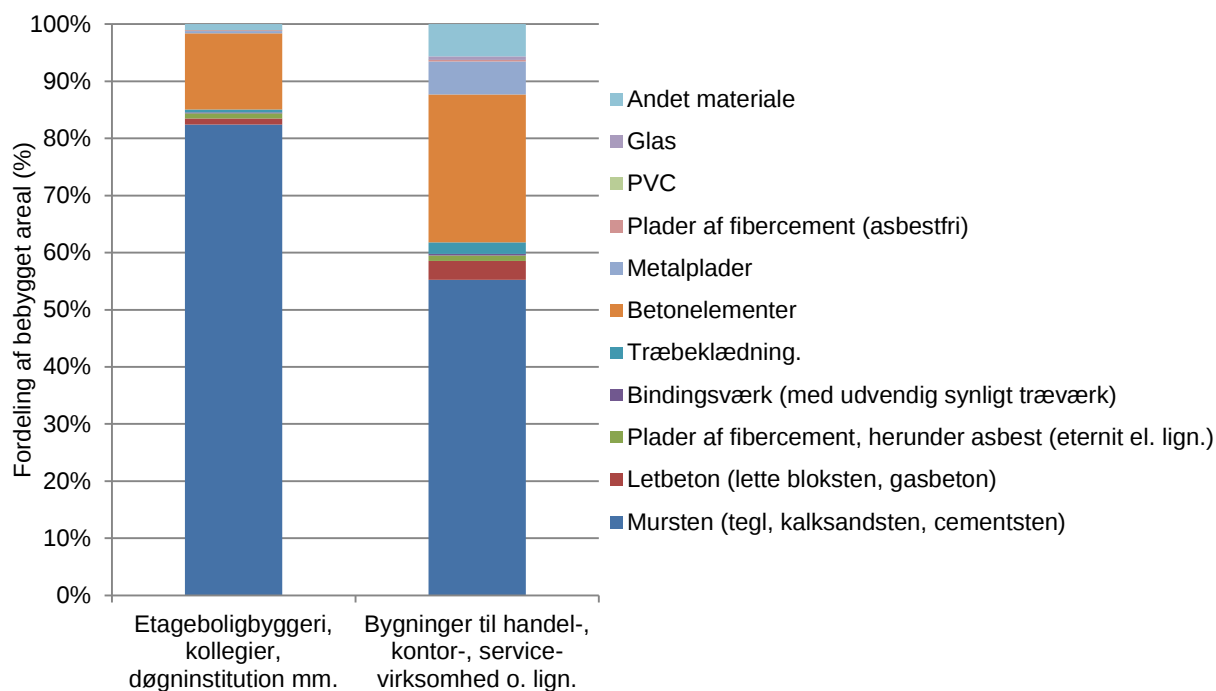
De udgående materialestrømme fra renovering af klimaskærme afhænger af den renoverede konstruktion og den udførte renoveringsløsning. Af figur 7 og figur 8 fremgår fordelingen af materialer i tagbeklædning og i ydervægge, som findes registreret i BBR, og som dermed forventeligt kan findes i større mængder til bortskaffelse i forbindelse med en renovering.

For etageboligbyggeri ses, at tegl er den hyppigst benyttede tagdækningsløsning (ca. 40 %) og dernæst fibercementplader (ca. 30 %) og tagpap (ca. 20 %, hvis man samtidig antager, at de fleste flade tage også benytter tagpap som beklædning). For tagdækning på kontorer er tagpap den hyppigst benyttede løsning (ca. 55 % under samme antagelse som nævnt ovenfor), dernæst fibercementplader (ca. 20 %) og tegl (ca. 10 %).



Figur 7. Fordeling af materialer i tagbeklædningen som registreret i BBR. Tal fra Wittchen m.fl. (2014).

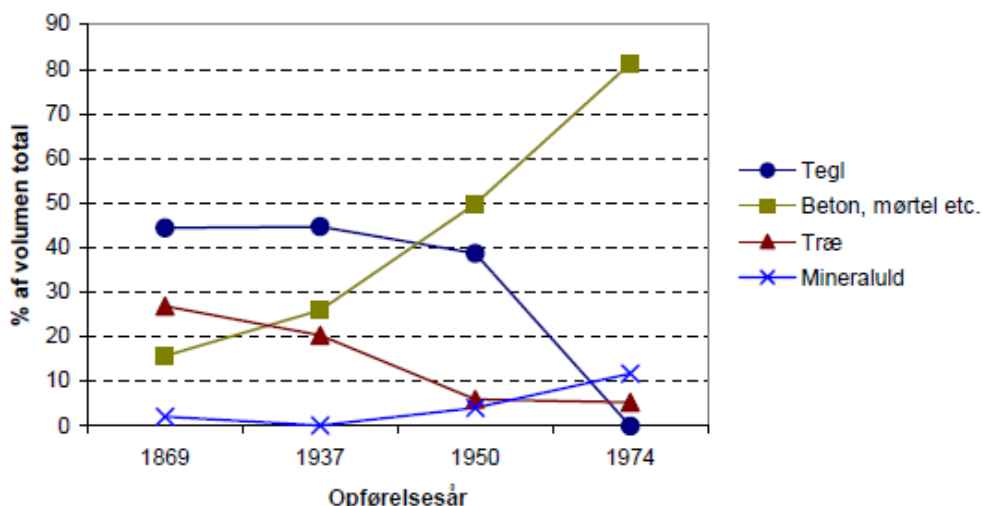
For ydervægskonstruktionens vedkommende gælder, at tegl er den dominerende løsning for både etageboligbyggeri (ca. 80 %) og kontorbyggeri (ca. 55 %). For begge bygningstyper gælder også, at beton er den næst hyppigst benyttede løsning (ca. 15 % af etageboligbyggeriet og ca. 25 % af kontorbyggeriet).



Figur 8. Fordeling af materialer i ydervægskonstruktionen som registreret i BBR. Tal fra Wittchen m.fl. (2014).

Udover overfladematerialerne indebærer en klimaskærmsrenovering oftest en udskiftning af vinduer til mere energieffektive typer. Fra denne udskiftning udgår selvsagt også en del materialer til bortskaffelse, herunder glas og karm- og rammematerialer.

Materialesammensætningen i de eksisterende bygninger afspejler naturligvis visse tidstypiske præg. Af figur 9 ses f.eks., at betonanvendelsen allerede inden 1950 overhaledede tegl som det primære byggemateriale til etageejendomme. Det er derfor forventeligt, at disse to materialer vil komme i spil som eventuelle afinstallerede materialer ved en nutidig renovering.



Figur 9. Udvikling i volumen af de primære byggematerialer i tidstypiske etageejendomme. Figur fra Miljøstyrelsen (2006) på baggrund af tal fra By- og Boligministeriet (1999).

Bortskaffelsen af de ovenfor nævnte primære typer af byggeaffald medfører dog almindeligvis ikke store miljømæssige påvirkninger set i forhold til produktionen af nye materialer samt betragtet indenfor de miljøpåvirkningsindikatorer, der fokuseres på i denne rapport (jvf. kapitel 4). Den uanseelige betydning af bortskaffelsen af afinstallerede materialer ses bl.a. af casestudiet i kapitel 4. Afhængig af graden af renoveringsindgreb vil affaldsmængderne variere, ligesom scenarierne for bortskaffelsen vil have betydning for de endelige potentialer for miljøpåvirkninger; eksempelvis om man antager nedknust betonaffald går til genanvendelse eller til deponi. En yderligere faktor i denne forbindelse er betydningen af eventuelle forurenede materialer, f.eks. PCB-forurenede fugematerialer, og den måde disse problematiske materialer skal bortskaffes på. Dette diskuteres nærmere i kapitel 4.

3.4. Renoveringstypologi og eksempler på materialestrømme

Som eksempler på de overordnede materialestrømme ved renovering af etageboliger og kontorbyggeri, er undersøgt 5 forskellige casestudier af renoveringer, der alle havde/har til formål at forbedre den enkelte bygnings standard.

For samtlige undersøgte cases gør følgende renoveringsindgreb sig gældende:

- Nyt tag/tagbeklædning
- Nye lavenergivinduer
- Nye installationer til ventilation
- Nye installationer af belysning
- Øget isoleringsniveau

Dertil kommer en række tiltag som beskrevet under de enkelte bygninger.

Vester Voldgade 123



Foto: Rose m.fl. (2015).

Type	Kontorbygning
Opført år	1938
Renoveret år	2013
Renoveringsindgreb	Efterisolering og pudsning af facade Etablering af grundvandskøle-/varmeanlæg Etablering af nye, isolerede vandrør Etablering af solvarmeanlæg

Traneparken



Foto: IEA EBC Annex 56 (n.d.).

Type	Etagebolig
Opført år	1969
Renoveret år	2012
Renoveringsindgreb	Efterisolering og skalmuring af facade og gavle Efterisolering af sokkel og kælder Mekanisk ventilation installeret Etablering af solcelleanlæg

Sorgenfrivang II



Billede: DOMINIA & DOMUS (2011).

Type	Etagebolig
Opført år	1959
Renoveret år	2014-2017
Renoveringsindgreb	Nyt facadeparti Efterisolering af gavle og sokkel Renovering af trappeskakt og elevatorer Renovering af afløb, varmesystem, ventilation og el Udskiftning af køkken, renovering af badeværelser Etablering af solcelleanlæg

Rockwool Center 2



Foto: IEA SHC task 47 (2013).

Type	Kontorbygning
Opført år	1979
Renoveret år	2013
Renoveringsindgreb	Totalrenovering. Kun bærende strukturer bibeholdt

Sems Have



Foto: Byggeplads.dk (n.d.)

Type	Etagebolig
Opført år	1977
Renoveret år	2013
Renoveringsindgreb	Totalrenovering. Kun bærende strukturer bibeholdt

På baggrund af en screening af de fem projekter kan omfanget af renoveringsindgrebet opdeles i tre niveauer, hvor niveau 1 forventes at være af en type med en mere beskeden materialestrøm end niveau 2, og niveau 3 forventes at være af en type med væsentlig omfang af materialestrøm:

1. Mindre omfang ved casene Vester Voldgade og Traneparken hvor *renoveringen af facadepartierne udføres som en udvendig efterisolering*. Dette kombineret med andre indre og ydre renoveringstiltag af mindre omfattende karakter
2. Mellemstort omfang af indgreb ved etageboligerne i Sorgenfrivang II hvor *facadepartier udskiftes i deres helhed*. Dette kombineret med andre indre og ydre renoveringstiltag af mindre omfattende karakter
3. Stort omfang af indgreb ved Rockwool Center 2 og Sems Have hvor stort set *kun de bærende strukturer genbruges* i den renoverede bygning

Af figur 10 fremgår en oversigt over de primære materialestrømme ind og ud af de analyserede projekter. Skemaet er udarbejdet på baggrund af tilgængelige beskrivelser af projekterne og tager dermed ikke udgangspunkt i officielle opgørelsesmængder. Sådanne opgørelsesmængder findes dog for Sorgenfrivang II og for Traneparken (dog kun for materialer ind).

Materialer ind														Materialer ud														
Beton/cementmørtel	Porebeton/letklinkerbeton	Gips	Tegl	Jern/stål	Aluminium	Træ	Trælaminat-/træfiberprodukter	Cementbundne fibre/træbeton	Mineraluld	Plast/skumplast	Glas	Asfalt-/bitumenmaterialer	Natursten/sand/grus		Beton/cementmørtel	Porebeton/letklinkerbeton	Gips	Tegl	Jern/stål	Aluminium	Træ	Trælaminat-/træfiberprodukter	Cementbundne fibre/træbeton	Mineraluld	Plast/skumplast	Glas	Asfalt-/bitumenmaterialer	Natursten/sand/grus
x					x	x			x		x	x		Vester Voldgade 123							x						x	x
x	x	x				x		x	x	x	x			Traneparken							x		x				x	
x	x			x		x		x	x		x	x		Sorgenfrivang II	x	x	x		x			x	x	x	x	x	x	x
	x				x	x	x	x	x		x	x		Rockwool Center 2			x				x		x	x			x	x
	x					x			x	x	x		x	Sems Have	x		x		x		x	x		x	x	x	x	x

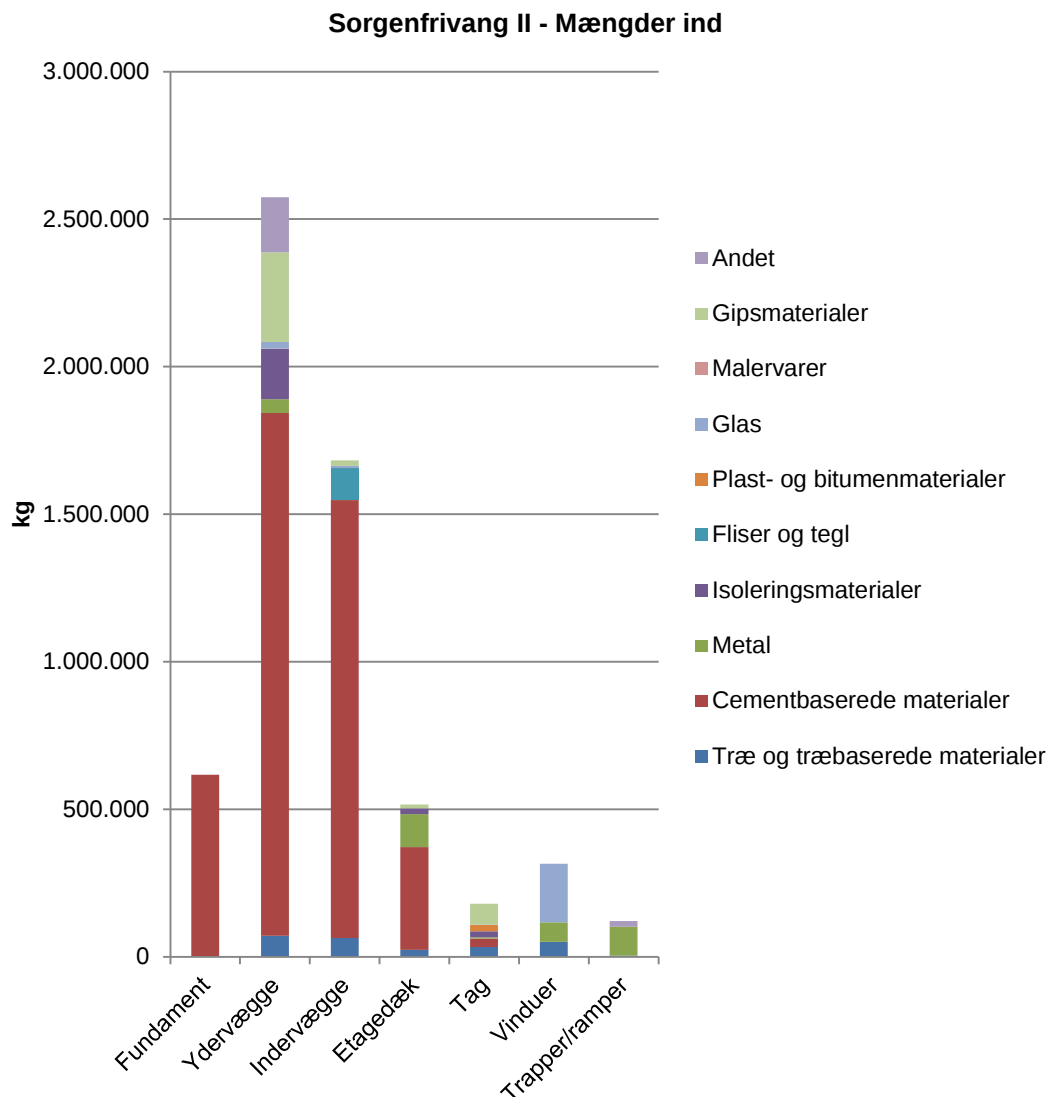
Figur 10. Screening af primære materialestrømme ind og ud ved 5 forskellige renoveringsprojekter.

Oversigten over primære materialestrømme i figur 10 viser, at de mere omfattende renoveringsarbejder (forventeligt) genererer flere typer af byggematerialer til bortskaffelse. Det er en naturlig følge af den nedbrydning/demontering af facadepartier m.m., der indgår som del af disse projekter.

Som tidligere beskrevet er isoleringsmaterialer en gennemgående benyttet kategori af input-materialer dækkende både mineraluld og plastikisolering såsom EPS. Yderligere hyppigt benyttede materialer er dem, der indgår i vindueskomponenterne, dvs. glas, træ/alu eller plastik alt efter type. Input-materialer vedrørende overfladematerialer er i ovenstående cases forskellige fra bygning til bygning. Ydervægsbeklædningen på de forskellige projekter varierer således mellem kompositplader, puds, skifer, tegl og fibercement.

Materialestrømme vedr. Sorgenfrivang II

Figur 11 og figur 12 viser mængdeopgørelser for mængdemængderne ind og ud af casestudiet Sorgenfrivang II⁵.



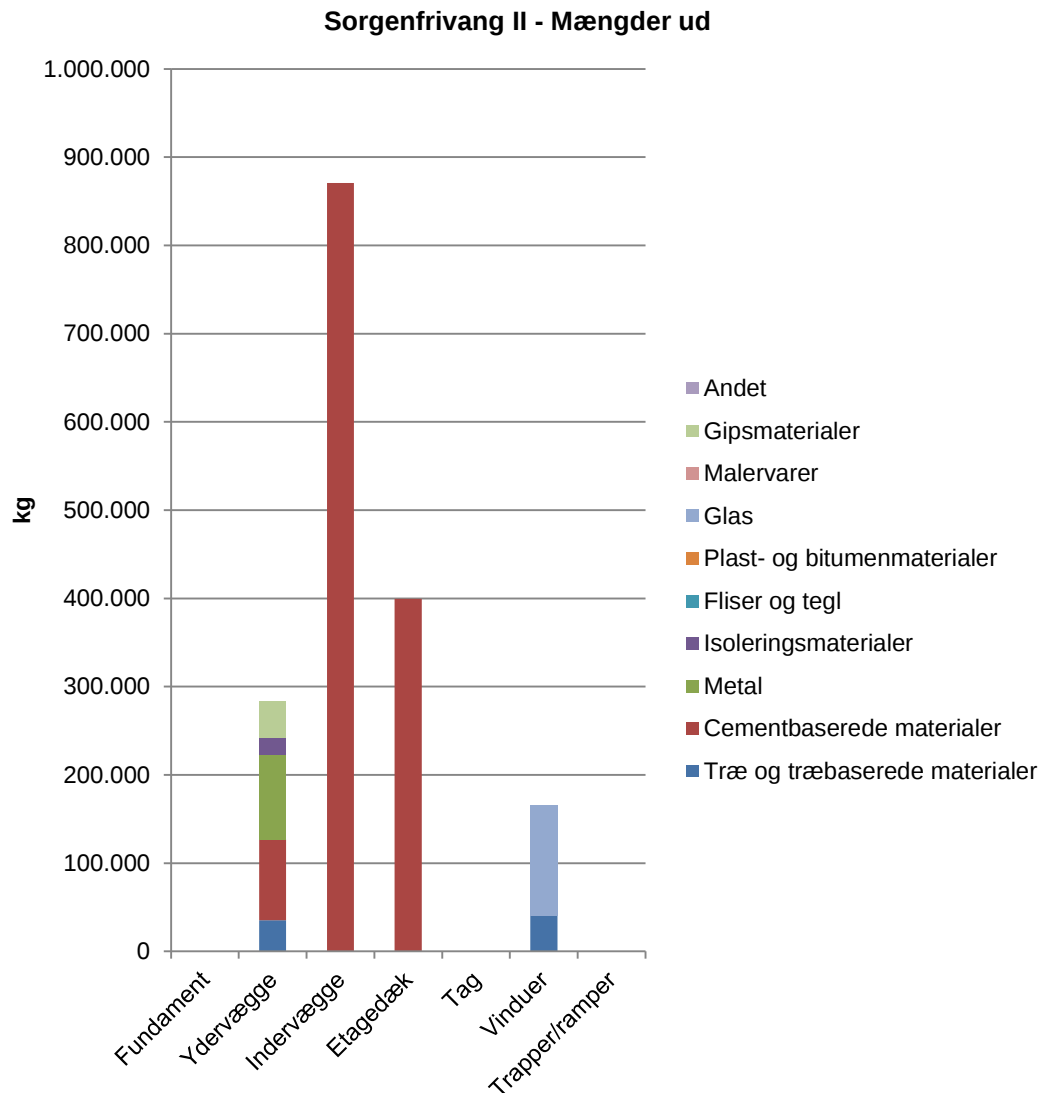
Figur 11. Materialestrømme til renoveringen af Sorgenfrivang II opdelt på materialegrupper og bygningsdele. I alt benyttes ca. 6.000.000 kg materiale til renoveringen, svarende til ca. 140 kg/m².

Af figurerne fremgår det, hvordan der samlet set er stor forskel på de rapporterede mængder ind og ud af renoveringsprojektet ved etageboligbyggeriet Sorgenfrivang II. Mængderne som vist i figurerne svarer til demontering og bortskaffelse af ca. 40 kg pr m² etageareal samt produktion og installation af ca. 140 kg pr m² etageareal.

En del af denne diskrepans bunder i, at bygningen efter renoveringen simpelthen indeholder mere materiale pr. m². Bl.a. gør udstøbningen af fundamenter i forbindelse med renoveringen, at den mængde beton, der indgår i bygningen, øges. For andre bygningsdele resulterer en stykvis 1:1 udskiftning af bygningsdele også i mere materiale, f.eks. for altaner, hvor der under renoveringen skiftes til større enheder.

⁵ Opgørelserne er foretaget af projektets rådgivende ingeniører i forbindelse med byggeriets certificering i DGNB-systemet.

Det er en grundlæggende svaghed ved mængdeopgørelser fra renoveringsprojekter, at det ofte ikke på forhånd vides præcist, hvad det er, der skal bortskaffes i løbet af renoveringsprojektet, fordi det fulde overblik over materialesammensætningen af bygningen ikke er til stede før renoveringen.

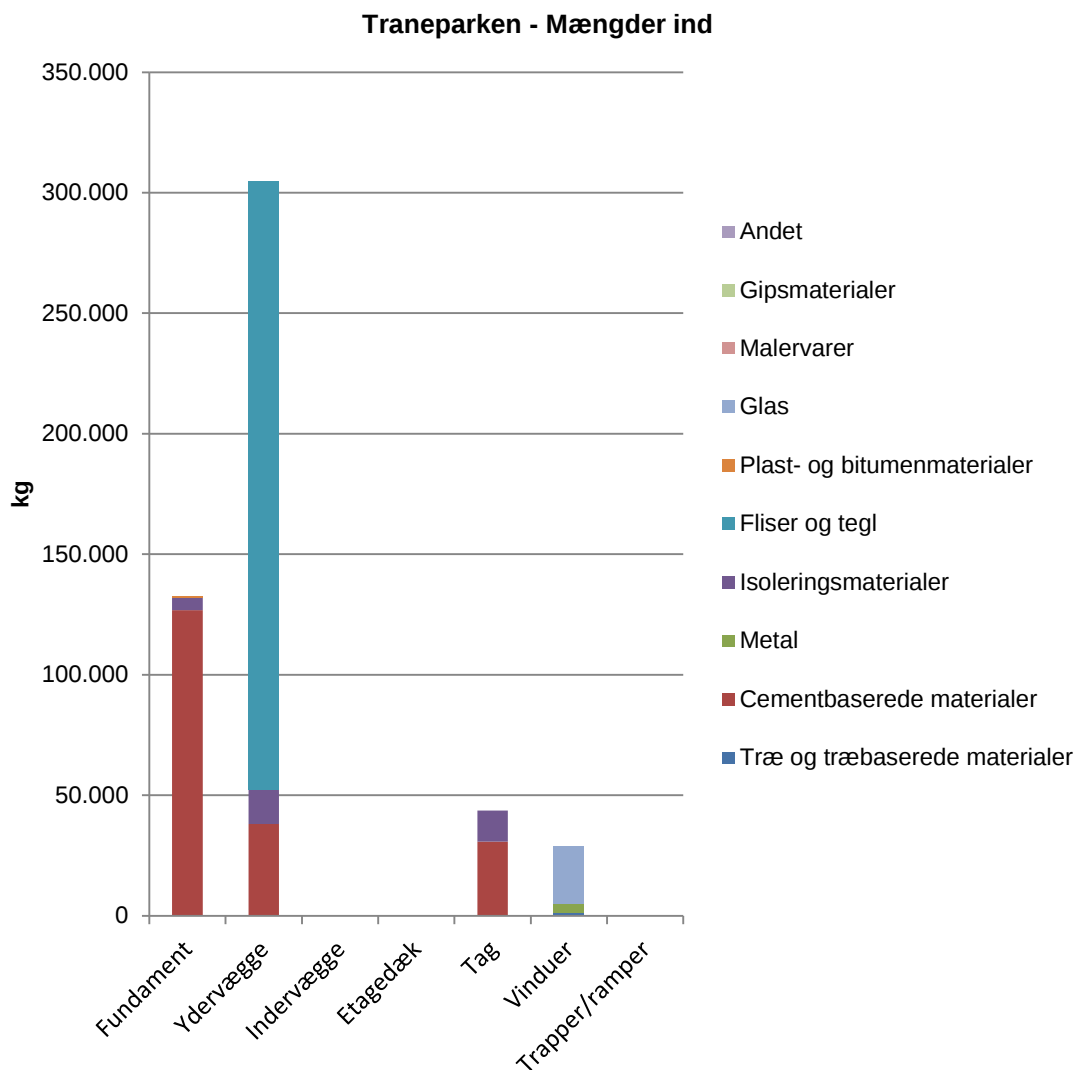


Figur 12. Materialestrømme fra renovering af Sorgenfrivang II opdelt på bygningsdele. I alt bortskaffes ca. 1.700.000 kg materiale i forbindelse med renoveringen, svarende til ca. 40 kg/m².

Af figurer 11 og 12 ses, hvordan en stor mængde af både materialer ind og materialer ud stammer fra renoveringen af ydervægge (gavle og fyldningspartier) og fra renovering af indervægge (herunder især elevatorskakte og opgange).

Materialestrømme vedr. Traneparken

Figur 13 viser mængder og typer af materialer benyttet i renoveringen af Traneparken etageboliger⁶. Selve renoveringsindgrebet er af mindre omfang end renoveringen af Sorgenfrivang II, og de samlede mængder afspejler også dette. Hvor der i Sorgenfrivang II benyttes ca. 140 kg/m², er det tilsvarende tal for Traneparken på ca. 100 kg/m². Mængderne, der forlader Traneparken, som afinstallerede materialer i forbindelse med renoveringen findes ikke opgjort, men det forventes, at de ligeledes er tilsvarende mere beskedne end for et mere omfangsrigt projekt som Sorgenfrivang II.



Figur 13. Materialestrømme til renovering af Traneparken opdelt på bygningsdele. I alt benyttes ca. 500.000 kg materiale i forbindelse med renoveringen, svarende til ca. 100 kg/m²

Renoveringen af Traneparken indebærer efterisolering samt skalmuring med tegl af samtlige facader. Forbruget af teglsten er derfor højt i den samlede mængdeoversigt. Dertil kommer et forventeligt højt forbrug af cementbaserede materialer, som udgøres dels af mørtel i ydervæggen, letklinker- og almindelig beton i fundament/kældervægge samt fibercementplader i tagdækningen.

⁶ De tilgængelige mængdeopgørelser for Traneparkens renoveringsindgreb ekskluderede mængder og materialer for renoveringen af kældervæg/fundament samt tagbeklædning. Mængder og materialer til disse indgreb er anslået på baggrund af byggebeskrivelser, billeder samt arkitekttegninger. Mængder og antagelserne hertil fremgår af LCI-listen i appendiks III.

Indervægge og etagedæk blev ikke berørt af Traneparkens renovering. Udover bygningsdelene vist i figur 13, dvs. knyttet til klimaskærmen, er Traneparkens renovering også af mere teknisk karakter med bl.a. nyt ventilations-system. Komponenter til den tekniske renovering indgår ikke i mængdeopgørelsen sammenstillet i figur 13, men inkluderes i de LCA'er der følger i kapitel 4.

3.5. PCB-forurenede materialestrømme

En række uønskede og dermed potentielt sundheds- og/eller miljøskadelige stoffer er gennem tiden blevet brugt i byggeriet og optræder dermed med særskilte bortskaffelses-problematikker ved renoveringsprojekter. Udover asbest samt en række tungmetaller (f.eks. cadmium og bly) omhandler typiske forureninger i byggeaffald kulbrinter som tjærestofforureninger samt PCB.

PCB er den eneste type forurening i byggeaffaldet, som der er indført særlige kontrolregler for i den danske Affaldsbekendtgørelse. Kontrolreglerne involverer et screeningsskema, der skal udfyldes inden byggearbejdet igangsættes for bygninger opført eller renoveret i perioden 1950-1977, hvor PCB blev anvendt i byggeriet.

Hvis grænseværdierne, defineret med baggrund i Affaldsbekendtgørelsen, for de farlige stoffer i byggeaffaldet overskrides, skal affaldet specialbehandles. Dermed afviges fra de standardprocesser, der almindeligvis bruges til affaldsbehandling af byggeaffald. Afvigelsen fra standardprocesserne vil i en LCA have betydning for de miljømæssige påvirkninger fra livscyklusfaserne C1-C4 samt D. Denne betydning er omtalt i afsnit 4.5.

4. LCA-casestudie af materialestrømme ved renovering

På baggrund af casestudierne omhandlende Traneparken samt Sorgenfrivang II præsenteres i det følgende LCA-resultater på materialestrømmene der indgår som en del af projekterne. I kapitel 5 analyseres renoverings-casestudierne yderligere i forhold til nybyggeri og miljømæssig tilbagebetalingstid.

4.1. LCA-metodisk baggrund

LCA'erne er udført på baggrund af de tilgængelige mængdeopgørelser. En samlet oversigt over mængder, materialer, levetider og benyttede datasæt og bortskaffelsesscenarier fremgår af appendiks III.

Systemafgrænsning

En væsentlig detalje ved LCA- beregningerne i dette projekt er, at kun et udpluk af bygningens livscyklusfaser regnes med. Denne afgrænsning er foretaget med baggrund i alment benyttede afgrænsninger i både certificeringsordningen DGNB samt i videnskabelige studier.

Af tabel 1 fremgår de inkluderede faser og procesmoduler i LCA'erne af Traneparkens og Sorgenfrivang II's renoveringsindgreb.

Tabel 1. Oversigt over livscyklusfaser og processer i en bygnings LCA som defineret i CEN/TC 350-standarderne. Processer inkluderet i dette projekt er markeret med fed skrift.

<i>Livscyklusfaser</i>	<i>Procesmodul</i>
Produktfase	A1 Udvinning af råstoffer
	A2 Transport til fremstilling
	A3 Materialefremstilling
Byggeprocesfase	A4 Transport til byggeplads
	A5 Installation
Brugsfase	B1 Ibrugtagning
	B2 Vedligehold
	B3 Reparation
	B4 Udskiftning
	B5 Renovering
	B6 Energiforbrug til opvarmning og bygningsdrift⁷
	B7 Vandforbrug

⁷ Energiforbrug i brugsfasen er inkluderet i beregningerne til analysen for Sorgenfrivang II i kapitel 5.

Endt levetid	C1	Nedrivning
	C2	Transport til affaldsbehandling
	C3	Affaldsbehandling
	C4	Deponering
Næste produktsystem	D	Genbrugs-/ genanvendelses-/ el. genvindingspotentiale

Systemafgrænsningen svarer til en simplificeret version af en fuldstændig bygnings-LCA. En stor del af de udeladte livscyklus-processer er udeladt, fordi de baserer sig på scenarier, der er forbundet med store usikkerheder, f.eks. vil reparationsbehovet afhænge af en lang række faktorer herunder beboernes adfærd, vejrforhold på bygningslokaliteten, reparationspraksis osv. Udover at være præget af usikkerhed mht. scenarier, er en række af de udeladte processer derudover kendt for ofte kun i mindre grad (dvs. med et par procent) at bidrage til de samlede miljøpåvirkninger for en bygning opgjort vha. LCA. Dette gør sig gældende bl.a. for transportprocesserne, installation/opførelsen af bygningen samt selve nedrivningen.

Procesmodul D omhandler de potentielle miljømæssige belastninger og/eller gevinster, der er at finde efter bygningens levetid, når materialerne fra bygningen indtræder i nye produktsystemer. Et eksempel på dette kan være neddelt beton, der genanvendes i forbindelse med vejkonstruktion. Selve neddelingsprocessen tilhører modulproces C3, men de miljømæssige gevinster (udvinding af grus undgået) og belastninger (evt. nedrivning af tungmetaller) tilhører begge modulproces D. I henhold til DS/EN 15978 skal resultaterne fra modulproces D rapporteres separat, hvis man ønsker at inkludere dem i en LCA. Dette kræves, fordi der er stor usikkerhed forbundet med den egentlige skæbne, som de bortskaffede materialer vil få.

Miljøpåvirkningskategorier og indikatorer

Til belysning af de potentielle miljøpåvirkninger samt ressourceforbrug benyttes følgende kategorier og indikator-enheder til beregningerne. Metoden bag kategorierne er CML 2002 (Guinée m.fl. 2002).

Kategori	GWP , Global Opvarmning
Enhed	CO ₂ -ækvivalenter
Problem	Når mængden af drivhusgasser i atmosfæren øges, opvarmes de jordnære luftlag med klimaændringer til følge.
Kategori	ODP , Ozonlagsnedbrydning
Enhed	R11-ækvivalenter
Problem	Nedbrydning af det stratosfæriske ozonlag som beskytter flora og fauna mod solens skadelige UV-A og UV-B-stråler.
Kategori	POCP , Fotokemisk ozondannelse
Enhed	Ethen-ækvivalenter
Problem	Bidraget i samspil med UV-stråler til at danne jordnær ozon (sommersmog) som bl.a. er skadelig for luftvejene.
Kategori	EP , Næringssaltbelastning
Enhed	PO ₄ -ækvivalenter

Problem	For høje tilførsler af næringsstoffer fremmer uønsket plante-vækst i sarte økosystemer, f.eks. algevækst med fiskedød til følge.
Kategori	AP , Forsuring
Enhed	SO ₂ -ækvivalenter
Problem	Reagerer med vand og falder som "sur regn", der bl.a. medvirker til at nedbryde rodsystemer og udvaske planternes næringsstoffer.
Kategori	ADPe , Udtømning af abiotiske ressourcer - grundstoffer
Enhed	Sb-ækvivalenter
Problem	Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømning af tilgængelige grundstoffer i form af f.eks. metaller eller mineraler.
Kategori	ADPf , Udtømning af abiotiske ressourcer – fossile
Enhed	MJ eller kWh
Problem	Et højt forbrug af abiotiske ressourcer kan bidrage til udtømning af tilgængelig energi i form af fossile brændsler.
Kategori	PEtot , Primærenergiforbrug
Enhed	MJ eller kWh
Problem	Et højt forbrug af ressourcer i primærenergiform (før konvertering) fra fossile og fornybare kilder kan bidrage til ressourceknaphed.
Kategori	Sek , Forbrug af sekundære brændsler
Enhed	MJ eller kWh
Problem	Sekundære brændsler (f.eks. affald) er i princippet en begrænset ressource, og derfor kan et højt forbrug af sekundære brændsler indirekte føre til ressourceknaphed.

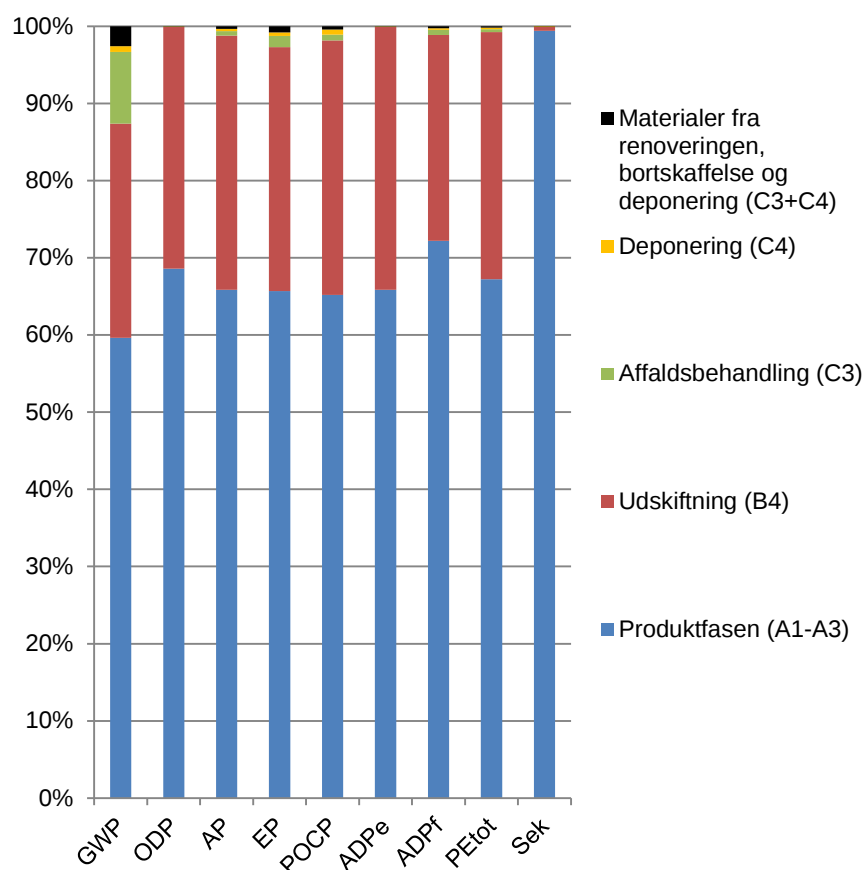
De ovenstående udvalgte kategorier er primært valgt på grund af, at det er dem, der benyttes i den aktuelle database for projektet, Ökobau 2013. De her benyttede kategorier udgør en del af mængden af kategorier i de europæiske standarder for bæredygtighed inden for byggeri og anlæg – CEN/TC 350.

Der findes en lang række af yderligere kategorier, som kan benyttes ved livscyklusvurderinger, og som bidrager til et mere detaljeret og nuanceret billede af eventuelle påvirkninger. Disse yderligere kategorier kan f.eks. være til belysning af toksiske potentialer eller arealinddragelse. Som beskrevet i afsnit 4.5. er det af særlig relevans ved nogle af de analyserede systemer, der inkluderer miljøgifte, eksempelvis PCB, men det har ikke været muligt at inddrage sådanne kategorier i dette projekt på grund af databegrænsninger.

Yderligere detaljer om LCA-metoden og afgrænsninger for dette projekt fremgår af appendiks I. Absolutte resultater for beregningerne kan findes i appendix II.

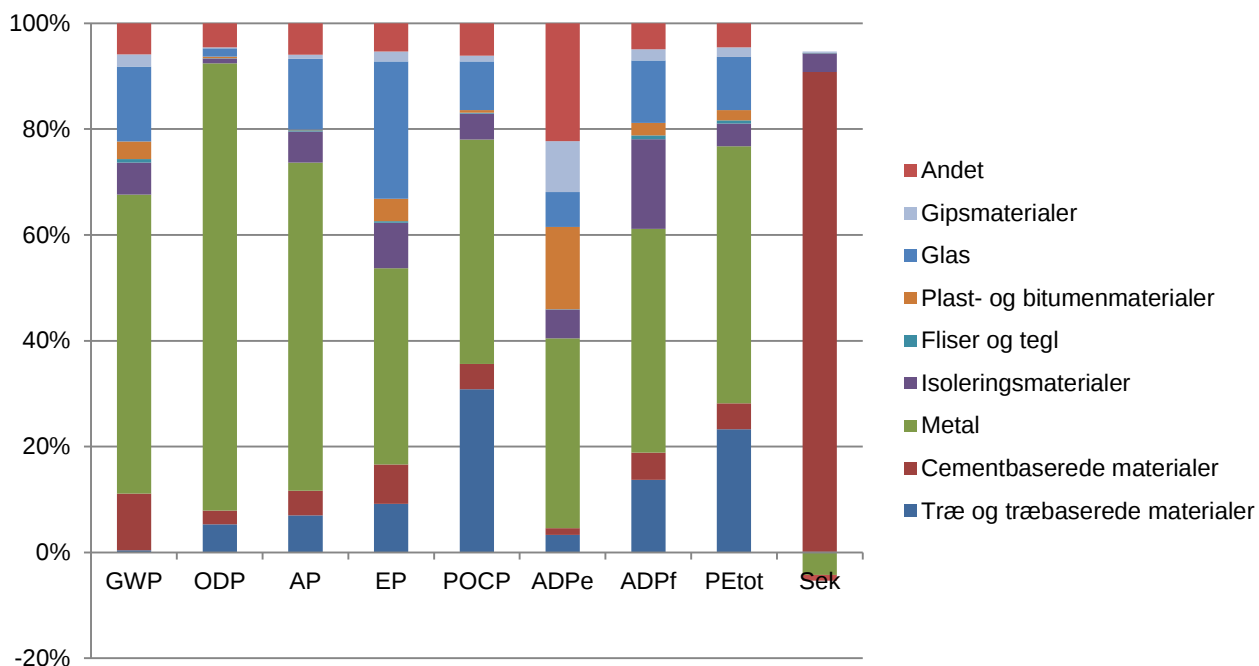
4.2. LCA på renovering af Sorgenfrivang II etageboliger

Figur 14 viser fordelingen af bidrag fra livscyklusprocesser til de forskellige kategorier af miljøpåvirkninger og ressourceforbrug fra Sorgenfrivang II-renoveringen. Her er regnet over en periode på 50 år svarende til bygnings forventede resterende levetid efter renoveringsindgrebet. Af figuren fremgår det, hvordan bortskaffelsen af de afinstallerede materialer i renoveringen står for max 3 % af de samlede potentielle påvirkninger. Produktionen af de nyinstallerede materialer er miljømæssigt set den mest betydende livscyklusfase og fylder 60-65 % af de samlede påvirkninger undtaget kategorien for forbruget af sekundære brændsler, Sek, hvor de nyinstallerede materialer fylder knap 100 %.



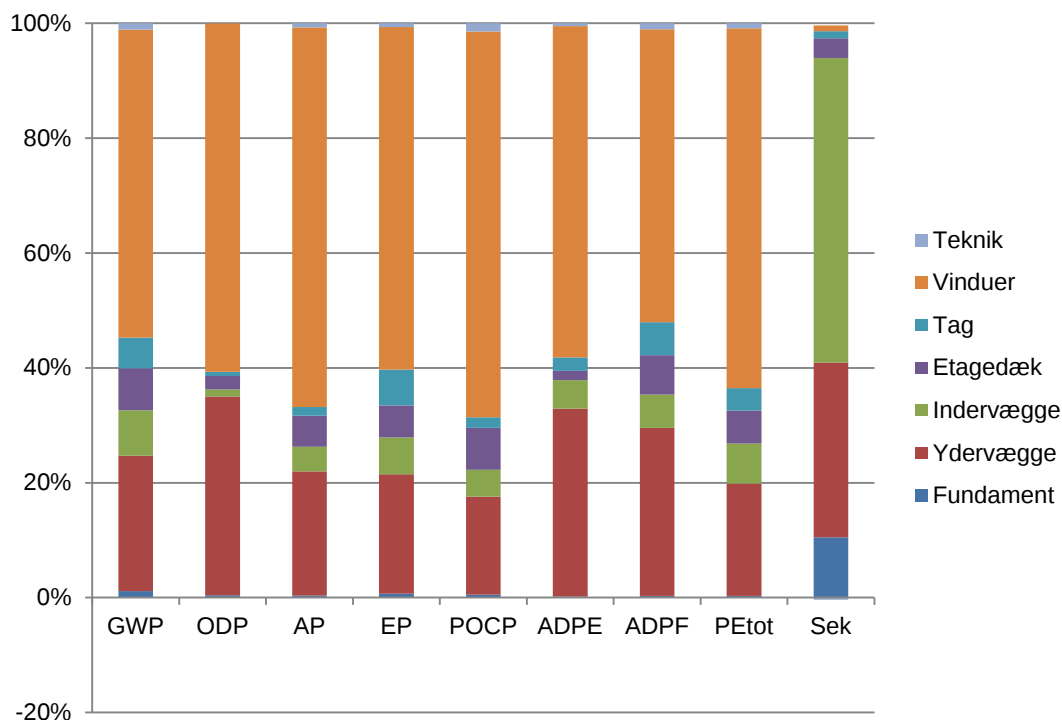
Figur 14. LCA af Sorgenfrivang II renoveringsindgreb. Bidrag til samlede resultater fra de forskellige livscyklusfaser,

Figur 15 viser fordelingen af bidrag fra materialegrupper til de forskellige kategorier af miljøpåvirkninger og ressourceforbrug, igen regnet over en periode på 50 år. Af figuren fremgår det, hvordan forbruget af metaller er den klart dominerende materialegruppe med typisk mellem 40 og 60 % af de samlede påvirkninger tilknyttet. Derudover er glas og træmaterialer betydeligt bidragende materialegrupper i flere kategorier. De cementbaserede materialer bidrager, bortset fra i kategorien Sek, kun med op mod 10 % af de samlede miljøpåvirkninger, hvilket står i skarp kontrast til den mængde af byggevarernes masse, de cementbaserede materialer ellers udgør, jf. figur 11.



Figur 15. LCA-resultater fra Sorgenfrivang II renoveringsindgreb. Bidrag til miljøpåvirkningskategorier fordelt på materialegrupper som her kun dækker de nystillede materialers livscyklus (modulerne A1-A3, B4, C3-C4), og dermed ikke bidragene for de bortskaffede materialer.

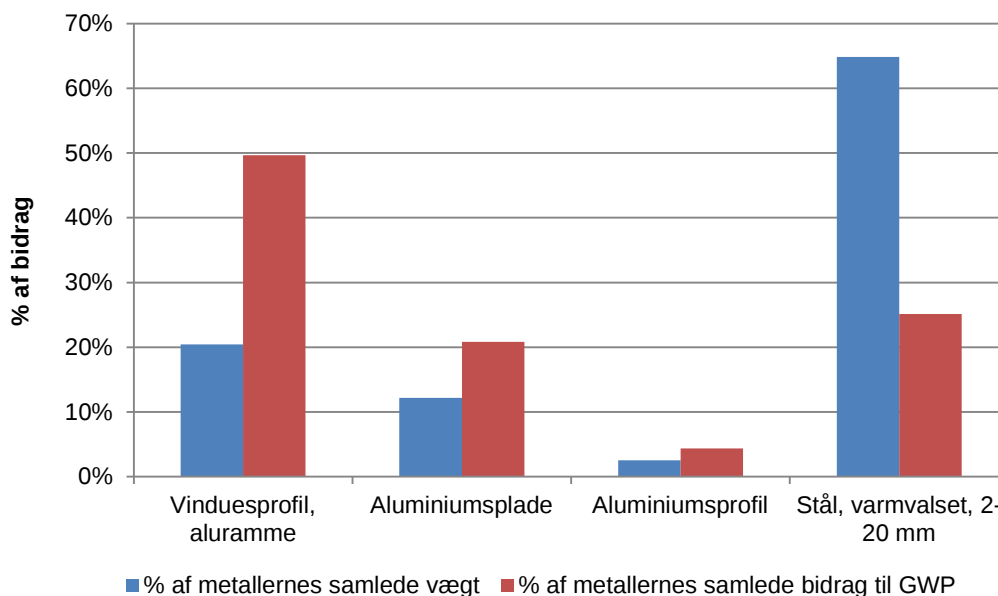
Figur 16 viser fordelingen af bidrag fra bygningsdele til de forskellige kategorier af miljøpåvirkninger og ressourceforbrug regnet over en periode på 50 år. Af figuren fremgår det tydeligt, hvordan det er renoveringen af vinduerne, der står for langt størstedelen af de potentielle miljømæssige påvirkninger i alle kategorier bortset fra forbruget af sekundære brændsler (Sek). Det er samtidig i vinduerne at langt størstedelen af glas- og metalmængderne er lokaliseret, jvf figur 15.



Figur 16. LCA-resultater fra Sorgenfrivang II renoveringsindgreb. Bidrag til miljøpåvirkningskategorier fordelt på bygningsdele som her kun dækker de nystillede materialers livscyklus (modulerne A1-A3, B4, C3-C4), og dermed ikke bidragene for de bortskaffede materialer.

Metallernes indflydelse på LCA-resultaterne

En række yderligere analyser er foretaget for at undersøge metallernes signifikante bidrag til LCA-resultaterne for Sorgenfrivang II's renovering. Af figur 17 ses, med kategorien GWP som eksempel, hvordan alu-rammerne til vinduesprofilerne er ansvarlig for den absolut største del (50 %) af bidragene fra metallerne samlet set. Dette på trods af at vinduesprofilerne svarer til blot 20 % af metallernes samlede masse. Den største mængde af metal, nemlig varmvalset stål kan derimod kun tilskrives 25 % af metallernes samlede bidrag til GWP.

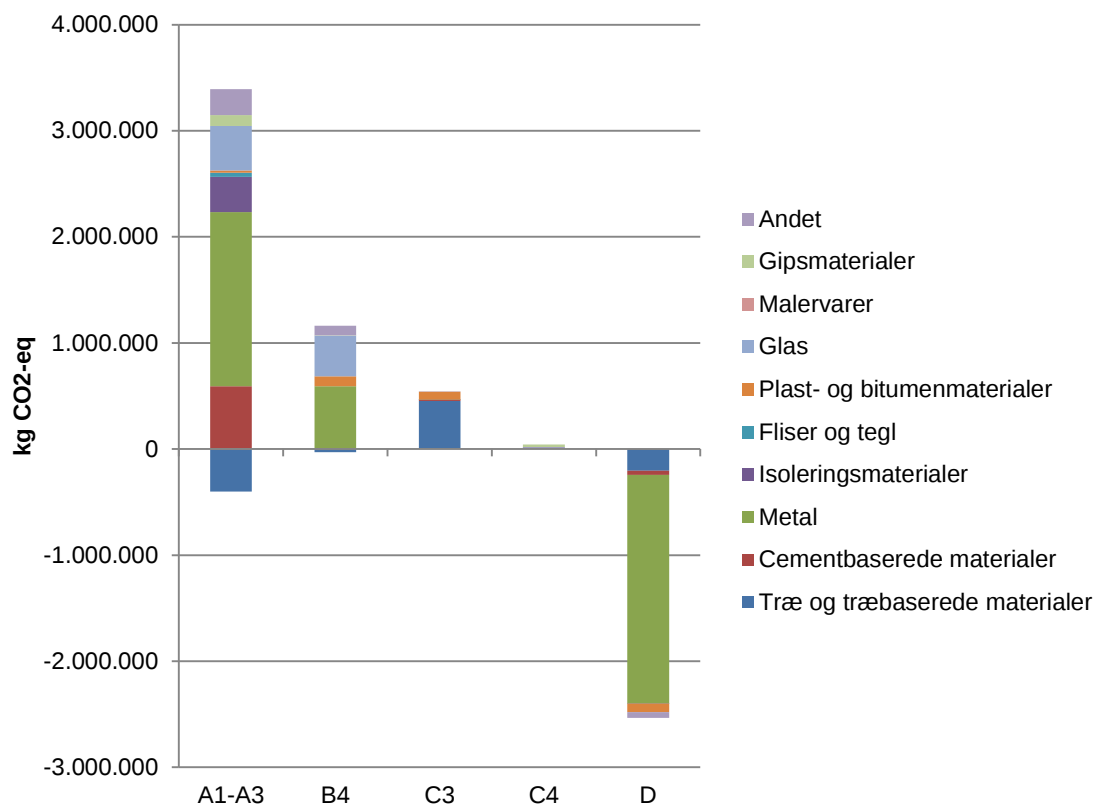


Figur 17. Oversigt over mængdefordeling af de forskellige typer af metal der benyttes i Sorgenfrivang II samt fordelingen af bidrag til metallernes samlede GWP.

Datasættet benyttet til alu-rammerne er forsøgsvis udskiftet med et produkt-specifikt datasæt for alu-rammer fra det omfattende tyske program for miljøvaredeklarerer Bau-Umwelt⁸, der benytter samme systemafgrænsning som databasen benyttet i dette projekt. Udskiftningen til produktspecifikke data genererer samlede LCA-resultater, der gennemsnitligt ligger ca. 15 % lavere end LCA-resultaterne beregnet med det generiske datasæt for alu-rammer. En sådan test af resultaternes validitet og følsomhed bekræfter, at valget af i hvert fald dette ene datasæt har væsentlig indflydelse på resultaterne.

Et yderligere perspektiv på metallernes dominans i LCA-resultaterne for renoveringen knytter sig til systemafgrænsningen for beregningerne. Som beskrevet i afsnit 4.1. er modul D, der omhandler fordele og ulemper ved næste produktsystem ikke umiddelbart inkluderet i beregningerne i henhold til DS/EN 15978. Netop for metallerne er der dog en potentiel væsentlig miljømæssig gevinst forbundet med genanvendelsen, hvis man samtidig antager, at det genanvendte metal erstatter metal produceret af ny-udvundne råstoffer. Figur 18 viser et eksempel med kategorien GWP for materialegruppernes bidrag i de respektive livscyklusfaser. Heraf ses, hvordan der i modul D ligger en væsentlig negativ påvirkning, hvilket vil sige en "miljømæssig besparelse" af GWP, bundet i metallernes næste produktsystemer hvis disse inddrages i analysen.

⁸ EPD-programmet administreres af Institut für Bauen und Umwelt e.V., IBU. Se mere på www.bau-umwelt.de.

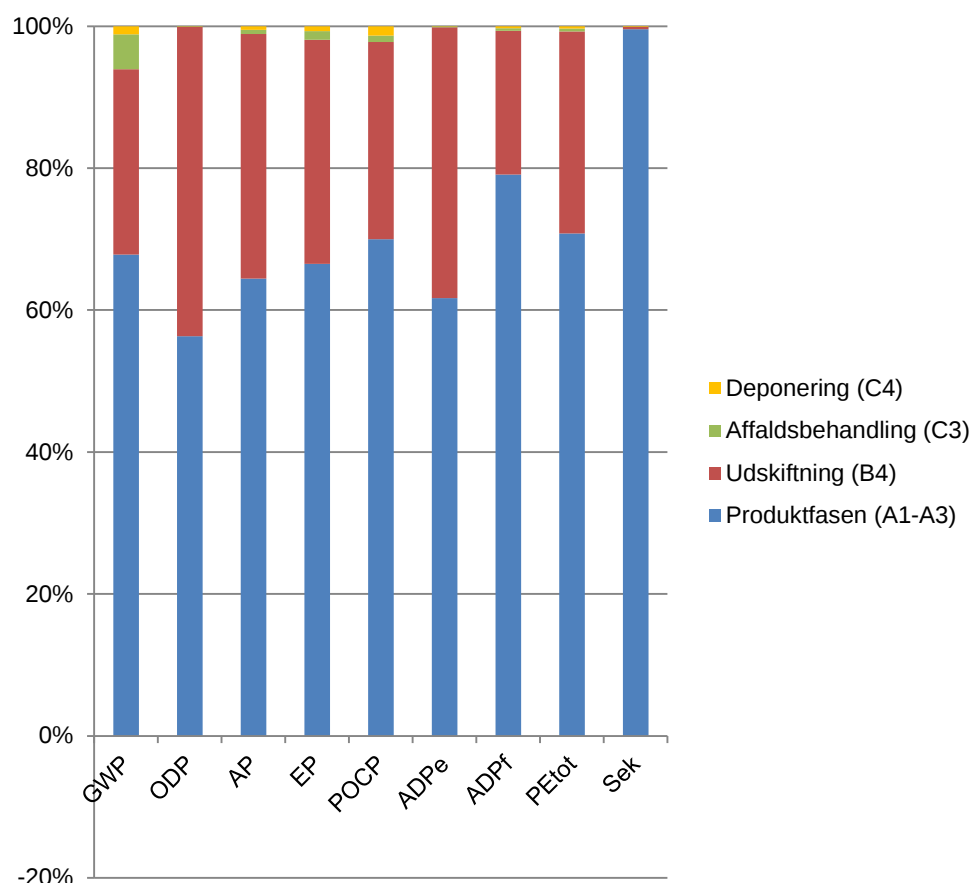


Figur 18. GWP af de forskellige materialegruppers livscyklusfaser for Sorgenfrivang II ved produktfase (A1-A3), udskiftning (B4), affaldsbehandling (C3), deponering (C4) samt fordele/ulemper ved næste produktsystem (D).

Systemafgrænsningen, herunder inkluderingen af modul D, diskuteres stadig blandt interessenter inden for LCA-metoden. Det centrale element for diskussionerne vedrørende metaller handler om, hvordan man undgår at potentielle miljømæssige gevinster modregnes dobbelt, og hvordan man samtidig tager højde for en global produktion af stål og aluminium med et i forvejen betydeligt input af genanvendte materialer.

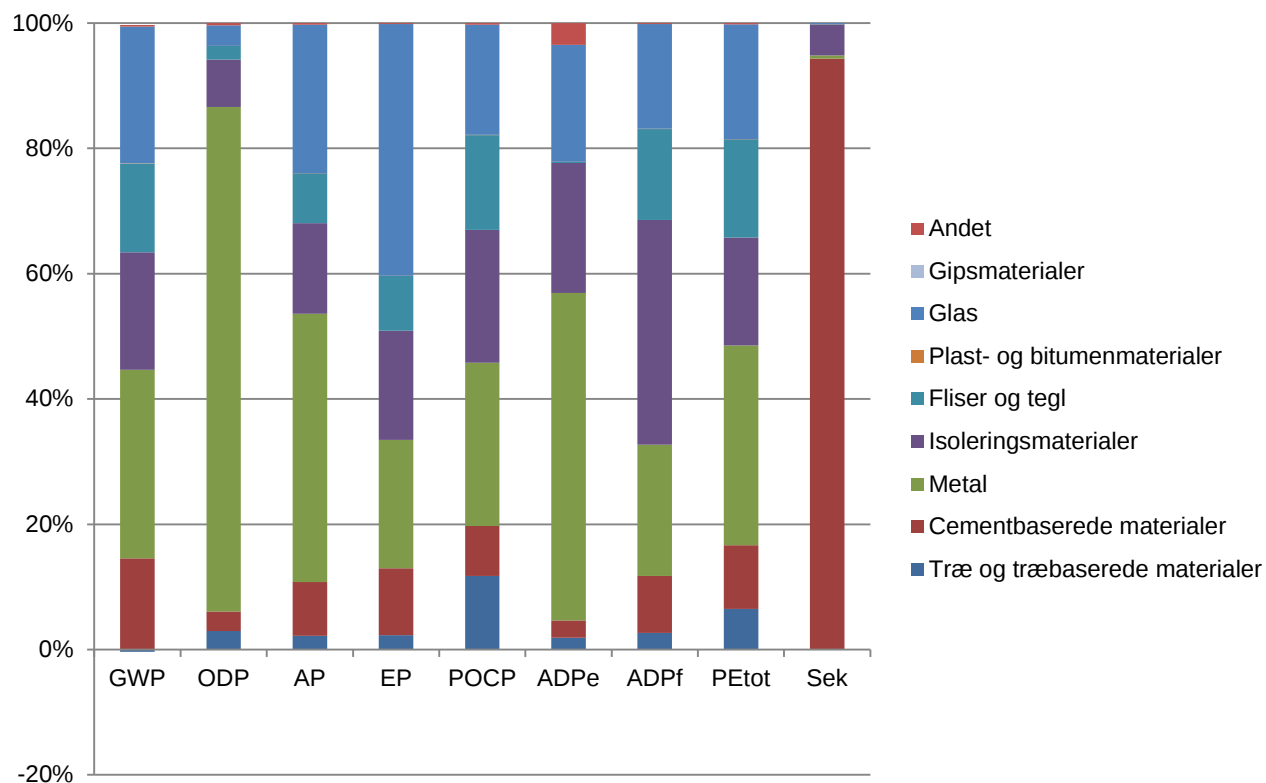
4.3. LCA på renovering af Traneparken etageboliger

Samme tendenser som observeret for Sorgenfrivang II vedrørende livscyklusfaser, materialegrupper og bygningsdele gør sig gældende for Traneparken-renoveringen som vist i figur 19, figur 20 og figur 21. For Traneparken findes ingen opgørelser over afinstallerede materialer og materialestrømme til bortskaffelse i forbindelse med renoveringen. Resten af livscyklusfaserne har omtrent samme relative betydning for de samlede resultater som fundet for Sorgenfrivang II. Nemlig med produktfasen som væsentligste bidragsyder og dernæst udskiftningerne i løbet af bygningens forventede resterende 50-årige levetid. Bortskaffelsen ved endt levetid for de nyinstallerede materialer (C3-C4) fylder op mod 6 % af de samlede miljøpåvirkninger afhængigt af kategori.



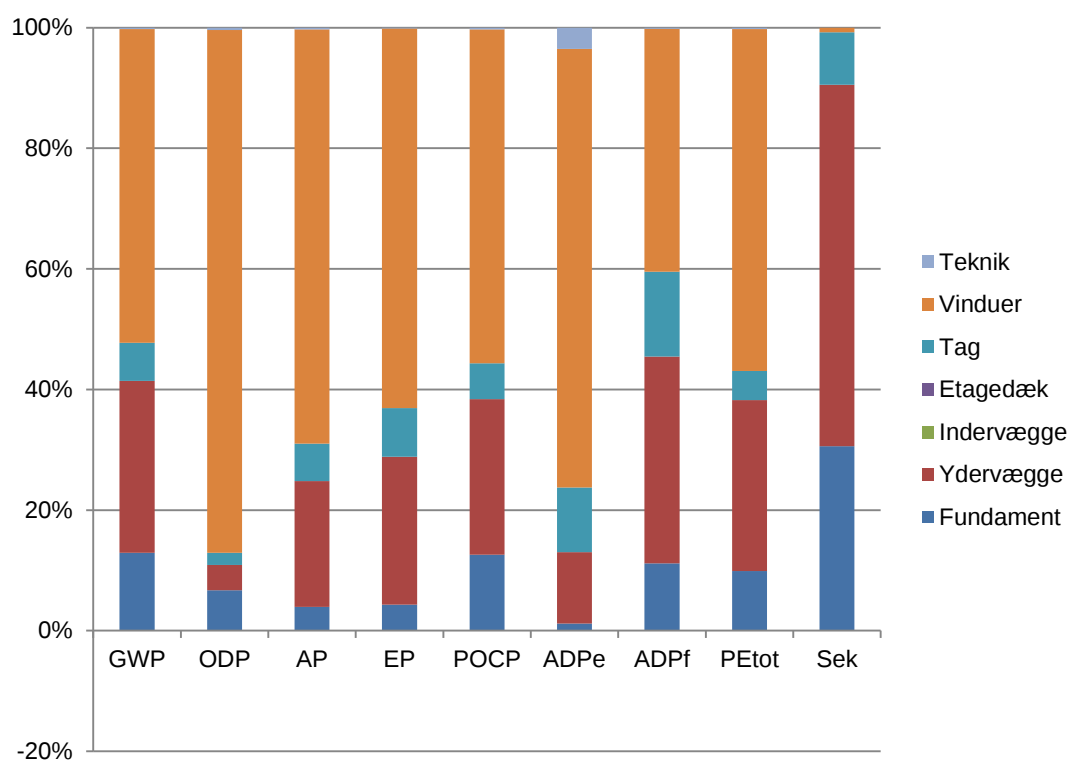
Figur 19. LCA af Traneparkens renoveringsindgreb. Bidrag til samlede resultater fra de forskellige livscyklusfaser.

Ligeledes lader metallerne, herunder særlig forbruget af aluminium, til at udgøre den største del af belastningerne fordelt på materialegrupper (se figur 20). Betragtningerne fremført i afsnit 4.2. angående modul D gør sig dog også gældende for Traneparkens resultater og metallerne store indflydelse herpå. Bortset fra metallerne, viser også glaspartierne sig som en væsentlig bidragsyder i flere kategorier ved Traneparkens resultater. De konkrete renoveringstiltag taget i betragtning giver det derudover mening, at materialegruppen fliser og tegl figurerer som væsentlige bidragsydere, ligesom den gjorde i mængdeopgørelsen i figur 13.



Figur 20. LCA-resultater fra Traneparken renoveringsindgreb. Bidrag til miljøpåvirkningskategorier fordelt på materialegrupper.

Figur 21 viser fordelingen af bidrag fra bygningsdele til de forskellige kategorier af miljøpåvirkninger og ressourceforbrug, regnet over en periode på 50 år. Af figuren fremgår det, ligesom tilfældet er for Sorgenfrivang II, hvordan det er renoveringen af vinduerne, der står for langt størstedelen af de potentielle miljømæssige påvirkninger i alle kategorier bortset fra forbruget af sekundære brændsler (Sek).



Figur 21. LCA-resultater fra Traneparken renoveringsindgreb. Bidrag til miljøpåvirkningskategorier fordelt på bygningsdele.

4.4. Manglende LCA-materialedata for teknik

En forholdsvis stor del af den danske renoveringsaktivitet relaterer sig til byggeriets tekniske installationer, jf. figur 6. Denne kategori dækker over el- og vvs-installationer og inkluderer både teknik på komponentniveau, f.eks. ventilationsaggregater eller pumper, men også på materiale niveau, f.eks. rørføring i stål eller ledninger i kobber.

De tekniske installationer er en udfordring at håndtere i forbindelse med LCA'er. Det skyldes to forhold:

- At mængden af datasæt for tekniske løsninger er begrænset og kun dækker en lille brøkdel af de forskellige typer teknologi der i realiteten kan benyttes
- At de fleste tilgængelige materialeopgørelser for byggeri, det være sig nybyggeri som renoveringsprojekter, fokuserer på de store volumener af materialeinput (f.eks. beton) og dermed ikke inkluderer de samlede mængder af f.eks. installerede kabler eller rør.

I baggrundsmaterialet til casestudiet Vester Voldgade (Rose m.fl. 2015) fremgår eksempelvis en liste over de benyttede energirenoveringstiltag, der opdeles i 11 delelementer. Ud af disse 11 delelementer har kun 2 direkte relation til klimaskærmens forbedring og kan umiddelbart kvantificeres i materialer. Resten af delelementerne vedrører en lang række tekniske løsninger, f.eks. vedrørende LED-belysning, rørføringssystem, ventilationsanlæg og regnvandsopsamling, som ganske vist fylder i budgettet og har betydning for renoveringen som helhed, men som ikke umiddelbart lader sig kvantificere og dermed inkludere i en LCA.

Jævnfør metallernes betydning for en renoverings-LCA som præsenteret tidligere i kapitlet, er der dog grund til at formode, at en del af de løsninger, som er af mere teknisk karakter, kan medføre miljøpåvirkninger af relevans. Det er også konklusionen på et tysk studie foretaget af Passer m.fl. (2012). Heri redegøres for den væsentlige betydning af samtlige tekniske installationer og fordelingsudstyr i et boligbyggeri.

4.5. Vurdering af betydningen af PCB-forekomster i en renoverings-LCA

Til trods for at mindst to af de analyserede renoveringsprojekter frembragte PCB-forurenede affald, har ingen data på hverken mængder, forureningsgrad eller faktisk affaldsbehandling af forurenede byggeaffald været tilgængelige for dette projekt. Endvidere er der ikke tilgængelige LCA-data for specialbehandlingen af PCB-forurenede byggeaffald. I det følgende udføres dermed en kvalitativ vurdering af betydningen af PCB-forureninger for de relevante processer og resultater af en renoverings-LCA.

I LCA-resultaterne frembragt under dette projekt er som tidligere beskrevet kun medtaget faserne C3 og C4. De yderligere involverede processer ved PCB-forekomster i byggeaffaldet skitseres dog her for samtlige faser vedrørende afslutningen af bygningens levetid:

- **C1 Nedrivning:** PCB-forekomster kan bl.a. kræve (øget) afskærmning af arbejdsområder, samt udsugning og filtrering af kontamineret luft fra arbejdsområderne. Dette kan medføre merforbrug af el, maskiner og udstyr til en kontrolleret nedrivning i forhold til nedrivning uden PCB.

- **C2 Transport:** PCB-forekomster medfører øget transport pga. specialbehandlingsanlæg som kun forefindes få steder i landet.
- **C3 Affaldsbehandling:** PCB-forurenede byggeaffald kræver specialbehandling som bl.a. kan indebære ekstra forbehandling, forbrænding ved højere temperaturer samt forbrænding ved mindre energieffektiv teknologi. Dette medfører merforbrug af energi til affaldsbehandlingen sammenlignet med ikke forurenede byggeaffald.
- **C4 Deponering:** PCB-forurenede byggeaffald der skal specialdeponeres kan medføre merforbrug af energi og materialer pga. specialdesignede og kontrollerede deponeringsløsninger.

De faktiske miljømæssige konsekvenser ved processerne beskrevet ovenfor kan i teorien modelleres og beregnes, hvis passende data var tilgængelige. Med LCA-resultaterne præsenteret i de foregående afsnit 4.2 og 4.3 in mente er et forsigtigt gæt på betydningen af PCB-forureninger i en renoverings-LCA, at disse potentielle forureninger af byggeaffaldet ikke vil sætte store spor i den samlede miljøprofil som beregnet i dette projekt. Standardscenariet for behandlingen af de afinstallerede materialer og komponenter fylder kun op mod ca. 3 % af de samlede miljømæssige belastninger for renoveringen (se figur 14). Selvom en del af disse max 3 % skulle omlægges til alternative behandlingsprocesser som skitseret ovenfor, er det lidet sandsynligt, at disse processer vil få signifikant indflydelse på de samlede resultater for renoverings-LCA'en.

Det er vigtigt at fremhæve, at LCA'erne foretaget i dette projekt resulterer i resultater for et udvalg af de miljøpåvirkningskategorier, der angives i den europæiske standard for bæredygtighedsvurderinger af byggeri (CEN/TC 350 standarderne). Selv i den komplette samling af miljøpåvirkningskategorier findes der dog endnu ikke iht. CEN/TC 350-standarderne nogen kategori til evaluering af de potentielle toksiske effekter af de analyserede systemer. Dette vil betyde, at selvom forurenede affald eller problematiske stoffer herfra skulle ende i miljøet, vil dette formentlig ikke påvirke LCA-resultaterne i anseelig grad, da de påvirkningskategorier, som CEN/TC 350-standarderne anvender, ikke inkluderer nogle af de påvirkningskategorier, der anses for mest relevante for bl.a. PCB, som f.eks. human- og økotoxicitet.

Det miljøfremmede stof PCB er klassificeret som både

- persistent (dvs. svært nedbrydeligt)
- bioakkumulerende (dvs. det ophober sig i fødekæden)
- toksisk (dokumenteret kræftfremkaldende og hormonforstyrrende)

Hvis toksikologiske påvirkningskategorier inkluderes i en LCA-modellering af et renoveringsprojekt, som involverer forurenede byggeaffald, vil dette formentlig betyde, at miljøpåvirkningen fra renoveringen vil forøges betragteligt, og at påvirkningsbidraget fra det forurenede affald vil blive større. Modeller og metoder til at inkludere toksikologiske påvirkningskategorier findes allerede, men er i skrivende stund ikke en del af CEN/TC 350 og rapporteres dermed også sjældent i videnskabelige studier.

En PCB-forurenede bygning kan udgøre et væsentligt sundhedsmæssigt og økonomisk problem for hhv. brugere og bygherre. Grundet stoffernes udbredelse i det byggede miljø er der grund til at karakterisere problemet på en samfundsmæssig skala snarere end begrænset til enkelttilfælde, hvor problemets omfang kan variere. Som anslået i denne rapport vil de typisk vurderede miljømæssige omkostninger antageligvis ikke være store set i forhold til renoveringsaktiviteten som helhed. Andre forhold angående sundhed og økonomi, der måtte knytte sig til PCB-forureningerne i boligmassen kan til gengæld ikke belyses via LCA og supplerende vurderinger bør derfor indgå for at opnå et bredere og dermed retvisende billede af væsentligheden af PCB-forureningen i det eksisterende byggeri.

5. Renovering eller nybyg?

I dette kapitel sammenlignes LCA-resultaterne for Sorgenfrivang II's renoveringstiltag med referenceværdier for tilsvarende nybyggeri. Derudover vurderes miljøpåvirkningerne fra renoveringsindgrebet og det efterfølgende lavere energiforbrug i bygningen ud fra konceptet miljømæssig tilbagebetalingstid.

I de tilhørende beregninger har det kun været muligt at medtage påvirkningskategorierne GWP, ODP, POCP, AP, EP og PETot. Dette skyldes, at beregningernes referenceværdier til dels baserer sig på en ældre database med et begrænset antal miljøpåvirkningskategorier.

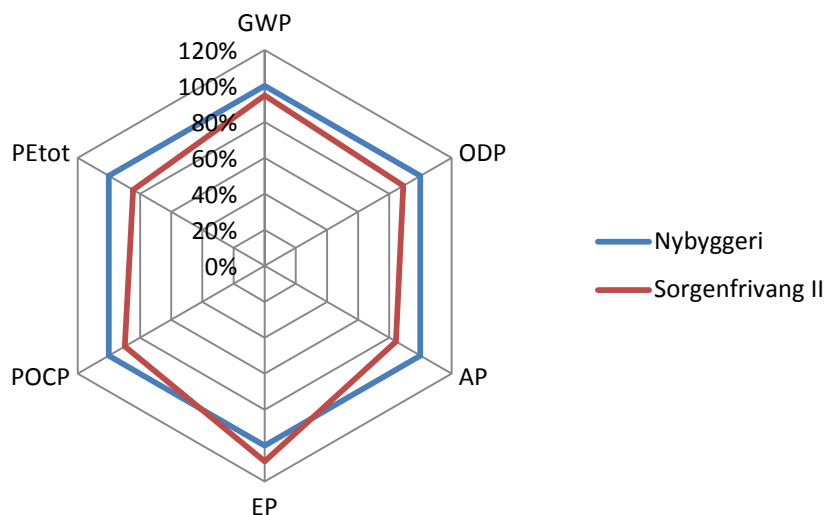
5.1. Sammenligning med nybyggeri

Sorgenfrivang II er fra 1960 og kan karakteriseres som en bygning, der er tidstypisk for opførelsesperioden, og hvis type ikke opføres i samme stil i det nutidige byggeri. Den grundlæggende antagelse for det nybyggeri Sorgenfrivang II sammenlignes med her, er dermed, at det er repræsentativt for den type boligbyggerier, der bygges i dag efter nutidig (eller bedre) standard. Konkret foretages sammenligningen på baggrund af de referenceværdier, der benyttes i det danske DGNB-certificeringssystem for bæredygtigt byggeri. Disse referenceværdier er fastlagt til at afspejle nyopført byggeri i henhold til Bygningsreglement 2010 og dermed energiklasse 2010.

Referenceværdierne findes dels for bygningers materialer, dvs. de indlejrede miljøpåvirkninger, og dels for bygningers drift, dvs. miljøpåvirkninger fra bygningers løbende energiforbrug til el og opvarmning. Bemærk, at ingen af de tidligere LCA-resultater fremlagt i denne rapport inkluderer bygningens driftsfase. I resultaterne sammenstillet i kapitel 4 er der fokuseret på renoveringsindgrebet snarere end den løbende drift. Ved en sammenligning af Sorgenfrivang II med nybyg er det dog relevant at inddrage energiforbruget for at kunne vurdere bygningens samlede performance med både de indlejrede og de driftsrelaterede påvirkninger.

Sammenligning på energiprofilen

I figur 22 ses resultaterne for sammenligningen af Sorgenfrivang II med de gældende referenceværdier for etageboligbyggeri i forbindelse med bæredygtighedscertificering. Af figuren ses, at de potentielle miljøpåvirkninger fra driftsfasen i Sorgenfrivang II faktisk ligger lige under referenceværdierne (med gennemsnitligt 10 %) for samtlige kategorier bortset fra EP. Det betyder at Sorgenfrivang II's energiprofil er på højde med (faktisk en anelse bedre end) det, der regnes som en gennemsnitlig påvirkning fra energiforbruget i referenceværdierne.



Figur 22. Miljøpåvirkninger fra driftsenergien i brugsfasen for det renoverede Sorgenfrivang II sammenlignet med referenceværdier for nybyggeri

Sammenligning på indlejrede miljøpåvirkninger

For sammenligningen af de indlejrede miljøpåvirkninger fra renoveringen mod et nybyggeris miljøpåvirkninger beregnes i det følgende LCA med to forskellige allokeringsprincipper. Det vil sige, inkluderingen af de eksisterende konstruktioners miljøpåvirkninger testes med følgende forskellige metodiske tilgange:

- 1 De eksisterende konstruktioner anses som værende "gratis", miljømæssigt set. Det svarer til, at de beregnede miljøpåvirkninger for den renoverede bygning alene knytter sig til renoveringsindgrebet
- 2 De eksisterende konstruktioners miljøpåvirkninger tæller med i det omfang, som de har forventet tilbageværende levetid (44 år ud af samlet forventet levetid på 100 år). Det svarer til, at de eksisterende konstruktioner tillægges en miljømæssig belastning svarende til 44 % af de samlede miljøpåvirkninger, som de eksisterende konstruktioner beregnes at have over en 100-årig periode. Disse miljøpåvirkninger fra de eksisterende konstruktioner lægges til miljøpåvirkningerne fra renoveringsindgrebet

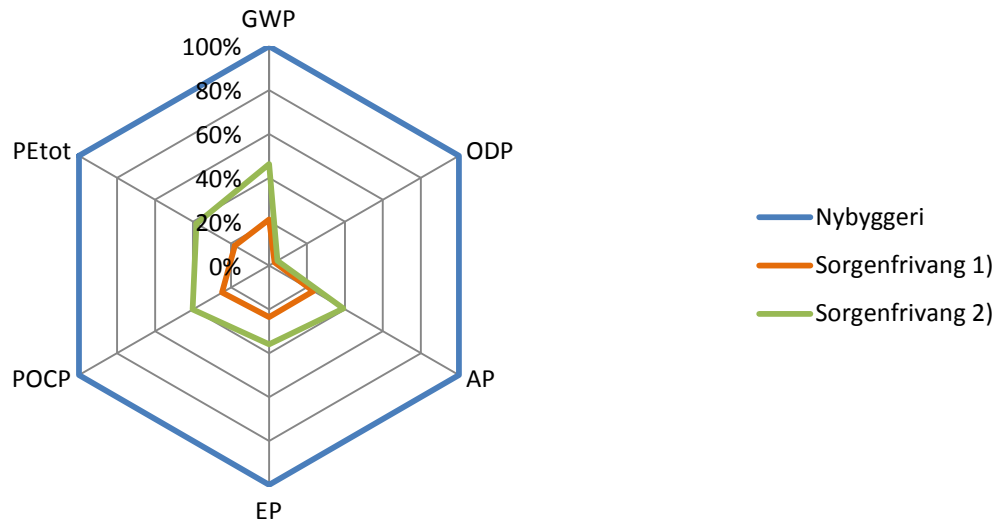
Beregningen af resultater i henhold til allokeringstilgang 2 kræver en række antagelser angående den eksisterende konstruktions beskaffenhed, dels i forhold til typen af benyttet materiale og dels i forhold til mængderne af de forskellige konstruktioner. På baggrund af boligselskabets helhedsplan for renoveringen [DOMINIA & DOMUS, 2011] vurderes det, at de primære eksisterende konstruktioner i Sorgenfrivang II består af

- armeret betonkonstruktion til vægge og dæk
- gulv- og loftsofbygninger i samtlige beboelsesarealer
- lette indervægge internt i lejlighederne

Materialer og mængder anslået til disse konstruktioner samt antagelserne bag fremgår af appendiks III. Bemærk at beregningerne for de eksisterende konstruktioner er foretaget med baggrund i nutidige data for produktionsforhold. Dermed indeholder beregningerne en vis usikkerhed, eftersom materialerne reelt blev produceret for mere end 50 år siden ved brug af datidens teknologier og en heraf følgende anderledes miljøprofil.

For de indlejrede miljøpåvirkninger ved renoveringsindgrebet, se figur 23, er resultaterne for Sorgenfrivang II væsentligt lavere end referenceværdierne for et nybyggeris indlejrede påvirkninger. De beregnede miljømæssige omkostninger ved den gennemgribende renovering svarer således i de fleste kategorier kun til ca. 1/5 af de miljøpåvirkninger, der kan forventes ved ny-

byggede etageboliger hvis miljøpåvirkninger fra de eksisterende konstruktioner regnes som "gratis" (allokeringsprincip 1). Såfremt allokeringsprincip 2 tages i brug, og påvirkninger fra de eksisterende konstruktioner dermed tælles delvist med, er der stadig en væsentlig fordel for det renoverede byggeri, omend den for de fleste miljøpåvirkninger ligger omkring 2/5 af de miljøpåvirkninger, der kan forventes ved nybyggede etageboliger.



Figur 23. Indlejrede miljøpåvirkninger fra materialernes livscyklus i renoveringen af Sorgenfrivang II sammenlignet med referenceværdier for nybyggeri

De benyttede allokeringsprincipper belyser forskellige metodiske tilgange til, hvordan miljøpåvirkninger allokeres over tid. De forskellige beregninger tjener dermed til at vurdere følsomheden af vurderingen af miljøpåvirkningerne fra renoveringsprojektet kontra nybyggeri. I dette tilfælde genererer begge metodiske tilgange resultater til renoveringsprojektets fordel, omend med væsentlige forskelle hinanden imellem.

Bemærk, at referenceværdierne fra det danske DGNB-system bygger på resultater, hvor modul D (se afsnit 4.1.) er inkluderet som en del af beregningerne. Dette skyldes, at systemet med referenceværdierne har baggrund i en databaseversion⁹, der på udviklingstidspunktet ikke var fuldt harmoniseret med CEN/TC 350-standarderne. I henhold til CEN/TC 350 skal de potentielle fordele og belastninger fra næste produktsystem (modul D) rapporteres separat, jvf den afsluttende diskussion i afsnit 4.2.

5.2. Miljømæssig tilbagebetalingstid af renovering

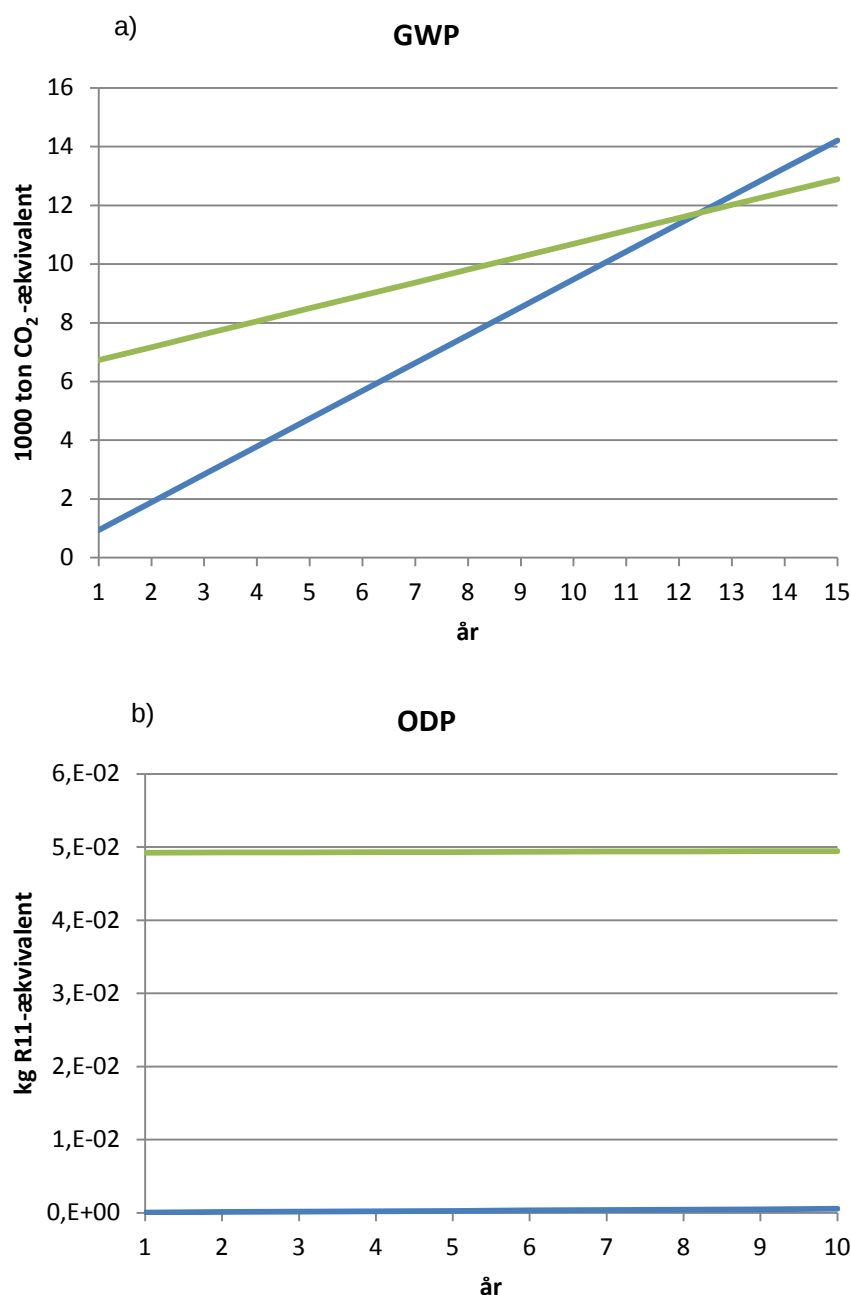
Økonomisk tilbagebetalingstid er en hyppigt benyttet vurderingsmetode benyttet på investeringer, hvor man regner med efterfølgende besparelser i løbende udgifter. Ved en miljømæssig tilbagebetalingstid gør de samme principper sig gældende. I forhold til renoveringer vil det primært handle om besparelser fra el- og varmerelaterede miljøpåvirkninger som følge af en investering i eksempelvis husets isoleringsniveau. Investeringen skal i denne kontekst forstås som de indlejrede miljøpåvirkninger, der knytter sig til de benyttede materialer. Tilbagebetalingstiden angiver da, hvor lang tid der går før investeringen er hentet hjem igen via de opnåede besparelser.

Ved renoveringen af Sorgenfrivang II forventes det årlige energibehov at falde til 52,4 kWh/m²/år til opvarmning og varmt vand samt 6 kWh/m²/år til el¹⁰. Energiforbruget før renoveringen er målt til 112 kWh/m²/år til opvarmning og varmt vand og 5,7 kWh/m²/år til el¹¹.

Figurerne 24a-f repræsenterer de forskellige miljøpåvirkningskategorier. Tilbagebetalingstiden for de enkelte miljøpåvirkningskategorier skal aflæses i skæringspunktet mellem linjerne i hver enkelt graf. Linjerne angiver følgende:

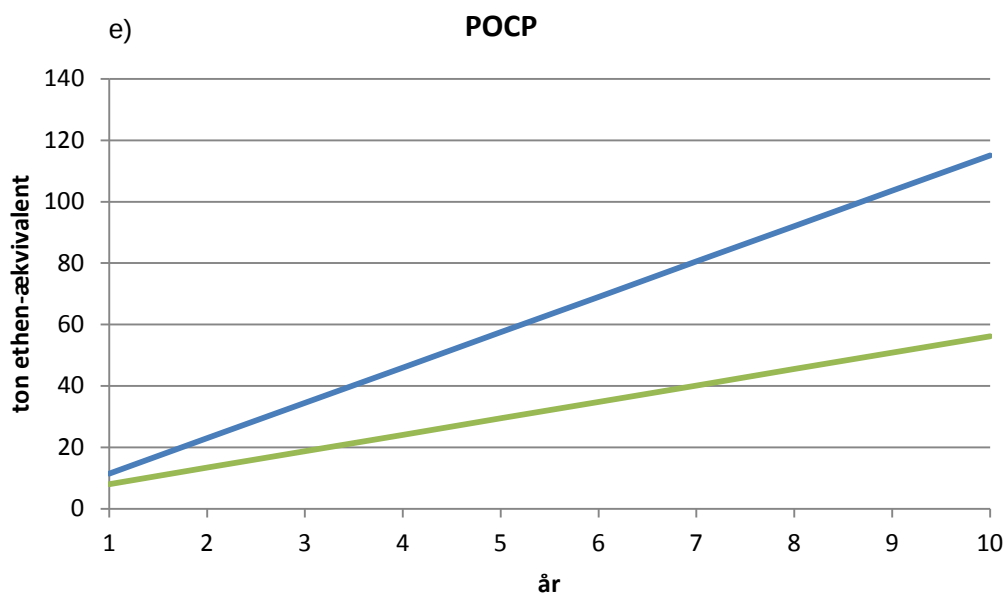
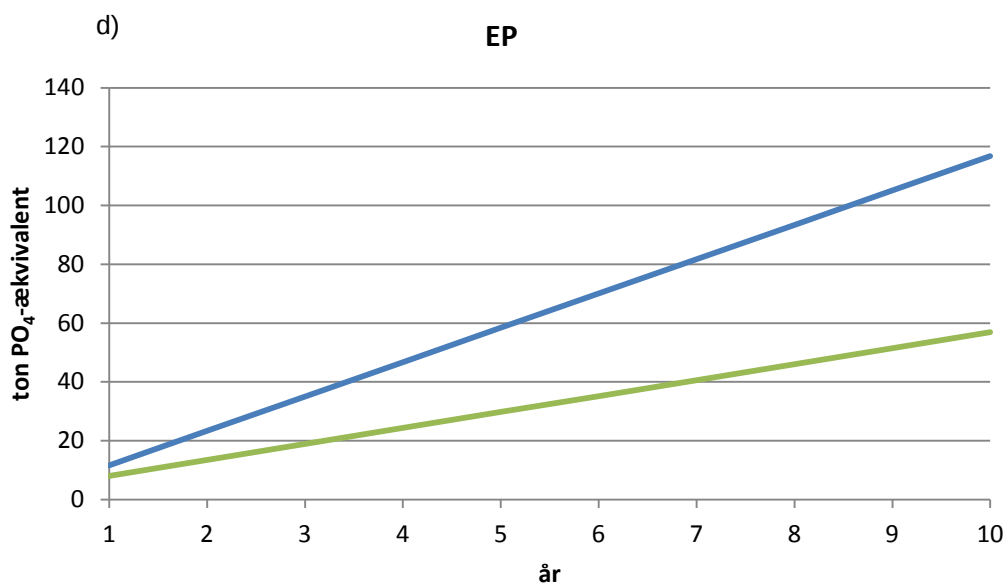
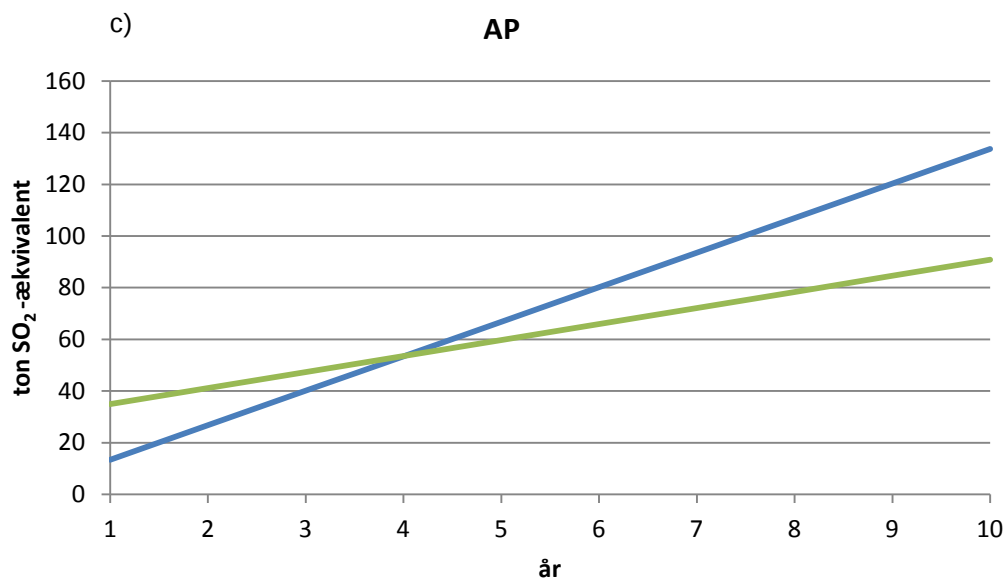
Blå linje: Akkumulerede årlige miljøpåvirkninger fra energiforbrug til Sorgenfrivang II uden renoveringsindgreb

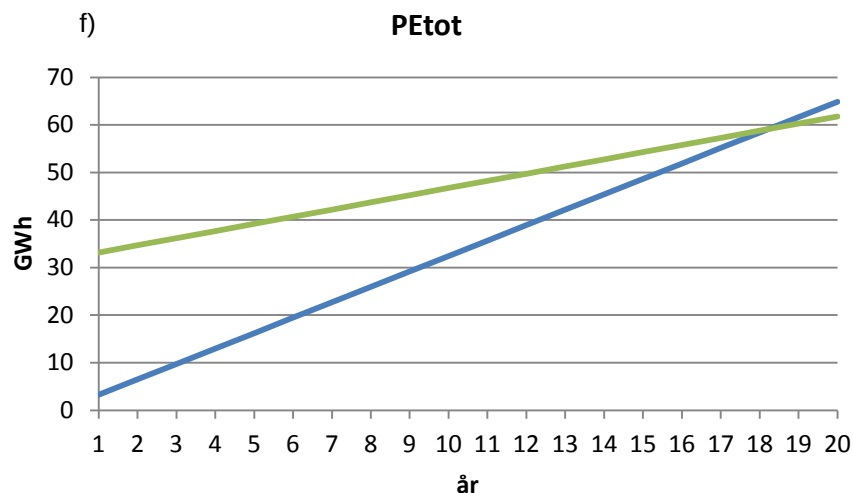
Grøn linje: Indlejrede miljøpåvirkninger fra materialer til renovering + akkumulerede årlige miljøpåvirkninger fra energiforbruget til Sorgenfrivang II efter renoveringsindgreb



¹⁰ Indberettet som led i DGNB-certificering

¹¹ Forbrugstal oplyst af Dominia Rådgivende Ingeniører sept. 2015





Figur 24a-f. Miljømæssig tilbagebetalingstid i antal år efter renoveringen opgjort på de forskellige miljøpåvirkningskategorier potential for global opvarmning (GWP), ozonnedbrydningspotential (ODP), forsuringspotential (AP), potential for næringssaltbelastning (EP), potential for fotokemisk ozondannelse (POCP) samt det totale primærenergiforbrug (PEtot) .

Af figurerne ses tilbagebetalingstider på ca. 13 år for potential for global opvarmning (GWP), ca. 4 år for forsuringspotential (AP) og ca. 18 år for primærenergiforbruget (PEtot). Endvidere ses ved ozonnedbrydningspotential (ODP), at en teoretisk tilbagebetalingstid ligger på flere tusind år. Dette skyldes, at energiproduktion resulterer i emissioner af meget små mængder ozonnedbrydende stoffer, der til gengæld i høj grad forekommer ved produktionen af materialer til en renovering. For den fotokemiske ozondannelse (POCP) og for næringssaltbelastningen (EP) gør det omvendte sig gældende; nemlig at energiproduktionen medfører så væsentlige emissioner af stoffer der bidrager til disse kategorier, at investeringen i form af materialer er indhentet allerede efter det første år forårsaget af besparelserne i energiforbruget.

6. Opsummering

Renoveringsaktiviteter udgør en væsentlig del af Danmarks samlede produktionsværdi for byggesektoren. Hvor miljømæssig bæredygtighed af nybyggeri har opnået et stadigt tiltagende fokus fra branchen, bliver renoveringer ofte mere snævert vurderet på baggrund af de besparelser i brugsenergien, der kan opnås.

Med baggrund i fem casestudier af renoverede kontor- og boligejendomme er karakteren af de materialestrømme, der knytter sig til større renoveringsprojekter, skitseret i dette projekt. På tværs af renoveringsprojekternes omfang af indgreb tegner der sig et umiddelbart ensartet billede af de benyttede materialer. Udover materialer benyttet til isolering og forbedring af klimaskærmens funktion udgør de tekniske komponenter samt installationer en væsentlig del af det renoverede i bygningerne. En generel udfordring for projektet har dog været manglende data om præcise mængder af materialestrømme, både hvad angår strømme ind og ud af renoveringsprojekterne.

Tekniske renoveringer er svært håndterbare i LCA, fordi et udtømmende datagrundlag for både mængder og miljøpåvirkninger mangler. LCA på de resterende renoveringsindgreb er foretaget på to detaljerede casestudier, heraf ét studie med data for både mængder ud og mængder ind i renoveringen. Beregningerne viser, at bortskaffelsen af de afinstallerede materialer i en renovering kun udgør op mod 3 % af de samlede miljømæssige påvirkninger fra renoveringen ved antagelse af en bygningslevetid på yderligere 50 år efter renoveringen. Produktionen af de installerede materialer er til gengæld de dominerende bidragsydere med omkring 65 % bidrag til de samlede miljøpåvirkninger.

En nærmere analyse af de bidragende materialegrupper i de to analyserede projekter viser, at metallerne er den suverænt mest bidragende materialegruppe til miljøpåvirkningerne. Især produktionen af aluminium i plader og profiler kan kædes til omfattende miljømæssige påvirkninger. Dette skyldes systemafgrænsningen i LCA, hvor genvindingspotentialet for metallernes indtræden i efterfølgende systemer ikke regnes med som en integreret del af resultaterne. Ikke desto mindre kan dette genvindingspotentiale for metallerne i høj grad modvirke de miljømæssige belastninger. Resultaterne fra dette studie tjener dermed til at illustrere vigtigheden af konsensus om håndteringen af systemafgrænsningen, dvs. skal genvindingspotentialet (modul D figur 3) inkluderes eller ej? Ifølge de Europæiske standarder (CEN/TC 350) skal bidrag fra denne fase betragtes som udenfor systemgrænsen og rapporteres separat.

LCA-resultaterne for en række indikatorer ved et renoverings-casestudie er i projektet blevet sammenlignet med referenceværdier for nybyggede etageboliger fra det danske certificeringssystem DGNB. Renoveringen viser sig at være lige så god eller en smule bedre (ca. 10 %) med hensyn til påvirkninger fra driftsfasens energiforbrug over en 50-årig periode. Det betyder, at den renoverede bygnings påvirkninger fra energiprofilen er fuldt ud på højde med det, der regnes som en gennemsnitlig referencepåvirkning fra energiforbruget. Ser man udelukkende på de indlejrede påvirkninger fra de benyttede materials livscyklus, svarer selve renoveringen, alt efter benyttet allokeringsmetode, til blot mellem 1/5 og 2/5 af de miljømæssige påvirkninger fra et nybyggeri med samme funktion som det renoverede byggeri. Konklusionen er, at renovering af eksisterende bygninger kan være en meget bæredygtig løsning.

sionen fra sammenligningen med nybyggeri med udgangspunkt i DGNB-fremgangsmåde og referenceværdier er derfor, at renoveringer meget vel kan være miljømæssigt fordelagtige sammenlignet med gennemsnitligt nybyggeri.

Den miljømæssige tilbagebetalingstid, forsået som den tid der går indtil de indlejrede påvirkninger fra renoveringen er modsvaret af de årlige miljømæssige besparelser opnået via reduceret driftsenergi, varierer betydeligt mellem de forskellige påvirkningskategorier. For kategorierne Global Opvarmning (GWP), Forsuring (AP) og Primærenergiforbrug (PE_{tot}) er tilbagebetalingstiden på 4-18 år. For kategorierne Fotokemisk ozondannelse (POCP) og Næringssaltbelastning (EP) er de indlejrede miljøpåvirkninger allerede modregnet via reduktionen i driftsenergien i det første år efter renoveringen. For kategorien Ozonlagsnedbrydning (ODP) er miljøpåvirkningerne ved et yderligere materialeforbrug til en renovering så omfattende, at det først vil have tjent sig hjem efter en teoretisk periode på flere tusind år.

En stor del af nutidens renoverede bygningsmasse er opført i perioden 1950-1977, hvor miljøgifte som PCB fandt udbredt anvendelse i byggeriet. Byggeaffald, der overskrider grænseværdier for indhold af farlige stoffer, skal specialhåndteres og de processer, der knytter sig til disse specialhåndteringer vil forventeligt have miljøpåvirkninger af anden karakter end standardhåndteringen. Det kan dog forventes, at de væsentligste miljømæssige konsekvenser ved en PCB-forurening ligger ud over de normalt vurderede kategorier af miljøpåvirkninger. Således er det forventeligt, at især de toksikologiske LCA-kategorier (som ikke er inkluderet i nærværende projekt) vil være berørt af en PCB-forekomst. Dertil kommer PCB-sanerings omfattede samfundsmæssige og økonomiske konsekvenser, der ikke kan belyses via LCA.

Henvisninger

Aagaard N, Brandt E, Aggerholm S, Haugbølle, K. (2013). Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi; SBI-rapport 2013:30; Statens Byggeforskningsinstitut; Aalborg Universitet; København SV ISBN 978-87-563-1586-9

Birgisdóttir H, Rasmussen F. (2015). Introduktion til LCA på bygninger; Energistyrelsen; København K; ISBN 978-87-93071-95-7

By- og boligministeriet. (1999). Miljørigtig renovering, 4 tidstypiske byggerier, hovedrapport, Byfornyelsen København i samarbejde med Triarc Arkitekter, NIRAS, B. Nygaard Sørensen; By- og Boligministeriet, København

Byggeplads.dk. (n.d.). fotografer: Kullegaard Arkitekter A/S og Peter Jørgensen; hentet fra <http://www.byggeplads.dk/byggeri/foto/sems-have/43643> 18. november 2015

DOMINIA & DOMUS. (2011). Helhedsplan for Lyngby Almennyttige Boligselskab afd. 1706 Sorgenfrivang II

Guinée, J.B.; Gorée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. (2002). Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht

Hougaard, K.; Østergaard, S.; Kofoed, B. (2014). Hvilke renoveringsaktiviteter foretager byggevirksomheder? Teknologisk Institut – Analyse og Erhvervsfremme; Aarhus C

IEA EBC Annex 56. (n.d.). Traneparken Hvalsø Denmark – Project summary; ppt presentation from the Annex 56 project: Cost effective energy and carbon emission optimization in building renovation

IEA SHC task 47. (n.d.). Rockwool International Office Building “Center 2”; ppt presentation from the task 47 project: Renovation of Non-residential Buildings Towards Sustainable Standards

Miljøstyrelsen. (2006). Affaldsforebyggelse ved renovering; Arbejdsrapport nr. 42; Miljøstyrelsen, København

Ott, W.; Bolliger, R.; Ritter, V.; Citherlet, S.; Favre, D.; Perriset, B.; de Almeida, M.; Ferreira, M. (2014). Methodology and assessment of renovation measures by parametric calculations; IEA EBC Annex 56; University de Minho; ISBN 978-989-95961-6-0

Passer, A.; Kreiner, H.; Maydl, P. (2012). Assessment of the environmental performance of buildings: A critical evaluation of the influence of technical equipment on residential buildings; Int J Life Cycle Assessment 17:1116-1130; DOI: 10.1007/s11367-012-0435-6

Rasmussen, F., Birgisdóttir, H.. (2015). Bygningens livscyklus; SBI-rapport 2015:09; Statens Byggeforskningsinstitut; Aalborg Universitet; København SV; ISBN 978-87-563-1663-7

Rose, J.; Ørtoft, L.; Sommer, D.; Holck, J. (2015). Forskelle i beregnet og målt energiforbrug i energirenovierungsprojekter; SBI-rapport 2015:15; Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, København SV; ISBN 978-87-563-1682-8

Wittchen, K.; Kragh, J.; Aggerholm, S. (2014). Potentielle varmebesparelser ved løbende bygningsrenovering frem til 2050; SBI-rapport 2014:01; Statens Byggeforskningsinstitut; Aalborg Universitet; København SV; ISBN 978-87-92739-63-6

Appendiks I: Yderligere om LCA-metoden

Dette appendiks beskriver detaljer angående de foretagne LCA'er til rapporten.

Der er overordnet taget udgangspunkt i den fælleseuropæiske standard DS/EN 15978, "Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg – Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet – Beregningsmetode", som fastlægger fælles retningslinjer for den frivillige opgørelse af miljømæssig bæredygtighed ved en bygning eller konstruktion.

Funktionel ækvivalens

Den funktionelle ækvivalens beskriver den grundlæggende enhed der analyseres i en LCA.

Den funktionelle ækvivalens for beregningerne:

- En større renovering af en etageboligejendom med en efterfølgende forventet brugsperiode på 50 år

Scenarier til beregningerne

Materialelevetider

Den simplificerede danske levetidstabel for byggematerialer, udviklet til LCAByg-programmet¹², er benyttet til at fastlægge de enkelte materials levetider i byggeriet.

Udskiftninger

Hvis levetiden af et materiale eller en komponent er lavere end bygningens forventede levetid regnes med en eller flere hele udskiftninger alt efter materialets specifikke levetid som angivet i den danske levetidstabel for byggematerialer dvs. miljøpåvirkningen fra et ventilationsaggregat med levetid på 30 år tæller med en faktor 2 i den samlede LCA for en renoveret bygning med en forventet levetid på 50 år efter renoveringen.

Bortskaffelse og næste produktsystem

Beregningen af miljøpåvirkninger fra bortskaffelsen sker ud fra aktuelle data selvom processerne antages at foregå flere årtier ude i fremtiden.

Som udgangspunkt følger materialerne de scenarier, der beskrives i tabel 2, men der kan være forekomme afvigelser i de tilfælde hvor det har været nødvendigt at afvige fra generiske data/antagelser. Et mere detaljeret indblik i scenarierne for de enkelte byggevarer gives i appendiks III og IV.

Tabel 2. Scenarier for materialegrupper

<i>Materialegruppe</i>	<i>Bortskaffelsscenario (C3-C4)</i>
Træ og træbaserede materialer	Forbrænding på kraftvarmeværk
Cementbaserede materialer	Nedknusning
Metal	Neddeling og omsmeltnings
Isoleringsmaterialer	Deponering
Fliser og tegl	Nedknusning
Plast- og bitumenmaterialer	Forbrænding på kraftvarmeværk
Glas	Inert deponering
Gipsmaterialer	Deponering

For en række komponenter findes der specifikke datasæt vedrørende C3 og C4. Dette gælder bl.a. for bortskaffelse af ventilationsanlæg.

For visse materialer findes ingen passende C3- eller C4-datasæt i databasen. Dette skyldes at databasen benyttet til beregningerne er af tysk oprindelse, og dermed afspejler en anden praksis for affaldshåndtering end benyttet i Danmark. Eksempelvis findes der ikke noget datasæt for behandling af gipsaffald med henblik på genanvendelse.

Værktøj og databaser

Generiske datasæt for byggevarer og affaldshåndtering stammer fra Ökobau 2013-databasen¹³ og repræsenterer tyske eller gennemsnitseuropæiske produktionsforhold og processer. Der findes endnu ikke et tilsvarende datagrundlag for danskproducerede byggevarer. Teknologien bag de tyske produktionsprocesser er antagelig sammenlignelig med danske forhold, men energiinputtet til fremstillingsprocesserne varierer nationalt og vil dermed give en vis skævhed i de faktiske resultater. Datasæt for brugsenergi til analysen i kapitel 5 er baseret på modellering af Danmarks energiproduktion i 2015. Dette datasæt for energiproduktion er udviklet til software-programmet LCAByg. Alle beregninger til dette projekt er foretaget i Excel 2010.

¹³ <http://www.oekobaudat.de/>. LCA-database for byggematerialer udgivet af det tyske Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

Appendiks II: LCA-resultater – detaljer

Nedenstående tre tabeller viser de totale indlejrede miljøpåvirkninger fra materialeforbruget til renoveringen af Sorgenfrivang II (SF II) på i alt 41.991 m² beregnet over en periode på 50 år. Beregningerne dækker kun de installerede materialer og dermed ikke de afinstallerede.

Faser	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	PEtot	Sek
SF II	kg CO2-Equiv	kg R11-Equiv	kg SO2-Equiv	kg PO4-Equiv	kg Ethene-Equiv	kg Sb-Equiv	kWh	kWh	kWh
A1-A3	3,5E+06	3,4E-02	1,8E+04	1,6E+03	1,6E+03	5,1E+01	1,6E+07	1,9E+07	3,5E+05
B4	1,6E+06	1,5E-02	8,7E+03	7,8E+02	8,1E+02	2,6E+01	6,0E+06	9,1E+06	1,7E+03
C3	5,4E+05	2,8E-05	1,6E+02	3,6E+01	1,8E+01	5,5E-02	1,5E+05	1,1E+05	5,7E+00
C4	4,4E+04	1,1E-05	7,7E+01	1,1E+01	1,7E+01	4,5E-03	4,7E+04	5,3E+04	2,9E+02
D	-2,5E+06	-2,3E-02	-1,3E+04	-6,8E+02	-7,9E+02	-1,6E+00	-7,5E+06	-1,1E+07	1,2E+04

Bygningsdele	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	PEtot	Sek
SF II	kg CO2-Equiv	kg R11-Equiv	kg SO2-Equiv	kg PO4-Equiv	kg Ethene-Equiv	kg Sb-Equiv	kWh	kWh	kWh
Fundament	6,1E+04	1,9E-04	9,5E+01	1,6E+01	1,2E+01	1,1E-01	6,9E+04	8,6E+04	3,8E+04
Ydervægge	1,2E+06	1,7E-02	5,4E+03	4,8E+02	3,9E+02	2,0E+01	6,2E+06	5,3E+06	1,1E+05
Indervægge	4,2E+05	5,9E-04	1,1E+03	1,5E+02	1,1E+02	2,9E+00	1,2E+06	1,9E+06	1,9E+05
Etagedæk	3,9E+05	1,1E-03	1,3E+03	1,3E+02	1,7E+02	9,8E-01	1,4E+06	1,5E+06	1,3E+04
Tag	2,8E+05	3,4E-04	3,6E+02	1,5E+02	4,2E+01	1,4E+00	1,2E+06	1,1E+06	4,5E+03
Vinduer	2,8E+06	2,9E-02	1,6E+04	1,4E+03	1,5E+03	3,5E+01	1,1E+07	1,7E+07	3,7E+03
Teknik	6,0E+04	-2,4E-05	1,8E+02	1,6E+01	3,3E+01	3,2E-01	2,3E+05	2,5E+05	-1,4E+03

Materialer	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	PEtot	Sek
SF II	kg CO2-Equiv	kg R11-Equiv	kg SO2-Equiv	kg PO4-Equiv	kg Ethene-Equiv	kg Sb-Equiv	kWh	kWh	kWh
Træ og træbaserede materialer	2,2E+04	2,6E-03	1,9E+03	2,3E+02	7,6E+02	2,5E+00	3,1E+06	6,6E+06	3,6E+02
Cementbaserede materialer	6,1E+05	1,3E-03	1,2E+03	1,8E+02	1,2E+02	1,0E+00	1,2E+06	1,4E+06	3,6E+05
Metal	3,2E+06	4,1E-02	1,6E+04	9,1E+02	1,0E+03	2,7E+01	9,5E+06	1,4E+07	-1,7E+04
Isoleringsmaterialer	3,4E+05	4,4E-04	1,6E+03	2,1E+02	1,2E+02	4,2E+00	3,8E+06	1,2E+06	1,4E+04
Fliser og tegl	3,9E+04	3,4E-05	6,4E+01	6,7E+00	4,4E+00	3,4E-03	1,7E+05	1,8E+05	1,9E+01
Plast- og bitumenmaterialer	1,9E+05	1,6E-04	3,9E+01	1,0E+02	1,1E+01	1,2E+01	5,2E+05	5,4E+05	6,6E+01
Glas	8,1E+05	7,5E-04	3,5E+03	6,4E+02	2,3E+02	5,1E+00	2,7E+06	2,9E+06	5,3E+02
Gipsmaterialer	1,3E+05	1,0E-04	2,0E+02	4,6E+01	2,8E+01	7,4E+00	4,7E+05	5,3E+05	1,0E+03
Andet	3,3E+05	2,2E-03	1,6E+03	1,3E+02	1,5E+02	1,7E+01	1,1E+06	1,3E+06	-4,3E+03

Nedenstående tre tabeller viser de totale indlejrede miljøpåvirkninger fra materialeforbruget til renoveringen af Traneparken (TP) på i alt 5.293 m² beregnet over en periode på 50 år. Beregningerne dækker kun de installerede materialer og ikke de afinstallerede.

Faser	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	PEtot	Sek
TP	kg CO2-Equiv	kg R11-Equiv	kg SO2-Equiv	kg PO4-Equiv	kg Ethene-Equiv	kg Sb-Equiv	kWh	kWh	kWh
A1-A3	2,8E+05	1,1E-03	1,0E+03	1,2E+02	9,8E+01	1,9E+00	1,4E+06	1,2E+06	3,4E+04
B4	1,1E+05	8,5E-04	5,6E+02	5,6E+01	3,9E+01	1,2E+00	3,6E+05	5,0E+05	1,1E+02
C3	2,0E+04	1,3E-06	9,3E+00	2,2E+00	1,3E+00	4,6E-03	6,4E+03	7,0E+03	-1,7E-01
C4	4,8E+03	1,2E-06	8,4E+00	1,2E+00	1,9E+00	4,9E-04	5,1E+03	5,7E+03	3,1E+01
D	-9,6E+04	-1,0E-03	-5,0E+02	-2,6E+01	-2,4E+01	-9,3E-02	-2,8E+05	-4,2E+05	-7,0E+01

Bygningsdele	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	PEtot	Sek
TP	kg CO2-Equiv	kg R11-Equiv	kg SO2-Equiv	kg PO4-Equiv	kg Ethene-Equiv	kg Sb-Equiv	kWh	kWh	kWh
Fundament	5,4E+04	1,3E-04	6,4E+01	7,7E+00	1,8E+01	3,7E-02	2,0E+05	1,7E+05	1,0E+04
Ydervægge	1,2E+05	8,2E-05	3,4E+02	4,4E+01	3,6E+01	3,7E-01	6,1E+05	5,0E+05	2,0E+04
Indervægge	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Etagedæk	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tag	2,6E+04	3,9E-05	1,0E+02	1,4E+01	8,4E+00	3,3E-01	2,5E+05	8,5E+04	3,0E+03
Vinduer	2,2E+05	1,7E-03	1,1E+03	1,1E+02	7,8E+01	2,3E+00	7,2E+05	9,9E+05	2,4E+02
Teknik	9,8E+02	7,2E-06	4,4E+00	2,7E-01	3,6E-01	1,1E-01	3,2E+03	4,1E+03	-1,4E+01

Materialer	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	PEtot	Sek
TP	kg CO2-Equiv	kg R11-Equiv	kg SO2-Equiv	kg PO4-Equiv	kg Ethene-Equiv	kg Sb-Equiv	kWh	kWh	kWh
Træ og træ-baserede materialer	-1,4E+03	5,7E-05	3,6E+01	4,1E+00	1,7E+01	5,9E-02	4,7E+04	1,1E+05	7,4E+00
Cementbase-rede materialer	6,1E+04	6,1E-05	1,4E+02	1,9E+01	1,1E+01	8,6E-02	1,6E+05	1,8E+05	3,2E+04
Metal	1,3E+05	1,6E-03	7,0E+02	3,7E+01	3,7E+01	1,6E+00	3,7E+05	5,6E+05	1,7E+02
Isoleringsmaterialer	7,8E+04	1,5E-04	2,4E+02	3,1E+01	3,0E+01	6,5E-01	6,4E+05	3,0E+05	1,7E+03
Fliser og tegl	5,9E+04	4,3E-05	1,3E+02	1,6E+01	2,1E+01	6,1E-03	2,6E+05	2,7E+05	2,7E+01
Plast- og bitumenmaterialer	4,0E+01	3,1E-08	1,2E-01	1,2E-02	8,9E-02	5,9E-06	5,7E+02	5,8E+02	5,6E-02
Glas	9,2E+04	6,3E-05	3,9E+02	7,2E+01	2,5E+01	5,8E-01	3,0E+05	3,2E+05	5,9E+01
Gipsmaterialer	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Andet	9,8E+02	7,2E-06	4,4E+00	2,7E-01	3,6E-01	1,1E-01	3,2E+03	4,1E+03	-1,4E+01

Appendiks III: LCI liste

Appendiks III
Opgørelsesliste over byggeriets mængder

SORGENFRIVANG II						
	Materiale	Mængde [kg]	Service life [år]	Benyttet datasæt	Database	EoL flow*
Fundamenter						
betonudstøbning	Beton C30/37	616.800	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_30_37_-_InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
Etagedæk						
isolering	Mineraluld, alm.	18.323	50	2.1.01 Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
mørtel	Mørtel	9.696	50	1.4.05_Modifizierte_mineralische_Moertel_der_Gruppe_2_-_DBC_IVK_Vdl	Ökobau.dat 2014	2
slidlag	Beton C20/25	248.640	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_20_25_-_InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
armering	Stål, armering	3.885	50	4.1.02 Bewehrungsstahl (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	8
cementspånplade	Beton C20/25	80.352	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_20_25_-_InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
gulvspånplade	Spånplade	22.490	50	3.2.06 Spanplatte (Durchschnitt) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	13
elevatorgrube**A81	Beton C30/37	912.000	N/A	N/A	N/A	2
Ydervægge						
letklinkerblokke	Porebeton 472 kg/m3	47.200	50	1.3.03 Porenbeton P4 05 unbewehrt (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
Gipskartonplader	Gipskartonplade 13 mm, hulplade	303.858	50	1.3.13 Gipskartonplatte (Lochplatte) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
mineraluld	Mineraluld, alm.	170.439	50	2.1.01 Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
trækonstruktion	Træ, konstruktion	36.469	50	3.1.02 Konstruktionsvollholz (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	13
fiberbetonbrystninger	Beton C20/25	194.160	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_20_25_-_InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
fiberbetongavlplader	Beton C20/25	63.360	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_20_25_-_InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
fiberbetonsøjler og -bjælker	Beton C20/25	545.040	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_20_25_-_InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
facade, dampspærre	Dampspærre PE	839	50	6.6.02 Dampfbremse PE (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	9
OSB-plade	Spånplade	30.504	50	3.2.06 Spanplatte (Durchschnitt) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	13
vinduesplade, natursten	Naturstenplade, hård, facade	186.654	50	1.3.08 Natursteinplatte, hart, Fassade (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	2
vindspærre, fibercement	Beton C25/30	145.632	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_25_30_-_InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
vindueslysninger i fibercement	Beton C25/30	111.576	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_25_30_-_InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
fibercementplade i altanloft	Beton C25/30	48.384	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_25_30_-_InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
aluminiumsfyldning	Aluminiumsplade	15.957	50	4.3.01 Aluminiumblech (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	4
cementspånplade	Beton C25/30	7.632	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_25_30_-_InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
konstruktionstræ	Træ, konstruktion	4.534	50	3.1.02 Konstruktionsvollholz (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	13
Gipskartonplader	Gipskartonplade 13 mm, hulplade	34.850	N/A	N/A	N/A	1
mineraluld	Mineraluld, alm.	10.763	N/A	N/A	N/A	1

Appendiks III
Opgørelsesliste over byggeriets mængder

trækonstruktion	Træ, konstruktion	8.660	N/A	N/A	N/A	13
facade, dampspærre	Dampspærre PE	536	N/A	N/A	N/A	9
stålbrystninger	Stål, varmvalset, 2-20 mm	95.940	N/A	N/A	N/A	12
konstruktionstræ	Træ, konstruktion	18.113	N/A	N/A	N/A	13
krydsfinér	Krydsfinerplade	1.558	N/A	N/A	N/A	14
konstruktionstræ	Træ, konstruktion	2.513	N/A	N/A	N/A	13
gavle	Beton C20/25	91.200	N/A	N/A	N/A	2
Indervægge						
elevatorskakt og opgang, gipsplade	Gipskartonplade 13 mm, hulplade	7.097,50	50	1.3.13 Gipskartonplatte (Lochplatte) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
forskalling, stål	Stål, varmvalset, 2-20 mm	943,80	50	4.1.04 Stahl warmgewalzte Bleche (2-20mm) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	12
dampspærre	Dampspærre PE	168,26	50	6.6.02 Dampfbremse PE (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	9
betonvægge	Beton C30/37	1.241.280,00	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_30_37_ - _InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
komplettering, MDF	Spånplade	36.276,25	50	3.2.06 Spanplatte (Durchschnitt) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	13
lægter, døre mm	Træ, konstruktion	26.211,95	50	3.1.02 Konstruktionsvollholz (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	13
glaspartier	Termorude 2x4 mm, Argonfyldt	5.600,00	50	7.2.01 Isolierglas 2-Scheiben (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	3
gipsplade	Gipskartonplade 13 mm, hulplade	11.534,50	50	1.3.13 Gipskartonplatte (Lochplatte) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
stålplade	Stål, varmvalset, 2-20 mm	546,00	50	4.1.04 Stahl warmgewalzte Bleche (2-20mm) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	12
EPS	XPS isolering	15,36	50	2.3.01 XPS-Dämmstoff (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	9
karme, træ	Vinduesprofil, karm, træ, hvidmalet	2.070,00	50	7.1.01 Holz-Blendrahmen (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	13
overflader, fliser	Keramikfliser, u-glaseret	107.120,00	50	1.3.07 Steinzeugfliesen unglasiert (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	2
fliseklæber	Fliseklæber	33.900,00	50	1.4.05 Fliesenkleber (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	2
spejl	Glas 3 mm	1.425,00	50	7.2.01 Fensterglas einfach (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	3
mørtel	Mørtel	208.320,00	50	1.4.05_Modifizierte_mineralische_Moertel_der_Gruppe_2_-DBC_IVK_Vdl	Ökobau.dat 2014	2
elevatorvægge	Beton C20/25	870.720,00	N/A	N/A	N/A	2
Tag						
komplettering, konstruktionstræ	Træ, konstruktion	33.808	50	3.1.02 Konstruktionsvollholz (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	13
vindspærre, fibercement (anslået)	Beton C25/30	28.224	40	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_25_30_ - _InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
alu stige + ramme	Aluminiumsprofil	69	40	4.3.02 Aluminium Profil (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	4
glasparti	Termorude 2x4 mm, Argonfyldt	480	20	7.2.01 Isolierglas 2-Scheiben (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	3
tagdækning i zink	Stål, varmvalset, 2-20 mm	3.900	40	4.1.04 Stahl warmgewalzte Bleche (2-20mm) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	12
Ydervægge, komplettering						
alu inddækninger og rammer/karme	Vinduesprofil, ramme, alu. pulverlak.	66.200	30	7.1.05 Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	4
glaspartier	Termorude 2x4 mm, Argonfyldt	198.220	30	7.2.01 Isolierglas 2-Scheiben (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	3
trækarme	Vinduesprofil, karm, træ, hvidmalet	50.800	30	7.1.01 Holz-Blendrahmen (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	14
altaner, fiberbeton	Beton C20/25	607.920	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_20_25_ - _InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
altaner, komplettering, alu-værn	Aluminiumsprofil	7.130	50	4.3.02 Aluminium Profil (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	4
hærdet glas	Glas 3 mm	22.620	50	7.2.01 Fensterglas einfach (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	3
alu-facadeplade	Aluminiumsplade	23.463	50	4.3.01 Aluminiumblech (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	4
udv overflader, mineraluld	Mineraluld, facadesystem	42	50	2.1.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
mørtel	Mørtel	576	50	1.4.05_Modifizierte_mineralische_Moertel_der_Gruppe_2_-DBC_IVK_Vdl	Ökobau.dat 2014	2

Appendiks III
Opgørelsesliste over byggeriets mængder

altaner, fiberbeton	Beton C20/25	308.400	N/A	N/A	N/A	2
glaspartier	Termorude 2x4 mm, Argonfyldt	124.800	N/A	N/A	N/A	3
trækarme	Vinduesprofil, karm, træ, hvidmalet	40.660	N/A	N/A	N/A	14
trækarme	Vinduesprofil, karm, træ, hvidmalet	4.580	N/A	N/A	N/A	14
Lofter, komplettering						
lofter, træbeton	Træuldsplader, mineralbundne	9.280,80	30	2.7.01 Holzwolle-Leichtbauplatte (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
forskalling, træ	Træ, konstruktion	1.909,69	50	3.1.02 Konstruktionsvollholz (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	13
mineraluld	Mineraluld, skråtag	1.718,70	50	2.1.01 Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
gipsplade	Gipskartonplade 13 mm, hulplade	12.503,50	30	1.3.13 Gipskartonplatte (Lochplatte) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
stål	Stål, varmvalset, 2-20 mm	106.080,00	50	4.1.04 Stahl warmgewalzte Bleche (2-20mm) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	12
alu-paneler	Aluminiumsprofil	1.053,00	30	4.3.02 Aluminium Profil (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	4
Teknik						
pumpe, radiator	Cirkulationspumpe 250-1000 W	25	30	8.1.03 Umwälzpumpe 250-1000W (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	5
pumpe brugsvand	Cirkulationspumpe 50-250 W	5	30	8.1.03 Umwälzpumpe 50-250W (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	6
radiator (anslået)	Radiator, stålplade	13.100	50	8.1.02 Heizkörper (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	10
ventilationsaggr.	Ventilationsaggregat 30.000 m3/h	839	30	8.2.01 Lüfter zentral 30000 m3/h (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	15
Trapper/ramper						
elevator	Elevator pr. stol	19.236	30	8.5.01 Fahrstuhl - Grundkomponenten (stockwerkunabhängig) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	7

* (se EoL flow-detajler på sidste side i appendiks III)

** med rødt markerede felter angiver mængder ud af renoveringen

Appendiks III
Opgørelsesliste over byggeriets mængder

SORGENFRIVANG II (Eksisterende konstruktion)						
	Materiale	Mængde [kg]	Service life [år]	Benyttet datasæt	Database	EoL flow*
Dæk og vægge i beton						
beton	Beton C20/25	34.096.692	100	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_20_25_·_InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
armering	Stål, armering	500.953	100	4.1.02 Bewehrungsstahl (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	8
Antagelser ang konstruktionen: der er antaget forbrug af 812 kg beton pr m2 etageareal og 12 kg armering pr m2 etageareal. Disse mængder tilsvare forbuget af beton pr m2 etageareal i tilsvarende konstruktion anført i kontorhus-eksempel i LCByg-værktøjet						
Dæk, komplettering						
strøer	Træ, konstruktion	166.438	30	3.1.02 Konstruktionsvollholz (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	13
parket-laminat	Parket, flerlags 10-12 mm	184.241	30	3.3.02 Mehrschichtparkett (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	14
fliser i vådrum	Keramikfliser, glaseret	151.172	30	1.3.07 Steinzeugfliesen glasiert (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
fliseklæber	Fliseklæber	20.786	30	1.3.07 Steinzeugfliesen glasiert (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
Antagelser ang konstruktionen: der er antaget træparketbelægning på strøer på 3/4 af beboelsesarealerne og keramikfliser med klæber på 1/4 af beboelsesarealerne. Beboelsesarealerne er antaget som samlet angivne etageareal for Sorgenfrivang II fratrukket det antal etagekvadratmeter der er inkluderet i opgørelsen af renoveringstiltagene. I alt antages beboelsesareal med gulvopbygning til 37793 m2						
Loft, komplettering						
strøer	Træ, konstruktion	166.438	30	3.1.02 Konstruktionsvollholz (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	13
gipsplader	Gipskartonplade 13 mm, hulplade	642.481	30	1.3.13 Gipskartonplatte (Lochplatte) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
Antagelser ang konstruktionen: der er antaget samme loftsareal som samlet gulvareal ovenfor. Loftopbygningen antages bestående af 2 lag gipsplade på strøer						
Indervægge						
isolering	Mineraluld, alm.	16.534	60	2.1.01 Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
gipsplader	Gipskartonplade 13 mm, hulplade	142.769	60	1.3.13 Gipskartonplatte (Lochplatte) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
træskelet	Træ, konstruktion	48.869	60	3.1.02 Konstruktionsvollholz (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	13
Antagelser ang konstruktionen: der er antaget lette indervægge svarende til 0,2 m2 indervæg pr beboelseskvaldratmeter som angivet ovenfor. Indervæggene antages af type med 2 lag gipsplader på træskelet og mellemiggende isolering af mineraluld						

* (se EoL flow-detalljer på sidste side i appendiks III)

Appendiks III
Opgørelsesliste over byggeriets mængder

TRANEPARKEN						
	Materiale	Mængde [kg]	Service life [år]	Benyttet datasæt	Database	EoL flow*
Fundamenter						
kældervæg altanside (anslået)	Beton C30/37	48.000	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_30_37_· _InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
	XPS isolering	640	50	2.3.01 XPS-Dämmstoff (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	9
	Porebeton 380 kg/m3	4.560	50	1.3.03 Porenbeton P2 04 unbewehrt (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
	XPS isolering	768	50	2.3.01 XPS-Dämmstoff (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	9
	Asfalt klæber	120	50	1.5.03 Asphaltbinder (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	8
kældervæg opgangside (anslået)	Beton C30/37	62.400	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_30_37_· _InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
	XPS isolering	1.664	50	2.3.01 XPS-Dämmstoff (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	9
	Porebeton 380 kg/m3	11.856	50	1.3.03 Porenbeton P2 04 unbewehrt (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
	XPS isolering	1.997	50	2.3.01 XPS-Dämmstoff (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	9
	Asfalt klæber	416	50	1.5.03 Asphaltbinder (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	8
Ydervægge						
isolering	Mineraluld, alm.	10.106	50	2.1.01 Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
teglsten	Teglsten, formur	197.122	50	1.3.02 Vormauerziegel (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	2
mørtel	Mørtel	29.787	50	1.4.05_Modifizierte_mineralische_Moertel_der_Gruppe_2_-_DBC_IVK_Vdl	Ökobau.dat 2014	2
isolering	Mineraluld, alm.	4.253	50	2.1.01 Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
teglsten	Teglsten, formur	55.210	50	1.3.02 Vormauerziegel (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	2
mørtel	Mørtel	8.343	50	1.4.05_Modifizierte_mineralische_Moertel_der_Gruppe_2_-_DBC_IVK_Vdl	Ökobau.dat 2014	2
Tag						
isolering (anslået)	Mineraluld, skråtag	12.870	50	2.1.01 Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung) (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	1
tagbelægning (anslået)	Bølge-eternitplade (modificeret C35/C45	30.730	50	1.4.01_Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_35_45_· _InformationsZentrum_Beton_GmbH	Ökobau.dat 2014	2
Ydervægge, komplettering						
glaspartier	Termorude 2x4 mm, Argonfyldt	21.420	30	7.2.01 Isolierglas 2-Scheiben (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	3
aluramme	Vinduesprofil, ramme, alu. pulverlak.	3.553	30	7.1.05 Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	4
trækarm	Vinduesprofil, karm, træ, hvidmalet	1.084	30	7.1.01 Holz-Blendrahmen (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	14
glaspartier	Termorude 2x4 mm, Argonfyldt	2.370	30	7.2.01 Isolierglas 2-Scheiben (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	3
aluramme	Vinduesprofil, ramme, alu. pulverlak.	395	30	7.1.05 Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	4
trækarm	Vinduesprofil, karm, træ, hvidmalet	120	30	7.1.01 Holz-Blendrahmen (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	14
Teknik						
	Ventilationsaggregat 5.000 m3/h	86	30	8.2.01 Lüfter zentral 5000 m3/h (A1-A3)	Ökobau.dat 2013	16

* (se EoL flow-detajler på sidste side i appendiks III)

Byggearbejdet på den eksisterende boligmasse udgør en stor andel af branchens samlede økonomiske aktivitet og er dermed et vigtigt indsatsområde for en miljømæssigt bæredygtig udvikling af byggebranchen. I denne rapport afklares væsentlige begreber og metoder i forbindelse med livscyklusvurdering (Life Cycle Assessment, LCA) af større renoveringsarbejder.

Med udgangspunkt i en række cases karakteriseres de involverede materialestrømme, og de miljømæssige påvirkninger ved renoveringsindgrebet bestemmes ved hjælp af LCA og sammenlignes med miljømæssige påvirkninger ved nybyggeri.

Rapporten viser, at renoveringer meget vel kan være miljømæssigt fordelagtige sammenlignet med gennemsnitligt nybyggeri.

1. udgave, 2015

ISBN 978-87-563-1748-1