



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik

Indledende studie af miljøpåvirkninger ved fortsættelse af nuværende byggeskik og ved en ændring til øget brug af træ

Hansen, Rasmus Nøddegaard; Andersen, Camilla Marlene Ernst; Birgisdottir, Harpa; Hoxha, Endrit; Eliassen, Jonas; Schmidt, Jannick H.; Weidema, Bo

Creative Commons License
Ikke-specificeret

Publication date:
2023

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Hansen, R. N., Andersen, C. M. E., Birgisdottir, H., Hoxha, E., Eliassen, J., Schmidt, J. H., & Weidema, B. (2023). *Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik: Indledende studie af miljøpåvirkninger ved fortsættelse af nuværende byggeskik og ved en ændring til øget brug af træ*. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet. BUILD Rapport Bind 2023 Nr. 22

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.



BUILD

RAPPORT

2023:22

Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik

Indledende studie af miljøpåvirkninger ved fortsættelse af nuværende konventionel byggeskik og ved en ændring til øget brug af træ

Rasmus Nøddegaard Hansen, Camilla Ernst Andersen, Harpa Birgisdottir, Endrit Hoxha, Jonas Eliassen, Jannick Schmidt, & Bo Weidema

MILJØMÆSSIGE KONSEKVENSER VED ÆNDRING AF BYGGESKIK

Indledende studie af miljøpåvirkninger ved fortsættelse af nuværende konventionel byggeskik og ved en ændring til øget brug af træ

BUILD: Rasmus Nøddegaard Hansen, Camilla Ernst Andersen, Harpa Birgisdottir, Endrit Hoxha

2-0 LCA consultants: Jonas Eliassen, Jannick Schmidt, Bo Weidema

TITEL	Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik
UNDERTITEL	Indledende studie af miljøpåvirkninger ved fortsættelse af nuværende konventionel byggeskik og ved en ændring til øget brug af træ
SERIETITEL	BUILD Rapport 2023:22
FORMAT	Digital
UDGIVELSEÅR	2023
UDGIVET DIGITALT	November
FORFATTER	BUILD: Rasmus Nøddegaard Hansen, Camilla Ernst Andersen, Harpa Birgisdottir, Endrit Hoxha 2.-0 LCA consultants: Jonas Eliassen, Jannick Schmidt, Bo Weidema
FAGFÆLLEBEDØMMER	Michael Zwicky Hauschild
SPROG	Dansk
SIDETAL	152
LITTERATURHENVISNINGER	Side 80
EMNEORD	Livscyklusvurdering, konsekvens-LCA, konventionelt Byggeri, træbyggeri
ISBN	978-87-563-2126-6
ISSN	2597-3118
FORSIDE	Astrid Maria Rasmussen
UDGIVER	Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post build@build.aau.dk www.anvisninger.dk Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.



FAGFÆLLE-
BEDØMT

INDHOLD

SUMMARY	7
SAMMENFATNING	13
FORORD	19
1 INDLEDNING	21
1.1 Baggrund	21
1.2 Byggeri og livscyklusvurdering	21
1.3 Læsevejledning	22
2 LIVSCYKLUSVURDERING	23
2.1 Konsekvens-LCA	23
2.2 Modellering af klimapåvirkninger fra træ	26
2.3 Forventede påvirkede producenter ved ændret efterspørgsel	27
3 PROGNOSE FOR BYGGEAKTIVITET	31
3.1 Metodebeskrivelse	31
4 CASESTUDIER	32
4.1 Oversigt over casestudier	32
4.2 Konventionel byggeskik	37
4.3 Træbaseret byggeskik	41
4.4 Forskelle mellem konventionel og træbaseret byggeskik	44
5 FREMTIDIGE MATERIALESTRØMME FOR NYBYGAKTIVITET	47
5.1 Materialestrømme ved øget konventionel byggeskik	47
5.2 Materialestrømme ved øget træbaseret byggeskik	49
5.3 Materialestrømsforskelle mellem byggeskikke	51
6 KONSEKVENSMILJØPÅVIRKNINGER	53
6.1 Miljøpåvirkning per bygningstypologi	53
6.2 Samlet gennemsnitlige miljøpåvirkninger	58
6.3 Klimapåvirkninger ved en 60-årig betragtningsperiode	60
6.4 Klimapåvirkninger ved en 100-årig betragtningsperiode	66
7 FORTOLKNING OG DISKUSSION AF RESULTATER	74
7.1 Diskussion af valg og metoder	75
REFERENCER	80
BILAG 1 – CASEBYGNINGER	83
Konventionel byggeskik	83
Træbaseret byggeskik	92

BILAG 2 – LIVSCYKLUS-INVENTORY FOR MATERIALEMÆNGDER FOR DE GENNENSNITLIGE CASESTUDIER	101
Konventionel byggeskik	101
Træbaseret byggeskik	110
BILAG 3 – MATERIALESTRØMME FOR MODUL A1-A3 I PROCENTANDEL	121
BILAG 4 – FREMTIDIGE MATERIALESTRØMME VED UDSKIFTNINGER, MODUL B4 123	
BILAG 5 – LIVSCYKLUS-INVENTORY FOR MODELLERING AF MATERIALER I EXIOBASE	125
BILAG 6 – FØLSOMHEDSANALYSE - SCENARIER	132
Scenarie med tysk cement	132
Scenarie med tysk stål	134
Scenarie med 10 år længere rotationstid i skovbrug	136
Scenarie uden skovmodel	138
Scenarie uden skovmodel og uden indirekte arealanvendelse (iLUC)	141
BILAG 7 – FORKLARING AF MILJØPÅVIRKNINGSKATEGORIER	144
BILAG 8 – EKSTERNT REVIEW FEEDBACK OG DERTILHØRENDE SVAR	147

SUMMARY

Sustainability in the construction industry has been a critical focus these years, both nationally and globally, due to the increasing human impact on nature. Climate change, in particular, is on the agenda, as greenhouse gas emissions have global effects. This has led to a Danish climate law requiring a national 70% reduction in greenhouse gas emissions by 2030 compared to the reference year 1990. Construction contributes significantly to global environmental impacts through the production of materials, waste generation, and generally high material and energy consumption. Over the last 30 years, energy consumption and associated impacts in Danish buildings have been remarkably reduced, but optimisation of embodied impacts from materials still needs improvements. Therefore, there is a growing interest in reducing the environmental impact of materials when looking at the entire life cycle of buildings. It has led to an interest in using wood as a building material, partly because some of the CO₂ that wood absorbs through photosynthesis can be temporarily stored when used in buildings. However, there are several complex aspects to analyzing the climate impacts of wood, including the storage time in the building, the time it takes for a new tree to reach maturity (rotation period), carbon flows and mechanisms in the forest, and the treatment of co-products. This study, therefore, assesses a broader spectrum of environmental impacts but has a particular focus on climate impacts associated with greenhouse gas emissions. The study examines the following environmental impacts in addition to climate impacts: Respiratory organics and inorganics, aquatic and terrestrial ecotoxicity, nature occupation, acidification, aquatic and terrestrial eutrophication, photochemical ozone (vegetation) and non-renewable energy (see Bilag 7 for a description of the environmental impact categories).

Life Cycle Assessment (LCA) is the most used method for calculating the environmental impacts of buildings over an entire life cycle. The life cycle starts with the production of materials, then the construction process, to the replacement of materials and operational energy consumption during the use phase and demolition at the end of life. In 2023, LCA was implemented as a requirement in the Danish building regulations for documentation of CO₂ equivalent (CO₂-eq) emissions, which must comply with a limit value of 12 kg CO₂-eq/m²/year for buildings over 1000 m². The current most widely used LCA approach is attributional LCA, which is applied at the building and material level. This approach provides insight and a knowledge base for individual buildings' environmental impacts. However, the approach is not able to analyse the effect that a change in demand for materials and, thus, material flows, e.g., at the national level, has on the environment via market mechanisms. For this, the approach called consequential LCA can be used.

Therefore, the Danish Authority of Social Service and Housing (SBST) wanted an assessment of the environmental consequences of a change in construction practice of the embodied environmental impacts, i.e., environmental impacts related to the materials used in the life cycle. The report assesses a change in construction practices from conventional towards more wood-based, as wood is often highlighted as a strategy to reduce the climate impact of buildings. The purpose of this report is first to identify future material flows on a national level for current conventional construction practices and a change to a construction practice with increased use of wood, respectively. In addition, it examines the wider environmental impacts that changes in demand could have using consequential LCA. The report is a collaboration between BUILD - Department of Built Environment at Aalborg University and 2.-0 LCA consultants.

This report is a preliminary study of the environmental consequences of a change in construction practices from conventional construction to wood. It means that the study only includes three case studies for each building typology, which needs to be a larger sample to fully represent the current or future building typologies for conventional and wood-based construction. Thus, no statistically significant conclusions can be drawn from this study. Hence, conclusions should not necessarily be considered definitive due to the particularly limited number of case studies included. The reader should therefore take the results and conclusions with the premises discussed in the study.

Apart from the limited number of case studies, the study does, however, provide insights into which suppliers and substituted products are expected to be affected by market mechanisms from increased demand for materials in the conventional and the wood-based scenario using the consequential LCA. This also comprises an analysis of which affected suppliers have a greater and lesser impact on climate change. It forms a basis for gaining insight into some indirect market effects that can similarly cause indirect environmental impacts. This can help initiate a conversation about the indirect impact of the two analyzed construction practices and the difference in change from conventional to wood-based construction practices. More in-depth aspects can be investigated further in future studies. Additionally, the study provides insights into the influence on the climate impact of time-dependent dynamic biogenic carbon flow modelling of wood products, time adjustment of greenhouse gas emissions and reference periods. These aspects are not only related to consequential LCA but LCA in general, which in this study is combined with consequential LCA.

Consequential LCA

Consequential LCA is used in this report to analyze the environmental impact of a change in demand for building materials. The methodology assesses which suppliers are expected to respond to an increased demand for conventional and wood-based construction practices. This is assessed by performing a market analysis that identifies the most competitive manufacturers based on the increase in production over time. The market analysis for wood, concrete and steel is performed based on material flow analysis from selected case studies. The global hybrid input-output database EXIOBASE is used as a background database for the consequential LCA. Input-output databases have the advantage that they are characterized by full completeness and by definition include the entire economy, yet it considers a more aggregated level with lower granularity than process LCA databases such as Ecoinvent.

Greenhouse gas emissions are adjusted according to when the emissions occur in relation to the 100-year time horizon used in the Global Warming Potential indicator (GWP_{100}). For the climate impact assessment, an additional focus is placed on CO_2 fluxes for wood materials, where CO_2 storage for a certain number of years results in a benefit according to the 100-year time horizon used in the GWP_{100} indicator. This represents the time-dependent dynamic relationship between carbon uptake in forests and how long a wood product remains as a building material. It considers whether the temporary period during which carbon is stored in a building material contributes to a net emission or reduction of atmospheric CO_2 .

A forest model is used to adjust the uptake and emission of CO_2 as the forest grows, through which a time-adjusted inventory of the forest's climate impact is analyzed. The rotation period (the time from tree planting to full maturity) is 88 years, and the wood material residues from the sawmill substitute other biomass, in this case, cellulose wood is the affected product. The two approaches, adjusting greenhouse gas emissions and considering CO_2 fluxes associated with the wood materials, are not specific to consequential LCA and can be applied to attributional LCA.

In the case of wood, land use for productive forests is also examined in the context of increased demand for wood and the pressure it puts on the global nature areas. Here, increased demand for productive forests will lead to the conversion of global primary forests to

productive forests, which results in CO₂ emissions as part of the environmental impact, known as indirect land use change (iLUC). This is because arable land is a constrained resource, so when land use increases in one region, it is replaced somewhere else globally, most commonly with food production leading to the conversion of primary forest. There currently needs to be a consensus on how to model indirect land use change, as the calculations are still subject to some uncertainty, which is addressed later in the chapter (see Bilag 5 for the climate impact of indirect land use).

Based on the above elements, this study contributes to the debate on wood in construction by including these often-omitted elements in LCA modelling of wood. It should be emphasized that the results are a product of several assumptions, choice of background database, and models used, which attempt to capture the complexity of the wood modelling. As the sensitivity and importance of the wood model and the iLUC model were identified as significant, it is clear that other model assumptions and approaches may lead to different results. A future increased focus on developing these models could lead to stronger decision support for the construction sector. Furthermore, identifying affected suppliers in the consequential LCA depends on market aspects, which can change over time. Therefore, it must also be emphasized that future studies should investigate whether other affected suppliers should be included in a consequential LCA.

Forecast of construction activity and material flows for conventional and wood-based construction practice

Historical data on construction activity (m²) in Denmark from 1982 to 2021 are used in the Holt-Winter additive method (Hyndman, R. J. and Athanasopoulos, 2021) to model future construction activity, in this study 2022-2050. This method is relevant for forecasting where data are time series containing trend and seasonality components. In particular, the additive method best represents the seasonality component data for Danish buildings constructed in recent years. The trend component shows the average trend over several years (decreasing, constant, increasing), and the seasonal variation component considers seasonal variations such as seasons, e.g., winter, administration practices, and holidays.

The two construction practice scenarios, conventional and wood-based, are analyzed to meet the expected future demand for construction for the building typologies of single-family houses, multi-family houses and office buildings. For each scenario and building typology, three case studies are included to homogenize and, to some extent, smooth differences in layout and system boundaries that exist in each case study into an average fabricated case study for each building typology with the limitation that a sample of three case studies has. This is a preliminary study, so three case studies per typology cannot fully represent Danish construction for either conventional or wood-based construction. The case studies are also included in the SBI 2020:04 (2020) og BUILD 2023:10 (2023) reports.

The case studies are randomly selected from BUILD's case bank, within the two construction classifications of concrete and wood. Thus, no specific characteristics among the case studies have been deliberately selected or deselected. As wood construction in Denmark is at an early stage of development and implementation, it is associated with great uncertainty to predict which types of wood buildings to represent the future. Therefore, this approach has been chosen and is expected to be a conservative approach to representing future wood construction.

This resulted in two of the wood office buildings having steel in some of the load-bearing structures, which at this stage of wood construction in Denmark, shows that wood construction is not always entirely "complete" wood buildings. Similarly, one of the wooden single-family houses contains a large amount of eelgrass and the other two single-family houses contain a certain amount of clay. This is due to the limited availability of case studies for wooden single-family houses, which currently cannot be represented differently. The biogenic materials in

the single-family house with eelgrass are modelled in the forest model as wood to get closer to a representation of an expected more common wood building. This is estimated to slightly overestimate the climate impact of the single-family house using eelgrass. Still, on the other hand, it is estimated to be closer to the climate impact of an expected more common wooden building.

The reference periods used in the study are 60 and 100 years, as the former is closest to the actual lifespan for multi-family houses and office buildings and the latter to single-family houses. At the same time, it shows how the reference periods influence the results as a variance study.

For conventional construction, concrete accounts for about 70-80% of the material mass in A1-A3 varying over the period 2022-2050, while brick, natural aggregates and steel are the following most used materials in terms of material mass. For wood construction, concrete still makes up the largest share the materials in terms of mass by approx. 50-60% in A1-A3 varying over the period 2022-2050, followed by bio-based material with approx. 20%, then clay and gypsum (see Bilag 3).

Environmental impacts of a change from conventional to wood-based construction practice

A change in building practice to more wood-based construction will result in a net increase in climate impact for the 60- and 100-year reference periods when looking across the three building typologies (see tabel 2). The table shows that wooden multi-family houses have less climate impact than conventional construction for the 60 and 100-year reference periods. Terrestrial ecotoxicity (only the 100-year reference period) and nature occupation are the environmental impact categories that, on the other hand, increase with wooden multi-storey buildings and thus do not follow the trend for climate impact. Conventional construction has the lowest climate impact for single-family houses and office buildings for 60- and 100-year reference periods. For single-family houses and office buildings, the other environmental impact categories follow the trend for climate impact except for respiratory organics and inorganics, which has similar impact at both construction practices, and aquatic eutrophication, which is unchanged for office buildings regarding both construction practices. However, these overall results should be understood concerning the following underlying explanations.

TABLE 1. Climate impacts for the building typologies single-family houses, multi-family houses and office buildings for conventional and wood-based construction practice for 60- and 100-year reference periods. The column for the difference when changing from conventional construction to wood shows the difference in climate impact that wood-based construction is greater (+) or smaller (-) than conventional construction.

Building typology	Reference period	Conventional (baseline)	Construction practice of wood	Difference when changing from conventional construction to wood
		GWP (kg CO ₂ -eq/m ² /year)	GWP (kg CO ₂ -eq/m ² /year)	GWP (kg CO ₂ -eq/m ² /year)
Single-family houses	60 years	6.61	10.20	+3.59
Multi-family houses		9.92	6.32	-3.60
Office buildings		6.54	8.44	+1.90
Single-family houses	100 years	4.54	6.96	+2.42
Multi-family houses		7.52	4.61	-2.91
Office buildings		4.82	6.41	+1.59

The higher climate impact for both reference periods for single-family houses in the wood construction scenario is mainly due to the climate impact from wood materials due to the

relatively high material quantity (kg/m²) of wood and the substitution of cellulose wood as the affected product. The largest source of wood's climate impact (for all three building typologies) arises from substituted cellulose wood, where co-products from timber production replace cellulose wood. The cellulose wood has a larger negative (reducing) climate impact from the forest model than the timber due to the shorter rotation period of the cellulose wood. Thus, this market substitution is significant for the results, as the residual products from the sawmill replace cellulose wood in the market. The cellulose wood can be used for various purposes in the general biomass market, which is why the residual products of the timber displace the alternative marginal production.

After that follows secondary processes in wood production and indirect land use related to timber as the contributors to the climate impact of wood. In the two single-family houses in the wood scenario containing a certain amount of clay material, it is considered that this material does not significantly influence the overall climate impact.

Both the 60- and 100-year reference period for office buildings will result in the greatest climate impact in the wood construction scenario. This is partly due to the increased amount of wood material. In contrast, the avoided use of concrete also shows up as a significant impact reduction. The sources of wood's impact are the same as for single-family houses. The main reason for the higher emissions of wood construction for office buildings is the quantity of steel used in the load-bearing structures. Thus, it is estimated that the two case studies that have steel as part of the structural system will significantly impact the climate of wooden office buildings. Therefore, attempts should be made to construct wooden office buildings with minimal use of steel in the load-bearing structures. Assessing other case studies with limited steel use will likely reduce the climate impact of wooden office buildings.

The study shows that the climate impact per year is lower for all housing typologies for both construction practices for a 100-year reference period compared to the 60-year reference period. Thus, the increased replacement of material quantities is more than counter-balanced by the increased number of years to distribute the climate impacts. So, a longer reference period reduces the absolute environmental impact per m² per year. The environmental impacts related to replacements must be interpreted with some uncertainty as most occur far into the future, which is an inherent uncertainty. Many factors are behind the replacement frequencies include technical durability, technical construction at the site, aesthetics, politics, and economics.

Limitations

It is important to mention that the result of this study's climate and environmental impacts depends significantly on the used case studies. With a sample of three case studies for each typology for each construction practice, the analyses are therefore based on a relatively limited number of buildings (small sample), which must be considered when applying the results and conclusions of the study. Results and conclusions should thus also be seen as indications rather than definitive, to be used as a starting point for understanding the expected indirect environmental impacts that may occur due to market mechanisms for the two types of construction practices for each building typology.

The consequential LCA's uncertainties may be associated with the assessed affected suppliers of the different materials. Similarly, there may be uncertainties or weightings related to the time-dependent dynamics when modelling forestry and wood products and the time adjustment of greenhouse gas emissions. This is discussed below through sensitivity analyses.

The sensitivity analysis shows that inputs to the forest model, such as the rotation period, significantly influence the climate impact. Similarly, the study shows that the result for cellulose wood significantly impacts the climate impact of the wood. Thus, the inputs to the forest model for cellulose wood are likewise important, as well as the identification of cellulose wood as the affected product by substitution. Therefore, the climate impact also depends on the specific

forest model used in this study and the associated assumptions. For instance, when the forest model is excluded, it reveals a change in the conclusions for the climate impact of wood-based construction. Therefore, the modelling of forest carbon dynamics has a significant impact overall when wood is involved (see section 7.1.4 for more details). Furthermore, the chosen method for modelling indirect land use, which is often difficult to quantify, also influences the results related to climate impacts in this study. Using other modelling methods might lead to different climate impacts.

The sensitivity analysis for steel showed that it is sensitive to the identified affected supplier. By altering from Chinese to German steel as the affected supplier by paying more for German steel, the climate impact of steel would be significantly lower. Hence, it would also impact the overall conclusions, including that the substitution benefit of using wood will be smaller.

The sensitivity analysis of the affected supplier for cement analysed German cement instead of Danish. It did not significantly impact the result, and thus cement is assessed not to be sensitive to whether Danish cement is the identified affected supplier.

The study applies time adjustment of greenhouse gas emissions over a 100-year period, which implies that greenhouse gas emissions have the greatest climate impact in year zero and then decrease until year 100, where emissions after this year are not impacting. This gives the highest weighting to current emissions (A1-A3), which provides an incentive to reduce climate impacts now. Conversely, it can also mean that climate impacts, which may be delayed until later in the buildings' reference period, have less weight in this study but will still need to be addressed by future generations. It is therefore important to keep this prioritization in mind with this approach. However, as the curve for temperature increases is highest in these years due to climate impacts, delaying greenhouse gas emissions to the future would be preferable if, among other things, animals and plants are to be able to adapt, according to IPCC (2014).

SAMMENFATNING

Bæredygtighed i bygge- og anlægsbranchen udgør et centralt fokus i disse år, både nationalt og globalt, på grund af den tiltagende menneskeskabte påvirkning af naturen. Særligt klimaforandringer er på dagsordenen, da drivhusgasemissioner har globale effekter. Dette har medført en dansk klimalov om national 70 % reduktion af drivhusgasemissioner i 2030 sammenlignet med referenceåret 1990. Byggeriet bidrager betydeligt til de globale miljøpåvirkninger ved produktionen af materialer, affaldsproduktionen og generelt ved et stort materiale- og energiforbrug. I løbet af de sidste 30 år er energiforbruget og de tilhørende påvirkninger i danske bygninger reduceret meget, men optimering af indlejrede påvirkninger fra materialer mangler. Derfor er der en stigende interesse for at reducere materialers påvirkning af miljøet, når man kigger på hele livscyklussen for bygninger. Dette har medført en interesse for at anvende træ som byggemateriale, blandt andet fordi en del af det CO₂ som træ optager gennem fotosyntesen kan lagres midlertidigt, når træet bruges i bygninger. Der er dog flere komplekse aspekter ved at analysere klimapåvirkninger fra træ herunder, hvor længe træmaterialet er i bygningen, tiden det tager for et nyt træ at nå modenhed (rotationstid), kulstofstrømme og -mekanismer i skoven samt behandling af biprodukter. Dette studie vurderer derfor et bredere spektrum af miljøpåvirkninger, men har et særligt fokus på klimapåvirkninger forbundet med drivhusgasemissioner. Studiet undersøger følgende miljøpåvirkninger udover klimapåvirkning: Organiske og uorganiske respiratoriske stoffer, akvatisk og terrestrisk økotoxicitet, naturbeslaglæggelse, forsuring, akvatisk og terrestrisk eutrofiering, fotokemisk ozondannelse (vegetation) og ikke-fornybar energi (se bilag 7 for beskrivelse af miljøpåvirkningskategorierne).

Livscyklusvurderinger (LCA, efter engelsk Life Cycle Assessment) er den mest benyttede metode til at beregne miljøpåvirkninger fra bygninger over en hel livscyklus. Livscyklussen starter ved produktionen af materialer, derefter byggeprocessen, til udskiftning af materialer og driftsenergiforbrug i brugsfasen samt nedrivning ved endt levetid. I 2023 blev LCA implementeret som krav i bygningsreglementet til dokumentation af udledningen af CO₂-ækvivalenter (CO₂-eq), som skal overholde en grænseværdi på 12 kg CO₂-eq/m²/år for bygninger over 1000 m². Den nuværende mest udbredte LCA-tilgang er attributiv LCA, som anvendes på bygnings- og materialeniveau. Denne tilgang giver indsigt og vidensgrundlag i miljøpåvirkninger for hvert enkelt byggeri, men tilgangen formår ikke at analysere, hvilken effekt en ændring i efterspørgsel af materialer og derved materialestrømme, f.eks. på nationalt niveau, har på miljøet via markedsmekanismer. Til dette kan tilgangen kaldet konsekvens-LCA benyttes.

Social- og Boligstyrelsen (SBST) har ønsket at få en vurdering af de miljømæssige konsekvenser ved ændret byggeskik af de indlejrede miljøpåvirkninger, altså miljøpåvirkninger relateret til materialer anvendt i livscyklussen. Rapporten tager udgangspunkt i en ændret byggeskik fra konventionel byggeskik mod mere træbyggeri, da træ ofte fremhæves som strategi til at nedbringe klimapåvirkningerne for bygninger. Formålet med denne rapport er først at afdække fremtidige materialestrømme på nationalt plan, for henholdsvis nuværende, konventionel byggeskik og ved en ændring til en byggeskik med øget brug af træ. Derudover undersøges de bredere miljømæssige konsekvenser som ændringer i efterspørgslen kunne medføre ved brug af konsekvens-LCA. Rapporten er udført i et samarbejde mellem BUILD – Institut for Byggeri, By og Miljø på Aalborg Universitet og 2.-0 LCA consultants.

Denne rapport skal ses som et indledende studie af de miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik fra konventionelt byggeri til træ. Dette betyder, at studiet kun inkluderer

tre casestudier for hver bygningstypologi, som dermed ikke er en stor nok stikprøve til at kunne være fuldt ud repræsentativt for nuværende eller kommende bygningstypologier for konventionel og træbaseret byggeskik. Dermed kan der ikke konkluderes noget statistisk signifikant ud fra dette studie, og derfor skal de endelige resultater og konklusioner ikke nødvendigvis ses som endegyldige grundet de især begrænsede antal inkluderede casestudier. Resultaterne og konklusionerne skal derfor tages med de forbehold, som diskuteres i studiet.

Bortset fra de begrænsede antal casestudier giver studiet til gengæld indblik i, hvilke producenter og substituerede produkter, der kan forventes at blive påvirket via markedsmekanismer i forbindelse med øget efterspørgsel af materialer ved henholdsvis konventionel og træbaseret byggeskik i konsekvens-LCA'en. Herunder hvilke af de påvirkede producenter, der har større betydning for klimapåvirkningen, og hvilke der har mindre betydning. Dermed dannes grobund for et indblik i nogle af de indirekte markedseffekter, der kan forårsage ligeledes indirekte miljøpåvirkninger. Dette kan være med til at starte en dialog om den indirekte påvirkning ved de to analyserede byggeskikke samt ved et skifte fra konventionel til træbaseret byggeskik. Dyberegående aspekter kan undersøges nærmere i videre studier. Desuden gives indblik i betydningen af tidsafhængig dynamisk biogen kulstofstrømme-modellering af træprodukter, tidskorrigeret af drivhusgasemissioner og betragtningsperioder for klimapåvirkningen. Aspekter, der ikke kun er relateret til konsekvens-LCA, men LCA helt generelt, der i nærværende studie kombineres med konsekvens-LCA.

Konsekvens-LCA

Konsekvens-LCA anvendes i denne rapport til at analysere miljøpåvirkningen ved en ændring i efterspørgslen på byggematerialer. I metoden vurderes, hvilke producenter der forventes at reagere på en øget efterspørgsel for henholdsvis konventionel og træbaseret byggeskik. Dette vurderes ved at udføre en markedsanalyse, der identificerer de mest konkurrencedygtige producenter ud fra stigningen i produktion over tid. Markedsanalysen for træ, beton, og stål udføres på baggrund af materialestrømsanalyser fra udvalgte casestudier. Til konsekvens-LCA'en benyttes den globale hybrid input-outputdatabase EXIOBASE som baggrundsdatabase. Input-outputdatabaser har den fordel, at de karakteriseres ved fuld kompletthed og inkluderer per definition hele økonomien, men dog arbejder på et mere aggregeret niveau med lavere granularitet end proces-LCA-databaser såsom Ecoinvent.

Drivhusgasemissioner korrigeres i forhold til, hvornår udledningen forekommer set i henhold til den 100-årige tidshorizont, der anvendes i indikatoren for globalt opvarmingspotentiale (GWP_{100} , efter engelsk Global Warming Potential). Til vurdering af klimapåvirkning sættes et ekstra fokus på CO_2 -strømme for træmaterialer, hvor en lagring af CO_2 i et vist antal år medfører en fordel set i henhold til den 100-årige tidshorizont anvendt i GWP_{100} påvirkningsindikatoren. Dette er en måde at repræsentere det tidsafhængige dynamiske forhold, der er mellem kulstofoptag i skov, og hvor længe et træprodukt forbliver som byggemateriale. Dermed tages der højde for om den midlertidige periode, hvor kulstoffet er lagret i byggematerialet bidrager til en nettoemission eller -reduktion af CO_2 .

Der anvendes en skovmodel, der tidskorrigerer optag og udledning af CO_2 i takt med, at skoven gror, hvorigennem en tidskorrigeret opgørelse over skovens klimapåvirkning analyseres. Rotationstiden (tiden fra træets plantning til det er fuldt modnet) er her 88 år og træmaterialernes restprodukter fra savværket substituerer anden biomasse, her cellulosetræ som det påvirkede produkt. De to førnævnte tilgange, henholdsvis korrigeret af drivhusgasemissioner og CO_2 -strømme for træmaterialer, er ikke specifikke for konsekvens-LCA, og kan derfor anvendes ved attributiv LCA.

For træes tilfælde undersøges også arealanvendelse i forbindelse med produktionsskov ved øget efterspørgsel på træ, og det pres det medfører på det globale naturareal. Her vil øget efterspørgsel på produktionsskov medføre omlægning af global primærskov til produktions-skov, som medfører CO_2 -emissioner som en del af miljøpåvirkningerne, hvilket kaldes

indirekte arealanvendelse (iLUC, efter engelsk indirect land use change). Dette skyldes, at fertilt landareal er en begrænset ressource, så når arealanvendelse øges i en region, erstattes det et andet sted globalt, oftest med fødevareproduktion, der medfører omlægning af primærskov. Der er for nuværende ikke konsensus om, hvordan indirekte arealanvendelse skal modelleres, da beregningerne stadig er forbundet med en vis usikkerhed, hvilket behandles i de to sidste afsnit i Sammenfatning samt i den rapportens diskussion i afsnit 7 (se Bilag 5 for klimapåvirkningen fra indirekte arealanvendelse).

På baggrund af ovenstående elementer bidrager dette studie derfor til debatten om træ i byggeriet ved at inkludere disse ofte udeladte elementer i LCA-modellering af træ. Det skal understreges, at resultaterne derfor er et produkt af en række antagelser, valg af baggrunds-database og anvendte modeller, som forsøger at fange kompleksiteten i denne modellering af træ. Da følsomheden og vigtigheden af især træmodellen, men også iLUC-modellen, blev identificeret som væsentlig, står det også klart, at andre antagelser kan medføre andre resultater. Eftersom studiet bør er et indledende studie, kræver dette nærmere forskning. Et fremadrettet øget fokus på udvikling af disse modeller kan derfor medføre stærkere beslutningsstøtte til byggesektoren. Desuden afhænger identificering af påvirkede leverandører i konsekvens-LCA'en af markedsforhold, der naturligvis kan ændre sig over tid. Derfor må det også understreges, at fremtidige studier på området bør undersøge, hvorvidt andre påvirkede leverandører bør inkluderes i en fremtidig konsekvens-LCA.

Fremtidig byggeaktivitet og casestudier for konventionel og træbaseret byggeskik

Historiske data for byggeaktivitet (m^2) i Danmark fra 1982 til 2021 er anvendt i modellen Holt-Winter's additive metode (Hyndman, R. J. and Athanasopoulos, 2021), for at modellere fremtidig byggeaktivitet, i dette studie 2022-2050. Denne metode bruges ved udførelse af prognoser, hvor data er tidsserier, der indeholder trend- og sæsonvariation-komponenter. Særligt sæsonvariation-komponentens data for de senere års opførte danske bygninger er bedst repræsenteret ved den additive metode. Trend-komponenten viser den gennemsnitlige tendens over en årrække (aftagende, konstant, voksende) og sæsonvariation-komponenten tager højde for sæsonvariationer såsom årstider, administrationspraksis, feriehøjtider.

De to scenarier for byggeskik, konventionel og træbaseret, er analyseret med henblik på at møde den forventede fremtidige efterspørgsel efter byggeri for bygningstypologierne enfamiliehuse, etageboliger og kontorbygninger. For hvert scenarie og bygningstypologi er der inkluderet tre casestudier, for at homogenisere og til en vis grad udjævne forskelle i layout og systemafgrænsning, som der er i hvert enkelt casestudie, til et gennemsnitligt fiktivt casestudie for hver bygningstypologi med den begrænsning som en stikprøve på tre casestudier har. Da dette er et indledende studie, så tre casestudier per typologi kan ikke være fuldt repræsentativt for dansk byggeri hverken ved konventionelt eller træbaseret byggeskik. Casestudierne indgår desuden i studierne SBI 2020:04 (2020) og BUILD 2023:10 (2023).

Casestudierne er udvalgt tilfældigt blandt BUILDs casesamling, indenfor de to klassificeringer betonbyggeri og træbyggeri. Dermed er ingen særlige egenskaber blandt casestudierne bevidst tilvalgt eller fravalgt. Da træbyggeri i Danmark er på et tidligt udviklings- og implementeringsstadium, er det forbundet med stor usikkerhed at forudsige, hvilke typer træbyggerier, der er repræsentative for fremtiden. Derfor er denne tilgang valgt, og den forventes derfor også at være en forsigtig tilgang til repræsentationen af fremtidigt træbyggeri.

Dette har bl.a. medført, at af kontorbygningerne i træ har stål i nogle af de bærende konstruktioner, hvilket på nuværende stadium for træbyggeri i Danmark viser, at træbyggeri ikke altid udelukkende er såkaldte "komplette" træbyggerier. Ligeledes indeholder det ene af enfamiliehuse i træ en stor mængde ålegræs, og de to andre enfamiliehuse indeholder en vis mængde ler. Dette skyldes den begrænsede tilgængelighed af casestudier for enfamiliehuse i træ, hvormed disse ikke kan repræsenteres anderledes på nuværende

tidspunkt. De biogene materialer i enfamiliehuset med ålegræs er modelleret i skovmodellen som træ, for at komme tættere på en repræsentation af et mere forventeligt gængs træbyggeri. Dette vurderes at overestimere klimapåvirkningen af enfamiliehuset med ålegræs en smule, men til gengæld vurderes det at være tættere på et forventeligt mere gængs træbyggeris klimapåvirkning.

Betragtningsperioderne anvendt i studiet er 60 og 100 år, da førstnævnte er tættest på den reelle levetid for etageboliger og kontorer, og sidstnævnte for enfamiliehuse. Samtidig viser det, hvordan betragtningsperioden influerer de endelige resultater som et variansstudie.

For konventionel byggeskik vil beton udgøre ca. 70-80% af materialemængden i A1-A3 varierende over perioden 2022-2050, mens teglsten, naturlige aggregater og stål udgør de næst mest anvendte materialer i forhold til materialemængde. Ved træbyggeri udgør beton stadig majoriteten af materialerne målt på materialemængde med ca. 50-60% i A1-A3 varierende over perioden 2022-2050, hvorefter biobaseret materiale følger med ca. 20%, derefter ler og gips (se Bilag 3).

Miljøpåvirkninger ved ændring fra konventionel til mere træbaseret byggeskik

Overordnet set viser dette studie, at klimapåvirkningen ved en ændring af byggeskik i træ afhænger af den studerede bygningstypologi, (se tabel 2). Tabellen viser, at etageboliger i træ medfører færre klimapåvirkninger end konventionelt byggeri for betragtningsperioder på 60 og 100 år. Terrestrisk økotoxicitet (kun 100-årig betragtningsperiode) og naturbeslaglæggelse er miljøpåvirkningskategorier, der derimod forøges ved etageboliger i træbyggeri og derved ikke følger tendensen for klimapåvirkningen. Konventionelt byggeri fremstår med lavest klimapåvirkning for enfamiliehuse og kontorer ved begge betragtningsperioder på 60 og 100 år. For enfamiliehuse og kontorer følger de andre miljøpåvirkningskategorier tendensen for klimapåvirkningen med undtagelse af organiske og uorganiske respiratoriske stoffer, som er ens for begge byggeskikke samt akvatisk eutrofiering, der er uændret for kontorbygninger ved begge byggeskikke. Disse overordnede resultater skal imidlertid forstås i perspektiv til underliggende forklaringer, der følger herefter.

TABEL 2. Klimapåvirkninger for bygningstypologierne enfamiliehuse, etageboliger og kontorbygninger for konventionel og træbaseret byggeskik for betragtningsperioderne 60 og 100 år. Kolonnen for forskel ved ændring fra konventionel byggeskik til træ viser differencen i klimapåvirkning som træbaseret byggeskik er større (+) eller mindre (-) end sammenlignet med konventionel byggeskik.

Bygnings- typologi	Betragtnings- periode	Konventionel (baseline)	Byggeskik med træ	Forskel ved ændring fra konventionel byg- geskik til træ
		GWP (kg CO ₂ -eq/m ² /år)	GWP (kg CO ₂ -eq/m ² /år)	GWP (kg CO ₂ -eq/m ² /år)
Enfamiliehuse	60 år	6,61	10,20	+3,59
Etageboliger		9,92	6,32	-3,60
Kontorbygninger		6,54	8,44	+1,90
Enfamiliehuse	100 år	4,54	6,96	+2,42
Etageboliger		7,52	4,61	-2,91
Kontorbygninger		4,82	6,41	+1,59

Den større klimapåvirkning ved begge betragtningsperioder for enfamiliehuse i træbyggeri bundes hovedsageligt i klimapåvirkningen fra træmaterialer, hvilket skyldes materialemængden (kg/m²) af træ er relativ høj og substitution af cellulosetræ. De største kilder til træets klimapåvirkning (gælder for alle tre bygningstypologier) kommer fra substitueret cellulosetræ,

hvor biprodukter fra produktionen af konstruktionstræ erstatter cellulosestræ. Cellulosestræet har en større negativ (reducerende) klimapåvirkning fra skovmodellen end træet til byggeriet grundet den kortere rotationstid for cellulosestræet. Dermed er denne markedssubstitution markant for resultaterne, da restprodukterne fra savværket erstatter cellulosestræ på markedet. Cellulosestræet kan bruges til en række forskellige formål på det generelle marked for biomasse, hvorfor den alternative marginale produktion bliver fortrængt af bygningstømmerets restprodukter.

Dernæst følger sekundære processer i træproduktionen og indirekte arealanvendelse relateret til det anvendte konstruktionstræ som bidragsydere til træes klimapåvirkning. For de to casestudier i træ for enfamiliehuse, hvor en vis mængde materiale indgår, vurderes det, at dette materiale ikke har væsentligt indflydelse på den samlede klimapåvirkning.

For kontorbygninger vil en 60 og 100-årig betragtningsperiode resultere i træbyggeri med størst påvirkning på klimaet. Dette skyldes til dels den øgede mængde af træ, hvorimod den undgåede beton viser sig som en væsentlig reduktion. Kilderne til træets påvirkning er de samme som for enfamiliehuse. Hovedårsagen til træbyggeriets større udledning for kontorer skal findes i den anvendte mængde stål i de bærende konstruktioner. Dermed vurderes det, at de to casestudier, der har stål som en del af det konstruktive system, vil have væsentligt indflydelse på klimapåvirkningen for kontorbygninger i træ. Det skal derfor forsøges at opføre kontorbygninger i træ uden betydelig anvendelse af stål i de bærende konstruktioner. Vurdering af andre casestudier med begrænset stålanvendelse vil sandsynligvis reducere klimapåvirkningen for kontorbygninger i træ.

Generelt viser studiet, at klimapåvirkningen per år er lavere for alle boligtypologier ved begge byggeskikke ved en 100-årig betragtningsperiode sammenlignet med den 60-årige. Dermed opvejer de øgede udskiftninger af mængder altså ikke det øgede antal år at fordele klimapåvirkningerne ud på. Så en længere betragtningsperiode viser tendenser til at reducere den absolutte miljøpåvirkning per m² per år. Miljøpåvirkninger relateret til udskiftninger skal også fortolkes med en vis usikkerhed grundet de fleste forekommer langt ude i fremtiden, hvilket er en iboende usikkerhed i sig selv, mens der ligeledes er mange faktorer bag udskiftningshyppighed herunder teknisk holdbarhed, teknisk opførelse, æstetik, politik og økonomi.

Afgrænsning

Det er vigtigt at nævne, at resultatet for klima- og miljøpåvirkningerne i dette studie afhænger væsentligt af de anvendte casestudier. Med en stikprøve på tre casestudier for hver typologi for hver byggeskik, er analyserne derfor baseret på et relativt begrænset antal bygninger (lille stikprøve), hvilket skal tages i betragtning ved anvendelse af studiets resultater og konklusioner. Resultater og konklusioner skal dermed også ses som indikationer snarere end endegyldige, for at bruges som afsæt til at forstå de forventede indirekte miljøpåvirkninger, der kan forekomme grundet markedsmekanismer ved de to typer af byggeskikke for hver bygningstypologi.

Der hvor konsekvens-LCA kan have usikkerheder kan bl.a. være ved de vurderede påvirkede producenter af de forskellige materialer. Ligeledes kan der være usikkerheder eller vægtninger i tidsafhængig dynamisk forhold ved modellering af skov og træprodukter samt tidskorrigering af drivhusgasemissioner. Det gennemgås herunder gennem følsomhedsanalyser.

Følsomhedsanalysen viser, at input til skovmodellen såsom rotationstid har en væsentlig indflydelse på klimapåvirkningen. Ligeledes fremgår det af studiet, at resultatet for cellulosestræ betyder en væsentlig del for træets klimapåvirkning, og dermed er inputs til skovmodellen for cellulosestræ også af betydning samt identifikationen af cellulosestræ som det påvirkede produkt ved substitution. Derfor er klimapåvirkningen også afhængig af den specifikke skovmodel anvendt i dette studie og dertilhørende antagelser. Det viser sig, at konklusionerne for

klimapåvirkning ændrer sig, når skovmodellen ikke inkluderes i studiet. Derfor har modelleringen af skovens kulstof-dynamikker en væsentlig indflydelse generelt set, når træ er involveret (se afsnit 7.1.4 for uddybning). Desuden har den valgte metode for modellering af indirekte arealanvendelse, som ofte er svær at kvantificere, også indvirkning på resultaterne i forbindelse med klimapåvirkningerne i dette studie. Andre metoder kan måske lede til forskelligartede resultater for klimapåvirkning.

Følsomhedsanalysen for stål viste, at stål er følsom over for den vurderede påvirkede leverandør eller producent. Ved et skift fra kinesisk til tysk stål som påvirket leverandør, gennem at betale mere for dette, vil klimapåvirkningen fra stål være betydeligt lavere, og dermed også have betydning for de samlede konklusioner. Herunder vil substitutionsfordelen ved at bruge træ blive mindre.

Der blev også lavet en følsomhedsanalyse på den påvirkede producent for cement, hvor tysk cement blev analyseret i stedet for dansk. Det havde ikke betydelig indflydelse på resultatet, og dermed vurderes cement til ikke at være følsom overfor om det er dansk cement, som er den vurderede påvirkede producent.

Der er anvendt tidskorrigeret af drivhusgasudledninger over en 100-årig periode, hvilket betyder at udledninger har størst klimapåvirkning i år nul og aftager derefter frem til år 100, hvor udledninger efter dette år ikke medregnes. Dette vægter nuværende udledninger (A1-A3) højest, som derved giver incitament til at reducere klimapåvirkninger nu og her. Omvendt kan det også betyde, at klimapåvirkninger, der eventuelt udskydes til senere i betragtningsperioden for bygningerne, har mindre vægt i dette studie, men dermed vil de stadig skulle håndteres af fremtidige generationer. Det er derfor vigtigt at have denne prioritering for øje ved denne tilgang. Da kurven for temperaturstigninger pga. klimapåvirkninger imidlertid er størst netop i disse år, så vil en udskydning af drivhusgasemissioner til fremtiden være at foretrække, hvis bl.a. dyr og planter skal kunne nå at tilpasse sig ifølge IPCC (2014).

FORORD

Miljømæssig bæredygtighed og især klimapåvirkninger associeret til byggeri og det byggede miljø får opmærksomhed i disse år grundet de stødt voksende nationale og internationale reguleringer og krav. Det har senest medført grænseværdikrav på bygningsniveau for klimapåvirkningen i den danske byggebranche, som skal imødekommes ved brug af livscyklusvurderinger (LCA). LCA anvendes til vurdering af bygningers miljø- og klimapåvirkning i den fulde livscyklus fra produktion af materialer, udskiftninger og bortskaffelse ved endt levetid.

For nuværende anvendes LCA primært på bygningsniveau og det hertil relaterede materialeforbrug. Social- og Boligstyrelsen (SBST) har med udgangspunkt i National Strategi for Bæredygtigt Byggeri – initiativ 11 derfor bedt BUILD – Institut for Byggeri, By og Miljø på Aalborg Universitet i samarbejde med 2.-0 LCA consultants som underrådgivere at evaluere, hvilke miljøpåvirkninger inklusive klimapåvirkning, der er forbundet med øget konventionel byggeskik og ved en ændring af efterspørgslen til øget træbaseret byggeskik vurderet ved konsekvens-LCA.

Formålet med denne rapport er derved at belyse forventet fremtidigt national byggeaktivitet og dets materialestrømme ved henholdsvis konventionel og træbaseret byggeskik samt undersøge hvordan konsekvenserne for materialeefterspørgslen vil influere miljøet og klimaet i et bredere perspektiv. Manuskriptet er inden publicering blevet fagfællebedømt af Professor Michael Zwicky Hauschild fra Danmark Tekniske Universitet, hvem BUILD takker for konstruktivt samarbejde.

BUILD – Institut for Byggeri, By, og Miljø, Aalborg Universitet København
Sektionen for Bæredygtighed, Energi og Indeklima
April 2023

Tine Steen Larsen
Sektionsleder

1 INDLEDNING

1.1 Baggrund

Byggeriet står for en stor del af miljøpåvirkningen nationalt såvel som globalt og udgør derfor et centralt element i at reducere den menneskelige påvirkning af klima og miljø. Byggebranchen har derfor et voksende fokus på miljømæssig bæredygtighed med introduktion af DGNB-certificeringsordningen i 2012, som er blevet fulgt op af Den Frivillige Bæredygtighedsklasses lancering i 2020 og National Strategi for Bæredygtigt Byggeri i 2021. Senest i 2023 er også klimakrav for nybyggeri over 1000 m² blevet gældende i den danske byggebranche. I et bredere samfundsperspektiv har Folketinget vedtaget at Danmark skal reducere drivhusgasudledningerne med 70% i 2030 sammenlignet med referenceåret 1990 (Forsyningsministeriet, 2020).

I Danmark kommer 35% af al affald fra byggeriet og bygninger står samtidig for 30% af drivhusgasudledningen, hvor sidstnævnte udgøres af 20% ifm. driftsenergi og 10% er indlejret i produktion, håndtering og bortskaffelse af materialer set over en bygnings livscyklus (Regeringens klimapartnerskaber, 2020). Reduktioner af driftsenergiforbruget er forbedret markant de seneste 40 år, hvorimod de manglende fremskridt for indlejrede miljø- og klimapåvirkninger har gjort materialer til et vigtigt område for reduktioner (Birgisdóttir and Madsen, 2017).

1.2 Byggeri og livscyklusvurdering

Miljø- og klimapåvirkninger relateret til drift og materialer kan bestemmes ved at udføre en livscyklusvurdering (LCA) hvor hele bygningens livscyklus tages i betragtning. For nuværende anvendes metoden attributiv LCA på byggeri som den primære LCA-metode i byggeriet. I 2020 blev der udgivet en rapport med 60 casestudier, hvor der er udført LCA på hver enkelt bygning, for at give et bedre vidensgrundlag for vurdering af bygningers miljø- og klimapåvirkning (Zimmermann *et al.*, 2020). Derudover fremhæves bl.a. træ og biobaserede materialer for deres egenskaber for at kunne optage og lagre CO₂ til potentielt at reducere indlejrede drivhusgasudledninger fra byggeri (Churkina *et al.*, 2020; Andersen *et al.*, 2021). Attributiv LCA-tilgangen i byggeriet er imidlertid primært anvendt på projektniveau, og data for materialer er baseret på specifikke miljøvaredeklarationer (EPD) med gennemsnitsbaggrundsdata og på generiske processer for materialerne. Attributiv LCA tager dermed ikke højde for, hvordan ændringer i efterspørgslen på materialer og produkter vil influere materialestrømme, markedsmekanismer og dertilhørende miljøpåvirkninger. Dermed kan konsekvens-LCA sige noget om de forventelige indirekte miljøpåvirkninger grundet markedsmekanismer.

Konsekvens-LCA er en anden metode indenfor LCA som inkluderer markedsmekanismer, såsom hvilke producenter og leverandører i markedet, der vil reagere på potentielle ændringer i efterspørgslen. Herudover betragtes begrænsninger i ressourcer eller andre forhold såsom kvoter eller politiske reguleringer samt konkurrenceevne. Det er dermed den forventede hypotetiske værdikæde som bliver påvirket af ændring i materialeefterspørgsel der identificeres sammen med de dertilhørende miljøpåvirkninger.

Denne rapport belyser først materialestrømme i større skala for den danske byggebranche for enfamiliehuse, etageboliger og kontorer, hvis den forventede byggeaktivitet udføres med

den nuværende (konventionelle) byggeskik og ved at ændre byggeskik til øget brug af træ i byggeriet. Herefter vurderes, ved hjælp af konsekvens-LCA, de forventede påvirkede producenter i markedet og deres miljø- og klimapåvirkninger for de to typer af byggeskikke. Dermed belyses konsekvenserne af ændringer i materialestrømme på større skala og konsekvenserne ved at se på et bredere spektrum af miljøpåvirkninger end udelukkende drivhusgasudledninger.

Dette er et indledende studie, som derved anvender en stikprøve på kun tre casestudier for hver bygningstypologi, hvilket ikke kan udgøre en fuld repræsentation af de inkluderede bygningstypologier. Derfor skal resultaterne og konklusionerne af et skift fra konventionel til træbaseret byggeskik også behandles med de i rapporten nævnte begrænsninger og forudsætninger. Studiet giver imidlertid stadig et indblik i, hvilke indirekte miljøpåvirkninger, der kan opstå ved øget konventionel og træbaseret byggeskik. Herunder hvilke påvirkede producenter og produkter, der forventeligt har størst indflydelse på klimapåvirkningen, samt hvordan betragtningsperiode, tidsafhængig dynamisk modellering af kulstofstrømme og tidskorrigering af drivhusgasemissioner har af betydning for klimapåvirkningen.

1.3 Læsevejledning

I *kapitel 2* præsenteres metoden til konsekvens-LCA til modellering af påvirkede producenter ved ændret efterspørgsel samt dets relaterede miljø- og klimapåvirkning.

I *kapitel 3* præsenteres metoden for prognosen for fremtidig byggeaktivitet baseret på historisk udvikling.

I *kapitel 4* præsenteres de udvalgte casestudier for konventionel og træbaseret byggeskik, som bruges til beregningsgrundlag for materialestrømme og LCA'erne.

I *kapitel 5* præsenteres resultaterne for materialestrømme for konventionel og træbaseret byggeskik ved betragtningsperioder på 60 og 100 år.

I *kapitel 6* præsenteres LCA-resultaterne for miljø- og klimapåvirkningerne for betragtningsperioder på 60 og 100 år.

I *kapitel 7* præsenteres fortolkning og diskussion af resultater

2 LIVSCYKLUSVURDERING

2.1 Konsekvens-LCA

Livscyklusvurdering er en metode, der undersøger og opgør emissioner og ressourcer fra alle inkluderede aktiviteter i et produktsystem. Dette opgøres med reference til en funktionel enhed, der definerer den ydede funktion af det studerede produktsystem. En LCA består overordnet set af fire trin: 1) Formål og afgrænsning, 2) kortlægning af livscyklus (på engelsk life cycle inventory, LCI), 3) vurdering af miljøpåvirkninger (på engelsk life cycle impact assessment), 4) fortolkning. I dette studie foretages en konsekvens-LCA, der har til formål at vurdere de miljømæssige konsekvenser ved en ændring i efterspørgsler. Dette gør konsekvens-LCA ved at vurdere de kausale aktiviteter på verdensmarkederne. Herefter vurderes hvordan LCA'ens resultater bedst muligt kan agere beslutningsstøtte. Der tages udgangspunkt i ISO 14044 (2008), ISO-standarden for LCA, men studiet er ikke i fuld overensstemmelse med denne.

Som hovedregel findes to typer LCA: Attributiv LCA og konsekvens-LCA. En attributiv LCA har til formål at kortlægge et system og dets historiske miljøpåvirkning. En konsekvens-LCA har derimod til formål at modellere konsekvenserne i en ændring i efterspørgsel, hvorfor fokus i stedet er på kausaliteter og de miljømæssige effekter, der opstår som konsekvens af en handling (Consequential-LCA, 2021). Derfor betragtes faktisk påvirkede leverandører via markedsmechanismer i stedet for gennemsnitlige leverandører som i attributiv LCA. Med faktisk påvirkede leverandører menes de leverandører, der vurderes til at respondere på ændringer i efterspørgsel på et givent materiale.

I konsekvens-LCA benyttes systemudvidelse til håndteringen af biprodukter. I systemudvidelse vurderes biprodukternes funktion på markedet, og substituerer en alternativ leverandør af lignende funktion på markedet (Consequential-LCA, 2021). I modsætning vil attributiv LCA ofte benytte allokering til at håndtere biprodukter, hvor den samlede miljøpåvirkning for aktiviteten fordeles på de forskellige outputs fx produkternes masse, økonomiske værdi eller energiindhold. Mere information om konsekvens-LCA kan læses på hjemmesiden: www.consequential-lca.org

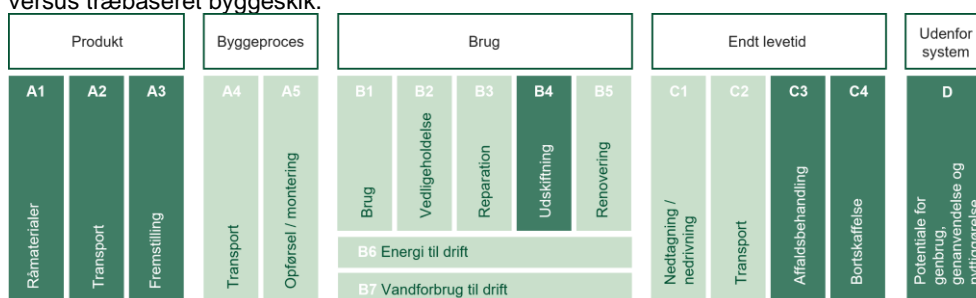
De to LCA-tilgange besvarer derfor forskellige spørgsmål. Attributiv LCA kan hjælpe med viden om den historiske miljøpåvirkning af et givent produkt baseret på normative allokeringsskemaer samt de direkte udledninger fra et produkt baseret på gennemsnits baggrundsdata f.eks. for energiforbrug. En konsekvens LCA er mere rettet mod beslutningsstøtte grundet dens kausale fokus på forventede ændringer i markedsmechanismerne. Derfor vil dette studie fokusere på de miljømæssige konsekvenser ved ændring i efterspørgslen på de relevante materialer benyttet i Danmarks fremtidige byggeri.

2.1.1 Formål og afgrænsning

I første trin af en LCA, formål og afgrænsning, fastsættes rammerne for den udførte LCA. Her defineres den funktionelle enhed for studiet, hvilket sikrer sammenlignelighed.

For dette studie er den funktionelle enhed defineret som 1 m^2 bruttoareal per år af den samlede bygnings betragtningsperiode. Det vil sige, at den gennemsnitlige mængde materiale per m^2 for hver bygning undersøges, samt at miljøpåvirkningen fra den samlede levetid deles ligeligt over hvert år bygningen er i brug. Herigennem kan bygninger ved forskellige betragtningsperioder sammenlignes.

Dette studie fokuserer udelukkende på materialeforbruget gennem bygningernes livscyklus. Det vil sige, at forskellige sekundære inputs relateret til byggebranchen, såsom arkitekt-ydelser, brug af maskineri, mm., ikke er medregnet. Der tages udgangspunkt i basisscenariet med konventionelt betonbyggeri. Dette betyder også, at scenariet med et skift til byggeskik med træ vurderes i forhold til basisscenariet, hvormed konsekvensen af dette skift i byggeskik også vurderes i forhold til basisscenariet. De inkluderede livscyklusfaser for studiet kan ses på figur 1. De øvrige livscyklusfaser antages ikke at påvirkes af beslutningen om konventionel versus træbaseret byggeskik.



FIGUR 1 De fremhævede moduler er de inkluderede livscyklusfaser i dette studie.

2.1.2 Identifikation af påvirkede leverandører i livscyklusen

Ved kortlægning af livscyklusen (trin 2 i faserne for LCA) identificeres de påvirkede leverandører af produkter, som indgår i byggeriets livscyklus. Det betyder at det undersøges hvilke markeder forskellige produkter handles på, samt hvilke leverandører på disse markeder, der forventes at respondere, når der opstår en ændring i efterspørgsel i det danske forbrug af de relevante materialer. Yderligere, vurderes det hvorvidt markedet for det givne materiale er globalt eller lokalt, hvorefter forskellige statistikker undersøges med henblik på at identificere den reelt påvirkede leverandør.

Baggrundsdatabase EXIOBASE v.3.3.16b2 er benyttet i dette studie. EXIOBASE er en global hybrid input-outputdatabase, der indeholder informationer om miljøpåvirkning fra forskellige produkter og services. En input-outputdatabase er en model over verdens handel i monetære enheder, f.eks. dollars, fordelt på sektorer og lande. Dette betyder den sammenkæder et lands produktion, import og eksport med alle dets handelspartnere, og derved dækker den hele den globale økonomi fordelt på sektorer som enhedsprocesser. En hybrid input-outputdatabase dækker over at sektorer i modellen med fysiske produkter, f.eks. cement, konverteres til fysiske enheder. Derved opretholdes masse- og energibevarelse.

Der arbejdes derfor ikke med cut-off (systemgrænse), hvilket betyder, at alt benyttet miljøinformation i baggrundsdatabase er baseret på data med høj kompleksitet uden nogle undladte inputs. Dette medfører en relativ høj grad af aggregering med mindre detaljering af enhedsprocesser (sektorer), hvorfor nogle EXIOBASE-sektorer repræsenterer et aggregeret udsnit af økonomien. Derfor karakteriseres input-output databaser som 'top-down', da der tages udgangspunkt i hele den globale økonomi på én gang.

Andre LCA-databaser er konstrueret 'bottom-up', hvor specifikke data er indsamlet på en række produkter, hvorfor man kan opnå en højere granuleringsgrad, men med en reduktion af kompleksitet (Schmidt and Austudillo, 2019). Derfor er fordelene ved input-output databaser deres fulde kompleksitet, mens deres ulempe er den lavere granuleringsgrad gennem

aggregerede sektorer. Desuden benytter EXIOBASE sig af substitution til håndtering af biprodukter i overensstemmelse med konsekvens-LCA principper.

En LCI-oversigt for hvordan materialer, emissionsfaktorer for klimapåvirkning ved skovbrug, og endt levetid er modelleret i EXIOBASE kan findes i Bilag 5.

Angående modellering af biprodukter benytter denne LCA sig af systemudvidelse via substitution, i overensstemmelse med ISO14044, hvorved balancer såsom massebalancer, energibalancer, osv. holdes intakt.

Bilag 5 inkluderer en LCI-oversigt, hvordan de forskellige materialer er forbundet med baggrundsdata-basen EXIOBASE. I tilfælde, hvor hybridprocesser er konstrueret, er disse vist i tabeller for sig. Desuden viser bilaget en oversigt over modelleringen af bortskaffelse.

2.1.3 Vurdering af miljøpåvirkninger

Ved tredje trin i LCA, vurdering af miljøpåvirkninger, udtrykkes alle emissioner (og andre flows), hvor alle miljøpåvirkningskategorierne har hver deres enhed repræsenterende den pågældende miljøpåvirkningskategori. I dette studie inkluderes en række miljøpåvirkningskategorier, men et særligt fokus er valgt på klimapåvirkning. Dette baserer sig på den kompleksitet, der er i at vurdere træs potentielle reducerende klimapåvirkningseffekt fra byggeriet gennem lagring af CO₂ over tid og det store politiske på klimaforandringer.

LCIA-metoden Stepwise2006 benyttes til at omregne emissioner og andre flows til relevante miljøpåvirkningskategorier. En nærmere beskrivelse af de inkluderede miljøpåvirkningskategorier kan læses i Bilag 7, mens en liste over dem følger her:

- Globalt opvarmningspotentiale
- Respiratoriske uorganiske stoffer
- Økotoksicitet, akvatisk
- Økotoksicitet, terrestrisk
- Naturbeslaglæggelse
- Forsuring
- Eutrofiering, akvatisk
- Eutrofiering, terrestrisk
- Respiratoriske organiske stoffer
- Fotokemisk ozondannelse, vegetation.
- Ikke-fornybar energi

Stepwise2006 benytter IPCC's GWP₁₀₀ karakteriseringsfaktorer til at beregne klimapåvirkning.

Der inkluderes en tidskorrigerende effekt for drivhusgasemissioner, som beregnes gennem en sammenligning i klimaeffekt mellem en udledning i år nul og en udledning på et senere tidspunkt, hvor begge udledninger arbejder inden for samme 100-års tidshorisont. GWP₁₀₀ er valgt, da det er den mest gængse klimaberegningsmetode, som også er benyttet i en lang række standarder heriblandt EN15804 for byggesektoren. En CO₂-emission på 1 kg i år 0 vil have en påvirkning på 1 kg CO₂-eq, mens samme emission i år 100 kun vil have en påvirkning på 0.921 kg CO₂-eq. Alle emissioner i år 100 eller senere har ingen klimaeffekt. Mere om denne tilgang er forklaret i Schmidt & Brandão (2013). Tidskorrigerende af drivhusgasemissioner er relevant, da timing af emissioner har aktuelle effekter. F.eks. har, ifølge IPCC (2014) forskellige dyre- og plantearter forskellige hastigheder de kan bevæge sig for at tilpasse ændringer i global temperatur. Siden kurven for ændring i global temperatur estimeres til at være stejlest i dag (IPCC, 2014), er det relevant at udsætte emissioner til fremtiden for at sænke hastigheden, hvorpå temperaturændringen sker, så f.eks. dyre- og plantearter bedre kan tilpasse sig ændringen. Samme tankegang kan generaliseres udover

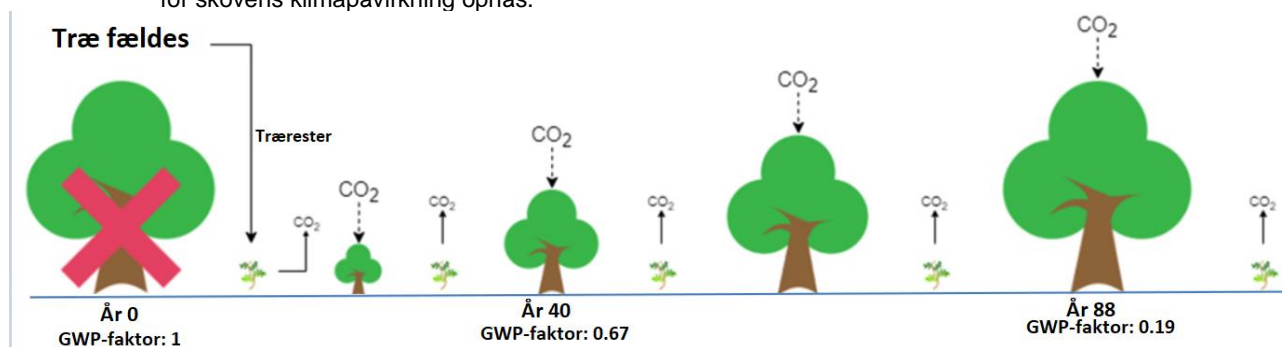
biodiversitet, da en sænkning af hastigheden, hvorpå temperaturændringer sker, medfører mere tid til klimatilpasning for verdens samfund.

2.2 Modellering af klimapåvirkninger fra træ

Når træ bruges i byggeriet, har det den egenskab, at der midlertidigt lagres kulstof i materialet over en længere periode. I takt med klimakrav i byggeriet (Bolig og planstyrelsen, 2023) er træ et ofte diskuteret materiale grundet træets evne til at lagre CO₂ midlertidigt og dermed forsinke klimapåvirkningerne, så længe træprodukterne befinder sig i bygningen. Derfor fokuserer dette studie på en detaljeret modellering af skovbrug for at kortlægge og tidskorrigere alle optag og udledninger af CO₂ i skoven.

2.2.1 Skovbrug

Når der efterspørges træ i byggeriet, bidrager det til et øget CO₂-optag, forudsat at der plantes et nyt træ i skoven. Når et træ fældes, og et nyt plantes, for at imødekomme den højere efterspørgsel på træ, efterlades kviste og grene i skoven, hvor denne analyse forudsætter at disse restprodukter langsomt bliver nedbrudt. Derfor vil effekten af at efterspørge træ være, at CO₂ langsomt udledes af restprodukterne fra det første træ, mens CO₂ langsomt optages i takt med at det næste træ vokser op over en årrække. Dette illustreres på figur 2 nedenfor. Fældningen af det næste træ hører ikke til livscyklussen for det originale træ til byggeriet, men derimod til det næste produkt, der i fremtiden efterspørges. Til at modellere denne effekt benyttes skovmodellen præsenteret i De Rosa et al. (2016b). Her sættes rotationstiden til 88 år, hvilket er repræsentativt for svensk grantræ (Schmidt and Dalgaard, 2016). Andre inputs i modellen er baseret på IPCC værdier for tempererede skove. Som illustreret på figur 2, er hvert optag og udledning af CO₂ tidskorrigeret, hvorigennem et samlet resultat for skovens klimapåvirkning opnås.



FIGUR 2. Effekten af at efterspørge træ. Restprodukter fra det originale træ vil langsomt nedbrydes og CO₂ udledes. Desuden vil det næste træ langsomt samle CO₂ ind i takt med det vokser. Hvert CO₂-optag og udledning er tidskorrigeret via modellen præsenteret i De Rosa et al. (2016b).

I savværket, ved produktion, opstår der restprodukter, såsom bark og savsmuld, og disse er modelleret via substitution. Her antages det, at disse restprodukter erstatter anden biomasse, i dette tilfælde cellulosetræ på det generelle marked for biomasse.

Da svenske skove producerer både tømmertræ og cellulosetræ antages en ændring i efterspørgsel på cellulosetræ at medføre en ændring i rotationstiden for høst af biomasse fra skoven. I dette studie er det modelleret som en svensk skov med den halve rotationstid (44 år). En oversigt over den tidskorrigerede CO₂-ækv. for alle skovmodeller kan ses i Bilag 5.

For hvert tidspunkt i bygningens levetid, hvor yderligere træ bliver efterspurgt til vedligehold af bygningen, vil samme skovbrugs-modellering blive anvendt, dog med den ændring at skoven vil plantes i det relevante år. F.eks. vil yderligere træ efterspurgt i år 30 medføre skovbrug, der starter i år 30, hvor samme grænse på 100 år bibeholdes.

2.2.2 Indirekte påvirkninger af arealanvendelse (iLUC)

Modelleringen af skovbrug til produktion af træ til byggeriet inkluderer at anvendelse af landareal til skovbrug i Sverige bidrager til at accelerere konvertering af natur til produktiv skov på globalt plan. Ifølge IPCC er 11% af globale drivhusgasemissioner forårsaget af CO₂-emissioner fra såkaldte *land use changes* (LUC), hvilket refererer til de globale ændringer i arealanvendelse, såsom afskovning af primær skov for at opnå yderligere produktivt land. Som konsekvens af en stigende efterspørgsel på træ til byggeriet naturskov blive inddraget til produktiv skov. Dette øgede pres på de globale skove medregnes som en af konsekvenserne ved en ændring i efterspørgsel på træ.

Omdannelse af naturskov til produktiv skov resulterer i en ændring i opbevaret kulstof på arealet, hvilket resulterer i CO₂ emissioner. Desuden har omdannelse af primær skov til produktiv skov implikationer for biodiversitet. Disse globale indirekte effekter kaldes *indirect land use changes* (iLUC). Modellen præsenteret i Schmidt et al. (2015) er benyttet til at beregne miljøpåvirkningen fra iLUC i dette studie. Modellen vurderer, hvilke lande der har været i stand til at bidrage med yderligere land, og identificerer dermed de fleksible producenter for nyt land. På den måde, kan påvirkningen på det globale marked for land beregnes, når yderligere land tages i brug, for eksempel til produktion af træ til byggeriet. På den måde bibeholdes den konsekvensorienterede tankegang, da de reelt påvirkede producenter af nyt land modelleres baseret på ovenstående logik.

Ovennævnte iLUC model er benyttet til en lang række LCA-studier¹ og er vurderet som bedste af seks LUC-modeller i De Rosa et al. (2016a). Modellen er integreret i den anvendte version af EXIOBASE.

2.3 Forventede påvirkede producenter ved ændret efterspørgsel

2.3.1 Markedsanalyse

Som en del af konsekvens-LCA'en undersøges markedet for de relevante materialer med henblik på at identificere de faktisk påvirkede producenter, når Danmark ændrer efterspørgslen på specifikke materialer. De udvalgte materialer til markedsanalyse er: Beton, træ, stål og ler, da disse alle udgør en betydelig mængde af de samlede materialer i scenarierne.

Til identificering af faktisk påvirkede producenter vurderes først om markedet er globalt eller geografisk begrænset. Dernæst undersøges, indenfor disse rammer, hvilke producenter, der har set en stigende produktion over tid. Disse produkter kan vurderes til at være de mest konkurrencedygtige på markedet, og dermed vil være i bedst position til at respondere på en ændring i markedsefterspørgslen.

Stål

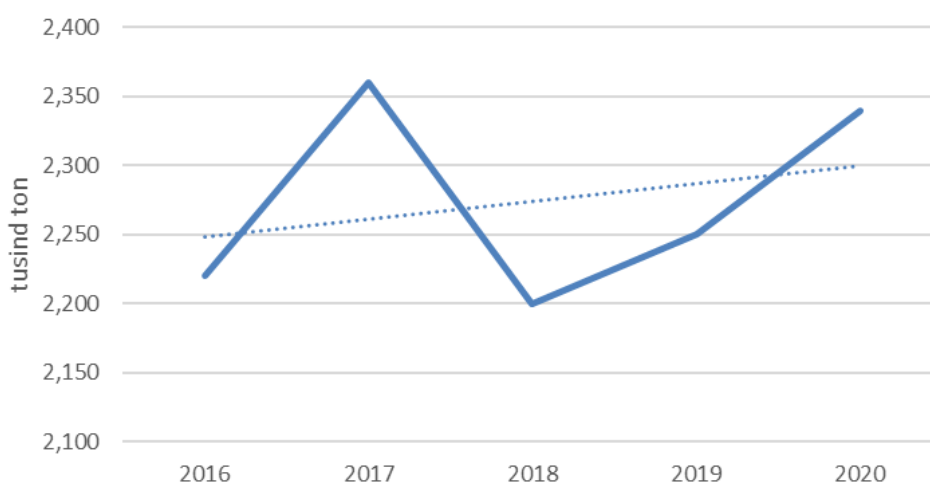
For stål undersøges det globale marked for stålproduktion. Stålindustrien i Kina er kraftigt stigende, mens stålproduktion i resten af verden er faldet over tid (VisualCapitalist, 2020). Kina udgør nu over 50% af verdens produktion af stål og er vokset enormt siden årtusindeskiftet. Derfor vurderes det, at stålindustrien i Kina er den mest konkurrencedygtige producent af stål, og at stålmarkedet er globalt. En ændring i efterspørgslen på stål påvirker derfor den kinesiske produktion, som angiveligt har skruet sin produktion op i takt med at verdens behov for stål er steget.

¹ En liste af eksempler kan ses på: <https://lca-net.com/projects/show/indirect-land-use-change-model-iluc/>

Derudover udarbejdes en følsomhedsanalyse, hvor stål fra Tyskland er den påvirkede producent. Dette resultat kan afspejle et scenarie, hvor Danmark betaler ekstra for stål fra f.eks. Europa, hvorfor stålindustrien i Europa igen kan vokse. Her er Tyskland valgt som eksempel, da de historisk set har været den største producent af stål i Europa.

Beton

For beton vurderes de forskellige materialer, der indgår i beton: Cement, sand og grus. Grundet deres relativt lave værdi per kg vurderes materialerne til at være et geografisk afgrænset marked, hvor producenter og kunder ligger geografisk tæt på hinanden. I Danmark findes en stor cementindustri i form af Aalborg Portland. Her undersøges potentialet for udvikelse af denne industri til at imødekomme fremtidigt behov for cement i Danmark. Det ses på figur 3, at dansk cementproduktion har en stigende tendens på trods af udsving, hvorfor det vurderes, at Danmark er i stand til at øge sin produktion for at imødekomme stigende efterspørgsel.



FIGUR 3. Dansk cementproduktion fra 2016-2020.

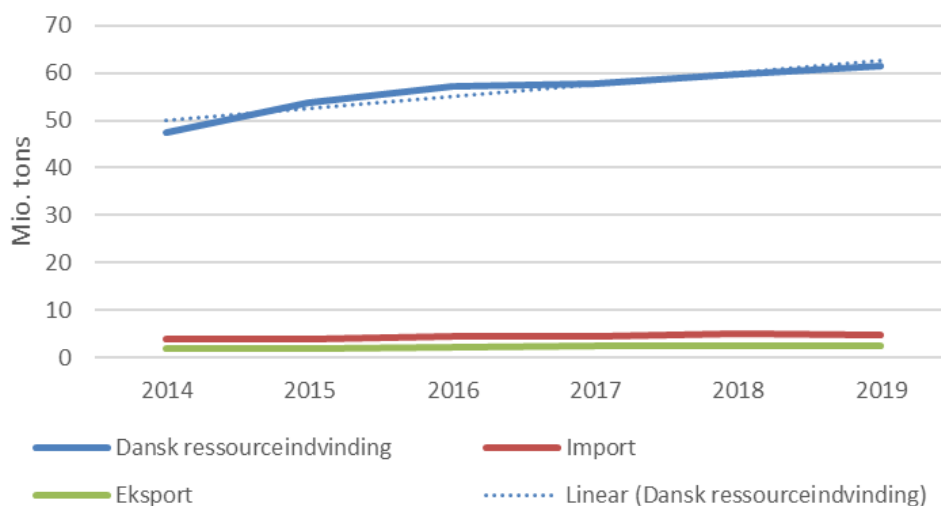
Derudover undersøges eksportmarkedet for cement i Danmark, da Aalborg Portland har stort eksport af cement (Aalborg Portland, 2019). Det ses på tabel 3, at grå cement primært produceres til dansk brug, mens hvid cement (cement med høj styrke) eksporteres ud af Danmark. Derfor vurderes det, at en øget efterspørgsel på grå cement til beton i Danmark vil medføre yderligere dansk produktion af grå cement. Denne antagelse blev fremvist til ikke at være følsom for de endelige resultater.

TABEL 3. Cementproduktion i Danmark der hhv. anvendes nationalt, eksporteres til EU og uden for EU. Den røde markering viser at grå cement i højere grad produceres til dansk forbrug end hvid cement. Data fra Aalborg Portland (2019).

	Udenfor EU		Indenfor EU		DK	
	Cement (tons)	CO ₂ (tons)	Cement (tons)	CO ₂ (tons)	Cement (tons)	CO ₂ (tons)
Hvid	299.269	353.137	397.398	468.930	58.314	68.811
Grå	30.482	23.288	293.834	224.489	1.258.938	961.829
Total	329.751	376.425	691.232	693.419	1.317.252	1.030.640

Da Danmark også i stigende grad importerer cement, og siden Danmarks produktion af cement har store udsving, vises et resultat for tysk cement som del af følsomhedsanalysen i Bilag 6. Dog vil resultaterne for scenariet med et skift til træ stadig antage et fald i dansk produktion af cement. Dette er antaget, da den samlede reduktion i betonmateriale-mængder vil være så stor, at den danske cementindustri påvirkes markant uanset.

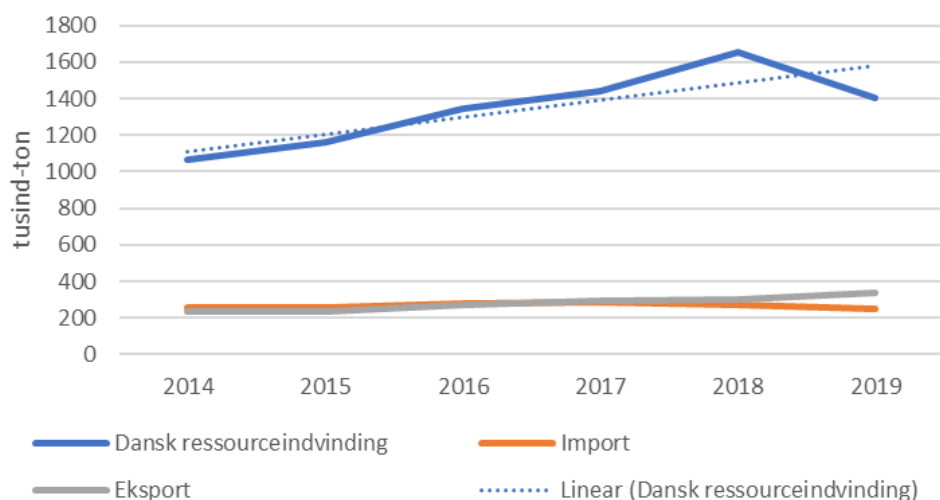
Samme procedure følges i forbindelse med sand og grus. Ved hjælp af Danmarks Statistiks materialestrømsregnskaber identificeres det på figur 4, at Danmarks produktion af disse råstoffer har en stigende tendens. Samtidig ses det i statistikken, at både import og eksport af materialerne er stabile. Derfor vurderes det, at importeret sand og grus, dvs. udenlandske producenter, ikke vil respondere på den stigende efterspørgsel i Danmark ved konventionel byggeskik. Samtidig viser den stabile eksport, at stigningen i dansk produktion ikke har bidraget til en stigning i eksport, hvorfor den danske produktion derimod går til dansk forbrug. Dermed er der ikke tegn på at Danmark mangler sand og grus, hvorved national produktion vurderes at være den påvirkede leverandør. Grundet den meget lave klimapåvirkning fra denne sektor i EXIOBASE vurderes dette ikke til at være en følsom antagelse for de samlede resultater.



FIGUR 4. Materialestrømsregnskab for sand og grus.

Ler

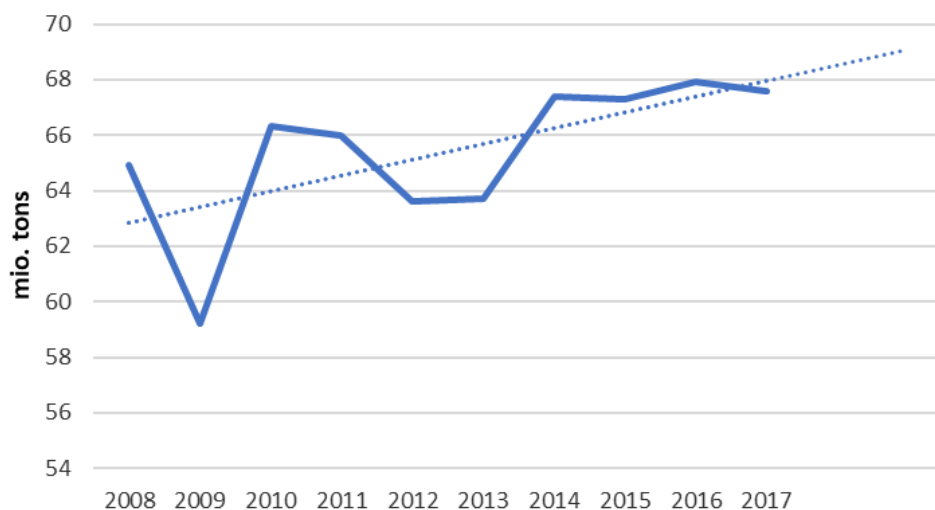
På figur 5 ses fra Danmarks Statistiks materialestrømsregnskab for ler. Det observeres igen, at den danske produktion stiger markant, mens import og eksport er relativt stabile. Derfor vurderes det, at Danmark er den påvirkede leverandør ved ændringer i efterspørgslen på ler.



FIGUR 5. Materialestrømsregnskab for ler.

Træ

Markedet for træ er geografisk begrænset (Pizzol and Scotti, 2016), hvilket betyder, at ændringer i efterspørgsel på træ forårsager lokale leverandører til at respondere. Derfor undersøges det danske marked for industrielt træ. På baggrund af FAOSTAT data ses det, at Danmark importerer over 90% af sit forbrug af træ. Det mest repræsenterede land for dansk import er Sverige (FAO, 2020), hvor der også ses den største stigning i produktion over tid, (se figur 6). På baggrund af dette antages Sverige at være den påvirkede leverandør, når efterspørgslen på træ stiger i Danmark. Det noteres også, at Sverige har store mængder ikke-produktiv skov til rådighed, hvilket betyder, at de har mulighed for at udvide produktionen (FAO, 2020). Identificeringen af Sverige som påvirket leverandør for træ stemmer med andre lignende studier, som Pizzol & Scotti (2016) og Schmidt & Dalgaard (2016).



FIGUR 6. Svensk produktion af industrielt træ (FAO, 2020).

3 PROGNOSE FOR BYGGEAKTIVITET

3.1 Metodebeskrivelse

Adskillige metoder for fremtidsprognoser er publiceret i litteraturen (Makridakis *et al.*, 2008) og anvendt til at forudsige materialestrømme ved fremtidig byggeaktivitet (Müller, 2006; Sandberg *et al.*, 2014; Fishman *et al.*, 2016; Marinova *et al.*, 2020; Huuhka and Kolkwitz, 2021; Li *et al.*, 2022). At vælge en passende metode afhænger imidlertid af flere faktorer, men i de fleste tilfælde har resultaterne ubetydelige forskelle, når der anvendes flere alternative prognosemetoder til at afdække fremtidig aktivitet (Armstrong, 2001). I forbindelse med tids-serier, data over en tidsperiode, der indeholder trend-komponenter og sæsonvariation-komponenter, anses Holt-Winters-metoden (Hyndman, R. J. and Athanasopoulos, 2021) for at være en anvendelig og robust tilgang til modellering af prognoser. En trend-komponent repræsenterer den gennemsnitlige tendens over en lang periode. For eksempel kan byggeaktiviteten over en årrække skiftevis stige og falde fra år til år, men den gennemsnitlige tendens vil bevæge sig i en given retning over perioden. Sæsonvariant-komponenten repræsenterer kalenderrelaterede effekter på kurven, hvilket kan være aspekter ifm. naturlige forhold som vinter, sociokulturelle som helligdage (der skifter fra år til år), ferier eller administrative forhold, der alle kan influere data fra år til år i prognosen.

Afhængigt af tidsseriernes dataformat og -struktur kan Holt-Winter-metoden være enten i en multiplikativ eller additiv variant. I litteraturen anbefales Holt-Winters-metodens multiplikative variant for sæsonvariation-komponenter, der ændrer sig proportionalt med dets level-komponent. Level-komponenten er en gennemsnitlige værdi (f.eks. byggeaktivitet) over en given periode, som ændrer sig for hver tidsenhed (fx år). For eksempel vil den historiske udvikling af byggeaktiviteten i Danmark sjældent være helt ens over en årrække, så efterhånden som byggeaktiviteten ændrer sig, vil den årlige level-komponent ændre sig. En række årlige level-komponenter aggregeres til trend-komponenten, som kan være opadgående, nedadgående eller konstant.

Holt-Winters additive variant anbefales når sæsonvariation-komponenterne er konstante (Hyndman, R. J. and Athanasopoulos, 2021). Holt-Winters additive model er velegnet til dette studie, da sæsonvariant-komponenten for de bygninger, der er opført i de senere år i Danmark. Ifølge Holt-Winters' additive model er prognoseværdien \hat{y}_{i+h} af forventede nyopførte bygninger for h fremtidige perioder (år) en funktion af glatning for niveau-komponenten u_i , trend-komponenten v_i , og sæsonvariation-komponenten s_i . Glatning betyder, at hvis de oprindelige data i tidsserien er ufuldkommene, så tilnærmes datapunkterne ved funktionen.

$$\hat{y}_{i+h} = u_i + hv_i + s_{i+h-ch'} \quad (1)$$

hvor: c er sæsonvariation-komponentens længde; og h' er heltallet for $(h - 1)/c$.

Zaiontz (2020) har udviklet et Excel-formatværktøj, der anvendes i dette studie til at lave prognosen for fremtidig byggeaktivitet baseret på den historiske udvikling. De aggregerede arealer for hver bygningstypologi, der er opført i Danmark, er tilgængelige i den nationale database fra Danmarks Statistik tabel BYGV01 for perioden 1982-2021 (Danmarks Statistik, 2023).

4 CASESTUDIER

4.1 Oversigt over casestudier

I dette studie er anvendt tre bygningstypologier, enfamiliehuse, etageboliger, og kontorbygninger, som undersøges nærmere ift. deres forventede fremtidig byggeaktivitet og de materialemængder og -typer som de består af. De tre bygningstypologier undersøges ved to overordnede scenarier for byggeskik nemlig den nuværende tilgang (konventionel byggeskik) og en mere træbaseret byggeskik. Der er tilfældigt udvalgt tre casestudier for hver bygningstypologi indenfor hvert af de to, hvilket resulterer i 18 casestudier i alt.

Data i casestudierne er fra eksterne projekter, der alle er færdigprojekteret inden for de sidste ti år i Danmark. Casestudierne er valgt tilfældigt blandt BUILDs tilgængelige casebygninger for ikke at bevidst at skævvridenogle bestemte konstruktionstyper af henholdsvis konventionel og træbaseret byggeskik. Materialemængdeopgørelserne for hvert casestudie er indhentet af BUILD ud fra udleverede bygningsmodeller, tegninger og materialemængdeudtræk. Forventede levetider af anvendte materialer i casestudierne følger BUILD rapporten fra Aagard et al. (2013). Detaljeret information om materialemængder for hvert casestudie og de gennemsnitlige casestudier kan ses i Bilag 1 og bilag 2. Casestudierne indgår også i SBI 2020:04 (2020) og BUILD 2023:10 (2023).

Dette er et indledende studie, så stikprøven på tre casestudier per bygningstypologi vil aldrig kunne repræsentere konventionelt og træbaseret byggeskik i fuldt omfang. Ligeledes er de forskellige casestudier ikke eksakt homogene mht. systemafgrænsninger og egenskaber. Dette skal dermed ses som en væsentlig begrænsning ved studiet. Derfor er den tilfældigt udvalgte casestudietilgang anvendt, da forskellige karakteristika dermed ikke bevidst skævvrides (bias). Samtidig bidrager de tre casestudier for hver typologi til homogenisering af et fiktivt gennemsnitligt casestudie, der til en vis grad udjævner forskelligheder mellem hvert enkelt casestudie. Opførsel af træbyggeri i Danmark stadig i de tidligere stadier, hvormed forudsigelse af, hvilke fremtidige bygninger der er repræsentative for dansk træbyggeri, er forbundet med stor usikkerhed. Tilgangen i nærværende studie dermed også tilgået ud fra et forsigtighedsprincip. Det er derfor vigtigt at være opmærksom på studiets resultater er specifikke for casestudierne.

For at give et bedre overblik over hvad bygningstypologierne består af er de opdelt i bygningsdele og materialekategorier med inspiration fra Soust-Verdaguer et al. (2023). De forskellige bygningsdele er kategoriseret som følgende.

- *Fundament*
- *Terrændæk*
- *Ydervægge*
- *Indervægge*
- *Etagedæk*
- *Tag*
- *Søjler & bjælker*
- *Balkon*
- *Trappe*
- *Vinduer & døre*
- *Tekniske installationer*

- *Solpanel*
- *Dræning*
- *Andet*

Materialerne er yderligere opdelt i forskellige kategorier og anvendes til en overordnet beskrivelse af casestudierne (figur 7):

- *Beton (inkluderer cementholdige materialer, sand, sten og grus)*
- *Biobaseret materiale*
- *Metal*
- *Naturlige aggregater*
- *Isolering*
- *Teglsten*
- *Andet*

En anden og mere opdelt kategorisering af materialer er anvendt ifm. materialestrømsanalyserne for de forskellige casestudier:

- *Beton (inkluderer cementholdige materialer, sand, sten og grus (tilslag))*
- *Biobaseret materiale*
- *Naturlige aggregater*
- *Isolering*
- *Teglsten*
- *Gips*
- *Mørtel*
- *Stål*
- *Bitumen/tagpap*
- *Aluminium*
- *Glas*
- *Maling*
- *Plastik*
- *Andre materialer*

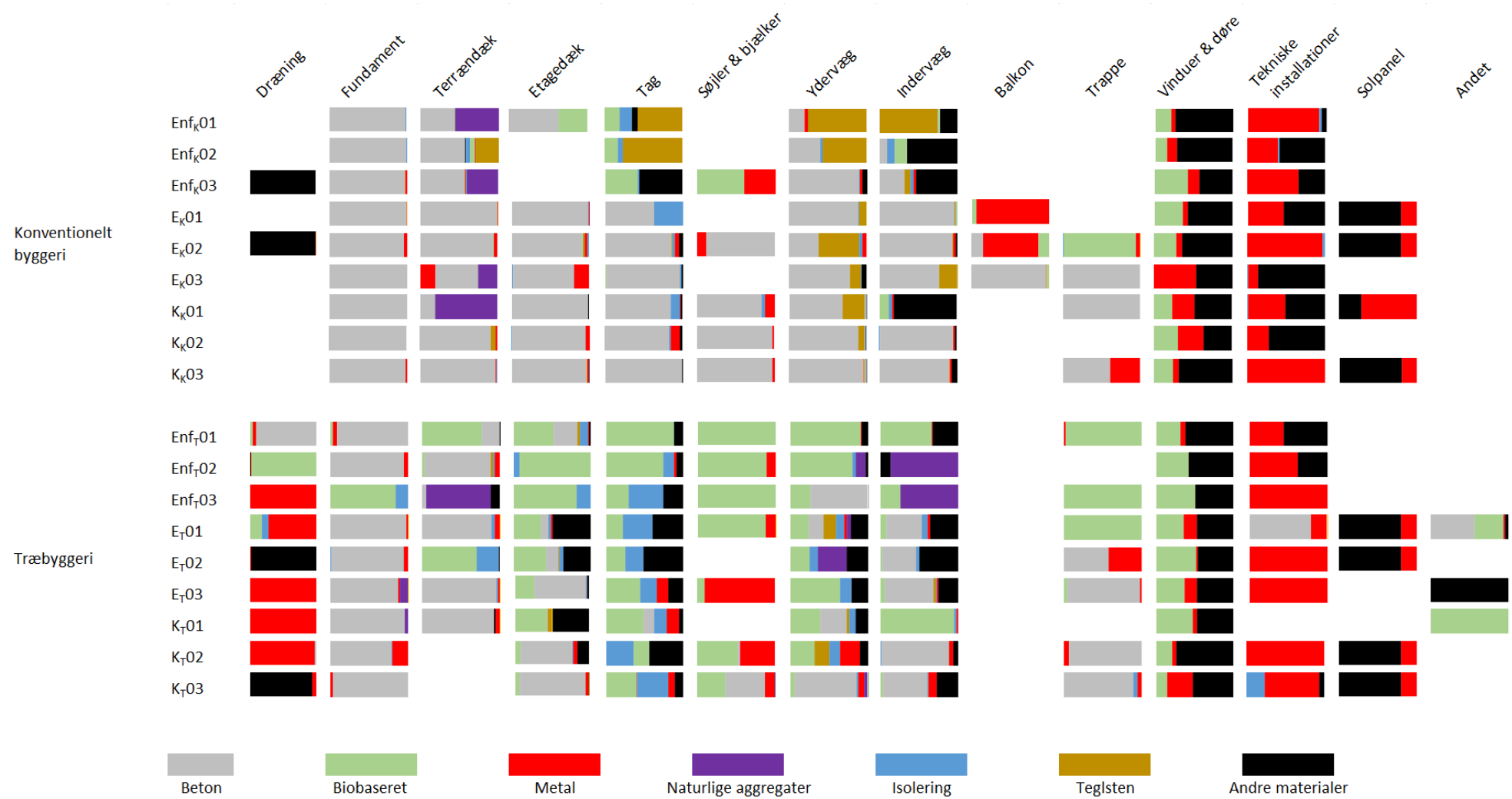
figur 7 giver et overblik over hvordan indholdet af materialer er fordelt på bygningsdele for de forskellige casestudier for hhv. konventionel byggeskik og træbaseret byggeskik. Det skal nævnes at der for enfamiliehuse i træ kun er de anvendte casestudier tilgængelige. De anvender en del alternative materialer og er derved ikke forventet at være særligt repræsentative for træbyggeri for enfamiliehuse. Fundamenter består hovedsageligt af beton for både konventionelt og træbyggeri. Et casestudie ifm. enfamiliehusene består dog primært af biobaseret materiale grundet brug af punktfundament. Der anvendes også en smule mere metal og naturligt aggregat i træbyggeri. Terrændæk følger til dels i samme spor som fundament for begge byggeskikke ift. at have beton som det primære anvendte materiale. For nogle enkelte konventionelle casestudier udgør naturlige aggregater og metal dog også en betydelig andel. For to træbaserede casestudier er biobaseret materiale det mest anvendte for terrændæk og et enkelt anvender primært naturlige aggregater.

I sammenligningen af konventionelt og træbyggeri er billedet væsentligt anderledes for bygningsdelene ydervægge, indervægge, etagedæk, tag, søjler og bjælker. For konventionelt byggeri er beton stadigvæk det primære anvendte materiale i disse bygningsdele. Dog er metal lidt oftere anvendt i disse bygningsdele, end det er i konstruktionen af fundament og terrændæk. Et enkelt enfamiliehus har også en væsentlig andel af biobaseret materiale anvendt i taget og ifm. søjler og bjælker.

For træbyggeri fremgår det til gengæld, at en væsentlig mængde af biobaseret materiale anvendes i de ovennævnte bygningsdele. Derudover udgør isolering en

betydeligere andel af de anvendte materialekategorier, hvor det især gælder for tage. For enfamiliehus Enf12 og Enf13 er indervæggene fortrinsvis lavet af naturlige aggregater, hvilket er unikt for disse casestudier, hvor det mindre gængse naturmateriale ler (naturligt aggregat) er anvendt. For to af kontorbyggerierne i træ indgår stål som en del af de bærende konstruktioner, hvilket kan påvirke resultaterne.

Generelt set på tværs af de to byggeskikscenarier giver vinduer, døre og trapper anledning til store forskelle i anvendte materialer. De tekniske installationer består primært af metal i træbyggerierne, mens det for konventionelt byggeri inkluderer en større andel af materialer fra kategorien andet.



FIGUR 7. Overblik over materialekategorier fordelt på bygningsdele for de anvendte casestudier for konventionel byggeskik (øverst) og byggeskik i træ (nederst), hvor der for hver bygningstypologi er benyttet tre casestudier for hver af de to typer byggeskikke. Fordelingen er baseret på mængde (kg/m²). Enf=enfamiliehus, E=Etageboliger, K=Kontor, _k=konventionelt byggeri, _r=træbyggeri. Se Bilag 1 for mængder for hvert casestudie.

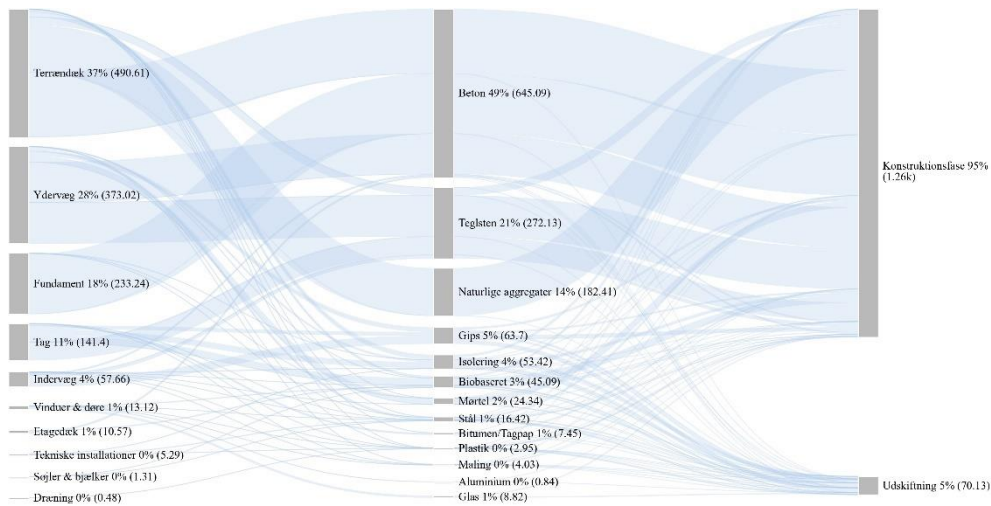
4.2 Konventionel byggeskik

I det følgende gennemgås den gennemsnitlige materialestrøm forbundet med de tre bygningstypologier for de to byggeskikscenarier baseret på de udvalgte case studier. Materialestrømmene er fordelt på hele bygningen over betragtningsperioden og gradvist opdelt på bygningsdele, materialekategorier og om materialerne forbruges i produktionsfasen eller ved udskiftning. For hver bygningstypologi er materialemængden vurderet ud fra to betragtningsperioder på 60 og 100 år. Betragtningsperioden på 60 år er valgt i stedet for 50, da det er tættest på den reelle levetid for bygninger, særligt for kontorbygninger (Häfliger *et al.*, 2017; Andersen and Negendahl, 2023)². Betragtningsperioden på 100 år er medtaget for at analysere hvad valget af betragtningsperiode betyder for materialestrømmene og miljøpåvirkningerne. Derudover er den reelle levetid for enfamiliehuse og etageboliger også tættest på betragtningsperioden på 100 år (Häfliger *et al.*, 2017; Andersen and Negendahl, 2023). De to forskellige betragtningsperioder som et variansstudie. Herunder præsenteres først materialestrømme for betragtningsperioder på 60 år og 100 år for konventionelt byggeri af enfamiliehuse, etageboliger og kontorbygninger. Herefter følger samme analyse for træbaseret byggeskik.

4.2.1 Enfamiliehuse

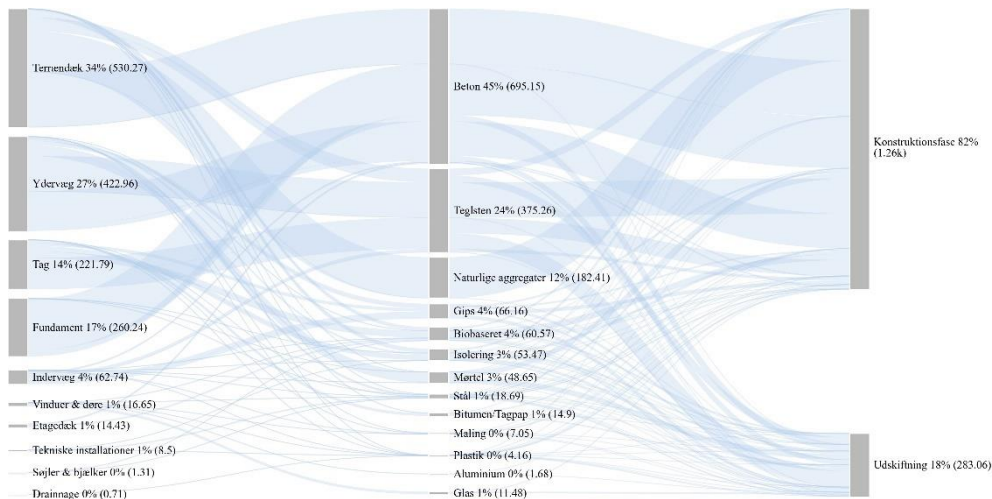
Enfamiliehuse inkluderet i dette studie har en materialemængde per areal på 1330 kg/m² ved en 60-årig betragtningsperiode som vist på figur 8, hvoraf tre bygningsdele udgør 83% af materialemængden, nemlig terrændæk (37%), ydervægge (28%) og fundament (18%). Den største bidragsyder på materialeniveau er beton med 49%, hvor majoriteten af forbruget er relateret til de tre fornævnte bygningsdele. Teglsten og naturlige aggregater bidrager også til en væsentlig del af materialemængden med hhv. 21% og 14%. Fundamentet består næsten udelukkende af beton, mens terrændæk fordeler sig på beton og tilslag. Ydervæggene har majoriteten af materialemængden fordelt mellem beton og teglsten, mens en væsentlig del af teglstensmaterialemængden også relaterer sig til tagkonstruktionen. Størstedelen af materialerne (95%) forbruges ifm. produktionen af byggematerialerne i fase A1-A3. Det resterende forbrug forekommer ifm. udskiftninger i fase B4 løbende i betragtningsperioden.

² Levetiderne i studiet er baseret på nedrevne bygninger og derfor repræsenterer levetiderne ikke hele bygningsmaterialemængden, hvilket kan anses som et konservativt estimat af levetiden.



FIGUR 8. Materiemængder (kg/m²) og materiemængdeandel (%) for konventionelt byggede enfamiliehuse fordelt på bygningsdele, materialekategorier, opførelse og udskiftning ved en 60-årig betragtningsperiode.

For en 100-årig betragtningsperiode har det gennemsnitlige enfamiliehus en materiemængde på 1540 kg/m², hvilket er ca. 200 kg/m² mere end ved 60 år (figur 9). Materiemængden anvendt til opførelse er uændret, men derimod giver flere udskiftninger i løbet af levetiden et forøget forbrug sammenlignet med 60 år. Den procentvise andel af materiale aftager for terrændæk, ydervæg og fundament, men materialeforbruget stiger i absolutte materiemængder. I absolutte tal er det især tagkonstruktionen der forøges fra 141 kg/m² til 222 kg/m² grundet en større materiemængde teglsten skal udskiftes ved den længere betragtningsperiode, som samtidigt har en stor densitet. På materialesiden er tilslagsforbruget uændret, det totale betonforbrug stiger en smule, hvor det imidlertid er teglstensmængden der ændrer sig mere betydningsfuldt ifm. udskiftninger til 375 kg/m² (24%). Forbruget af mørtel, tagpap og aluminium medfører ca. en fordobling i absolutte materiemængder ved den 100-årige betragtningsperiode.

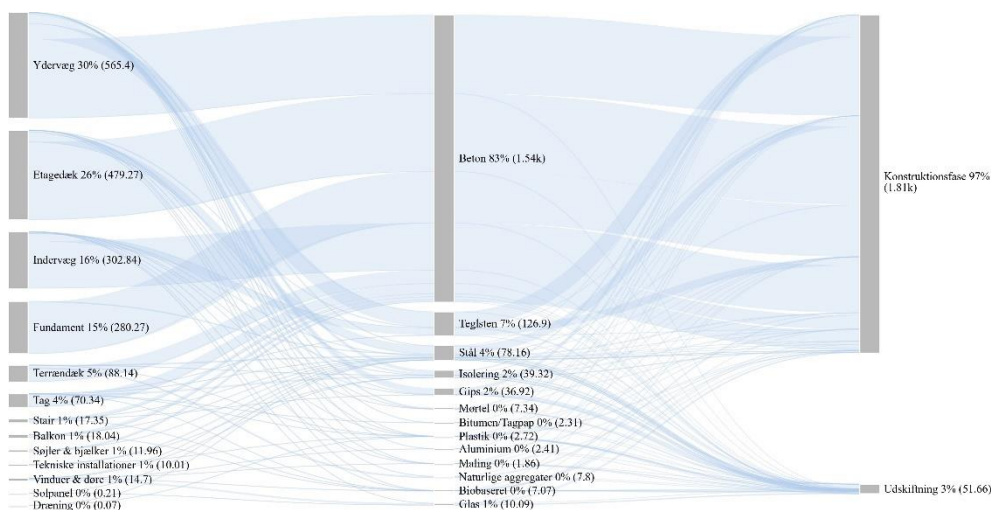


FIGUR 9. Materiemængder (kg/m²) og materiemængdeandel (%) for konventionelt byggede enfamiliehuse fordelt på bygningsdele, materialekategorier, opførelse og udskiftning ved en 100-årig betragtningsperiode.

4.2.2 Etageboliger

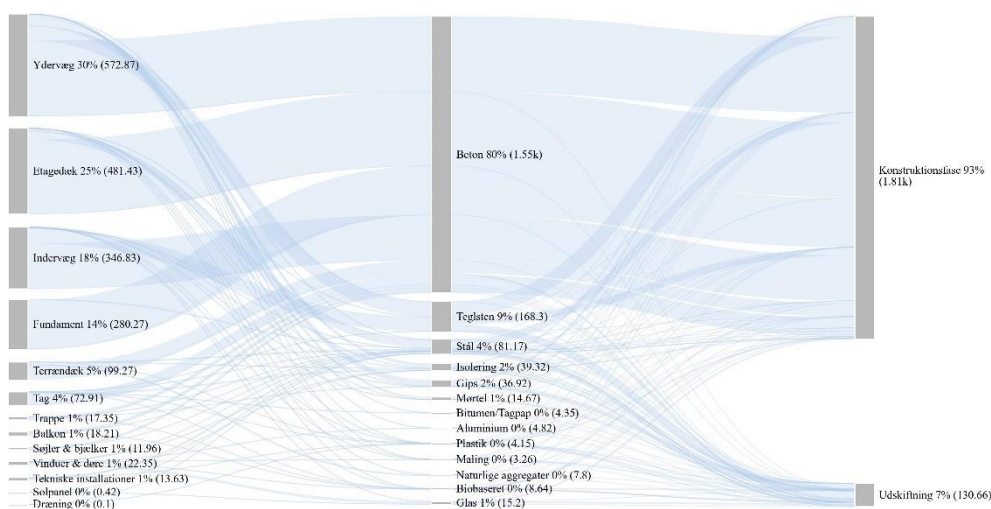
For etageboliger er den totale materiemængde 1860 kg/m², når der ses på en 60-årig betragtningsperiode, hvor figur 10 viser at ydervægge (30%), etagedæk (26%), indervægge (16%) og fundament (15%) udgør 87% til sammen. Det største materialeforbrug for de fire bygningsdele er forbundet med beton, der for hele bygningstypen udgør 83% af

materiemængden. Herefter følger teglsten med 7% og stål med 4%. Tilslag udgør nu en begrænset andel af den samlede materiemængde. 97% af materialerne anvendes ved opførslen og de resterende 3% forbruges ved udskiftninger i løbet af 60 år.



FIGUR 10. Materiemængder (kg/m²) og materiemængdeandel (%) for konventionelt byggede etageboliger fordelt på bygningsdele, materialekategorier, opførsel og udskiftning ved en 60-årig betragtningsperiode.

For en 100 års betragtningsperiode er den totale materiemængde vokset fra 1860 til 1940 kg/m² som vist på figur 11. Stadig med en nærmest identisk relativ fordeling på ydervægge, etagedæk, indervægge og fundament. Den største ændring i samlet materiemængde blandt disse fire bygningsdele er indervægge, som øges fra 302 til 346,8 kg/m². Derudover øges især forbruget af døre og vinduer fra 15 til 22 kg/m². Betonforbruget forbliver tilnærmelsesvist uændret og udgør derfor 80%, da anvendelsen af teglsten, mørtel, glas og aluminium forøges ifm. den større antal udskiftninger. Aluminium udgør nu 7% af materialeforbruget i produktionsfasen. Den længere levetid ved 100 år medfører plausibelt at flere materialer behøver udskiftning i løbet af betragtningsperioden.

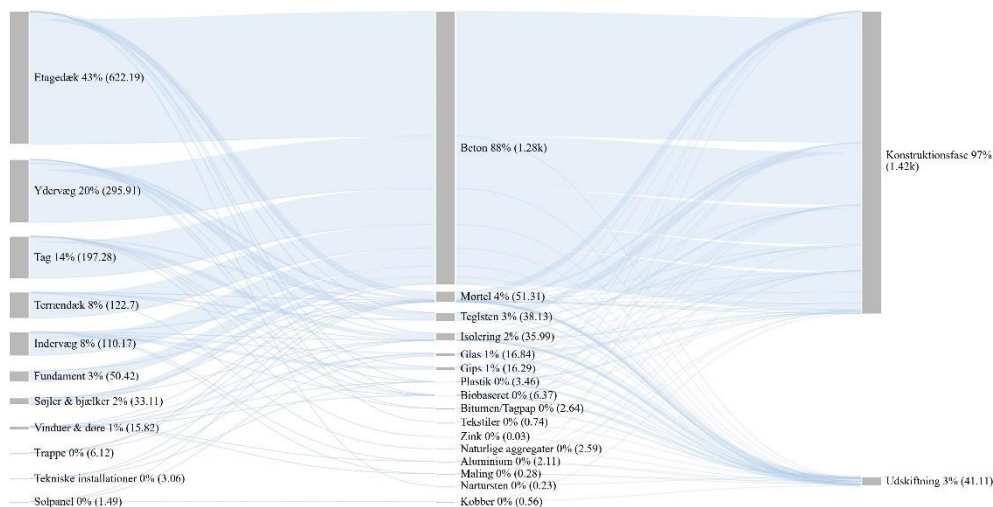


FIGUR 11. Materiemængder (kg/m²) og materiemængdeandel (%) for konventionelt byggede etageboliger fordelt på bygningsdele, materialekategorier, opførsel og udskiftning ved en 100-årig betragtningsperiode.

4.2.3 Kontorbygninger

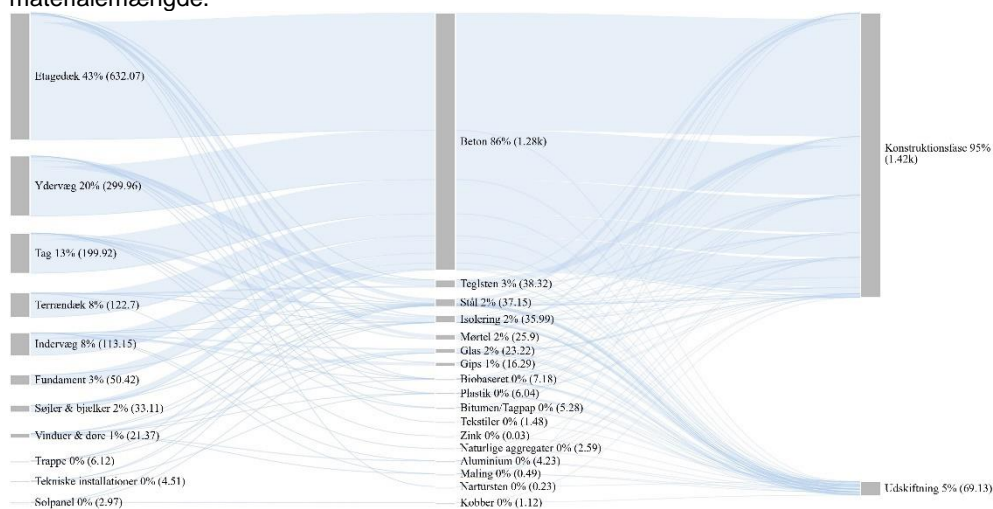
En gennemsnitskontorbygning i dette studie vil ved en 60-årig betragtningsperiode have en materiemængde på 1460 kg/m². figur 12 demonstrerer at etagedækket med 43% udgør med afstand største andel af materiemængden blandt bygningsdelene. Herefter følger

ydervægge (20%), tagkonstruktion (14%), terrændæk og indervægge (begge 8%). Betonforbruget udgør 88% af den samlede materialemængde, mere end for enfamiliehuse og etageboliger relativt set, men mindre i absolutte materialemængder end for etageboliger grundet den lavere totale materialemængde for kontorer. Herefter udgør teglsten 3%, stål og isolering hver 2%. Fordelingen af forbruget på opførelse og udskiftning er 97% og 3%.



FIGUR 12. Materialemængder (kg/m²) og materialemængdeandel (%) for konventionelt byggede kontorbygninger fordelt på bygningsdele, materialekategorier, opførelse og udskiftning ved en 60-årig betragtningsperiode.

Kontorbygningen set i en 100-årig betragtningsperiode medfører en begrænset forøgelse af materialemængde fra 1460 til 1490 kg/m² sammenlignet med de to andre bygningstyper (se figur 13). Derfor forekommer heller ikke større ændringer i materialestrømmene vedrørende de fem tungeste bygningsdele, hverken i absolutte materialemængder eller relativ andel af materialemængden. Vinduer og døre, tekniske installationer og solceller har den største stigning af materialemængde pga. udskiftninger undervejs i betragtningsperioden. Udskiftningsandelen er vokset fra 3% til 5%, og dermed udgør opførelsesfasen 95% af den samlede materialemængde.



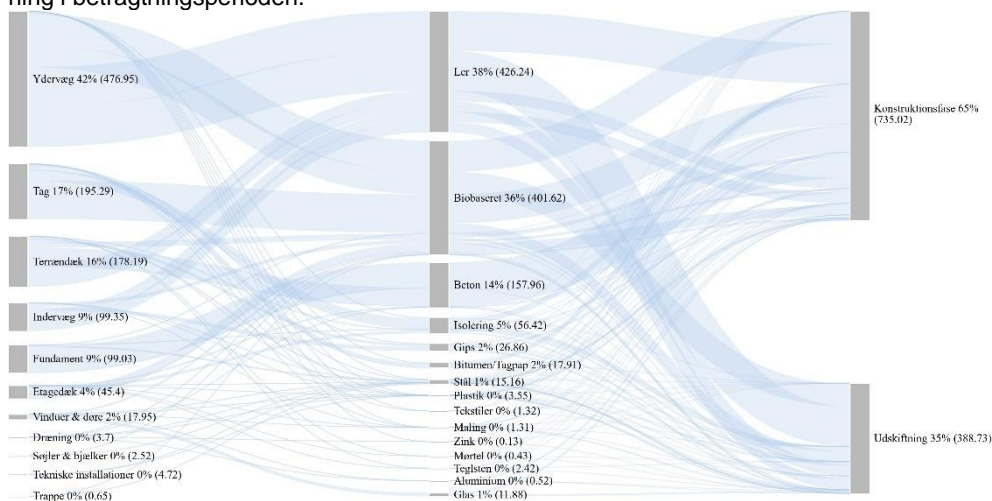
FIGUR 13. Materialemængder (kg/m²) og materialemængdeandel (%) for konventionelt byggede kontorbygninger fordelt på bygningsdele, materialekategorier, opførelse og udskiftning ved en 100-årig betragtningsperiode.

4.3 Træbaseret byggeskik

Herunder præsenteres materialestrømme for bygningstypologierne ved en ændring af byggepraksis til at anvende mere træ, baseret på casestudierne i træ. Betragtningstiderne er ligeledes 60 og 100 år.

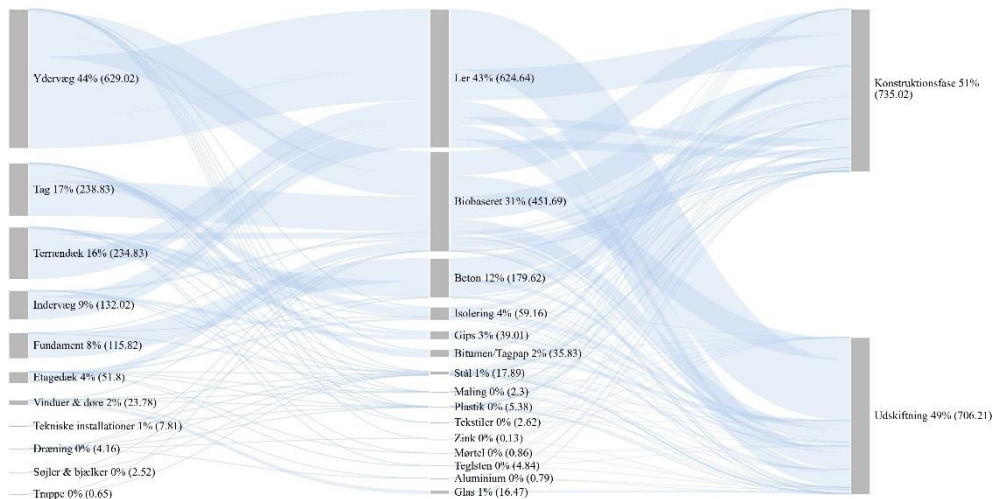
4.3.1 Enfamiliehuse

Enfamiliehuse i træ har et forbrug af materialer 1120 kg/m^2 som vist på figur 14. Terrændæk i enfamiliehuse i træ udgør 16%, mens ydervægge optager den største andel med 42% og med en mængde på 477 kg/m^2 , hvilket skyldes mængden af ler, grundet den begrænsede tilgængelighed af andre casestudier. Tagkonstruktionen har en andel på 17%, mens indervæg og fundament begge bidrager med 9% af den totale mængde. Ler er nu det mest anvendte materiale (38%), da to af enfamiliehusene udgøres af mindre gængse byggematerialer som tidligere deklareret i afsnit 4.1 grundet det begrænsede antal casestudier. Det er vigtigt at bemærke, at der er tale om ler og ikke teglsten (brændt ler) og at denne type konstruktionsopbygning afviger fra de mest udbredte former for træbyggeri. Dette ville derfor være væsentligt at undersøge yderligere ved fremtidige studier. Betons andel udgør 14% og biobaserede materialer udgør 36%. Materiale mængden er hovedsageligt anvendt til opførelse med 65%, hvor en større del af forbruget dog også relaterer sig til udskiftningsfasen. Det er særligt teglsten og til dels de biobaserede materialer der medfører udskiftning i betragtningstiden.



FIGUR 14. Materiale mængder (kg/m^2) og materiale mængdeandel (%) for enfamiliehuse ved byggepraksis med træ fordelt på bygningsdele, materialekategorier, opførelse og udskiftning ved en 60-årig betragtningstid.

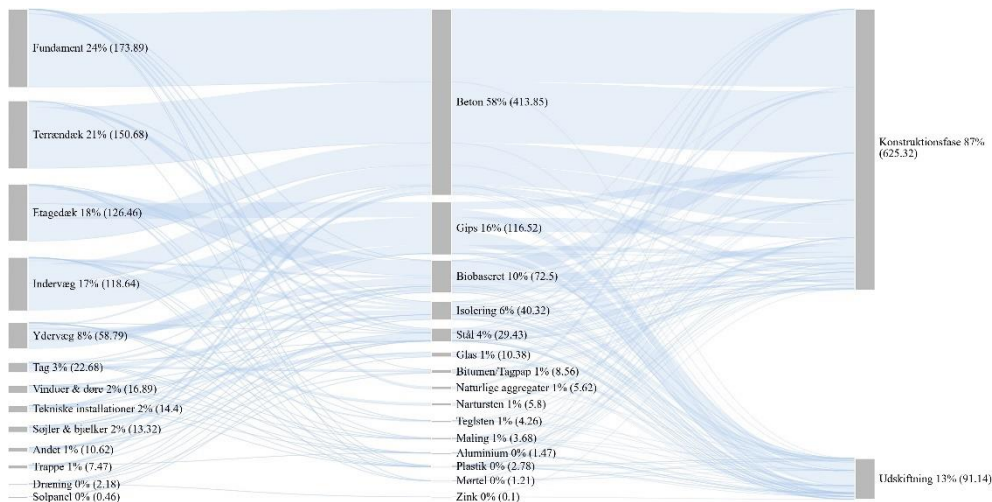
Evaluering af enfamiliehusene i en 100-årig betragtningstid, som vist på figur 15, viser et øget materialeforbrug på 320 kg/m^2 i forhold til en 60-årig betragtningstid, hvor ydervæggene forøger deres mængde med 155 kg/m^2 og udgør 44%. Derudover er der også en stigning i mængder fordelt på tagkonstruktion, terrændæk, indervægge og fundament, der dog ikke ændrer særligt på deres andel af den samlede bygningsmateriale mængde. En stor del af lermaterialet er associeret med ydervæggene og den totale mængde vokser til 43% og med ca. 200 kg/m^2 i forhold til en 60-årig betragtningstid. Biobaserede materialer forøges med ca. 50 kg/m^2 , men den samlede andel aftager til 31%. Betonmængden forøges også en smule i absolutte mængder, samtidig med at andelen af den totale mængde er lidt aftagende. Materialeforbruget ifm. udskiftninger i en 100-årig betragtningstid øges til at udgøre 49% af materialeforbruget, hvor en stor del af udskiftningen især er ler og til en vis grad biobaserede materialer.



FIGUR 15. Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) for enfamiliehuse ved byggepraksis med træ fordelt på bygningsdele, materialekategorier, opførsel og udskiftning ved en 100-årig betragtningsperiode.

4.3.2 Etageboliger

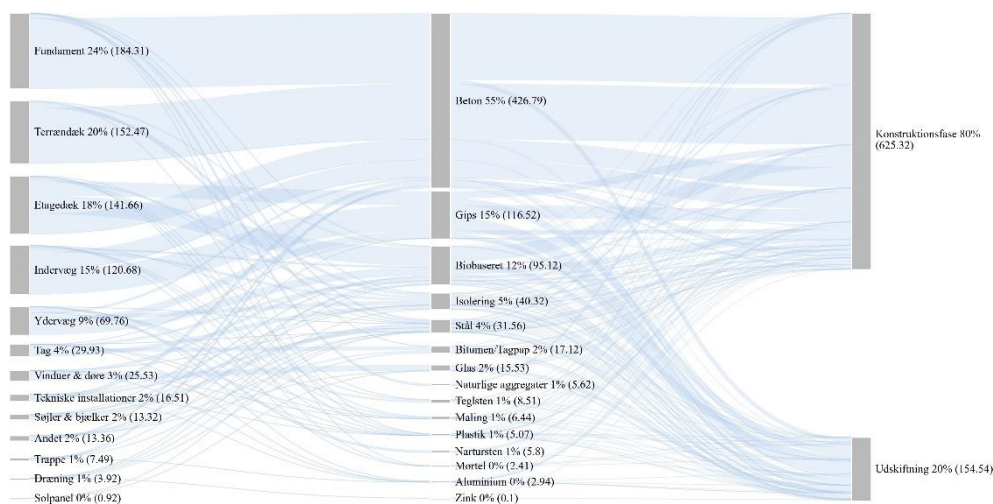
For etageboliger er den samlede materiale-mængde materiale 717 kg/m² for en betragtningsperiode på 60 år (se figur 16), hvilket er 404 kg/m² mindre end for enfamiliehuse i træ. Dette indikerer en større materiale-effektivitet for etageboliger, der dermed forbruger mindre materiale per areal. 78% af materiale-forbruget er relateret til fire bygningsdele nemlig fundament (24%), terrændæk (21%), etagedæk (18%) og indervægge (17%). Beton (58%) udgør majoriteten af materiale-forbruget efterfulgt af gips (16%), biobaserede materialer (10%) og isolering (6%). Det er, sammenlignet med enfamiliehusene, en betydelig forskel i materiale-mængde-fordelingen på materialekategorierne gips og isolering, der udgør en større andel, og ler en mindre andel i etageboligerne. Her ses at udskiftning udgør 13% af materiale-forbruget og dermed udgør produktionen af materialer til opførsel 87%, hvilket er væsentligt forskelligt fra enfamiliehuset. Det er særligt gips, biobaserede produkter og stål der skal udskiftes i betragtningsperioden.



FIGUR 16. Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) for etageboliger ved byggepraksis med træ fordelt på bygningsdele, materialekategorier, opførsel og udskiftning ved en 60-årig betragtningsperiode.

Etageboliger set i en 100 års betragtningsperiode øger materiale-forbruget med ca. 63 kg/m² iff. 60 år (se figur 17). Det medfører ikke nævneværdige ændringer i, hvor stor en andel

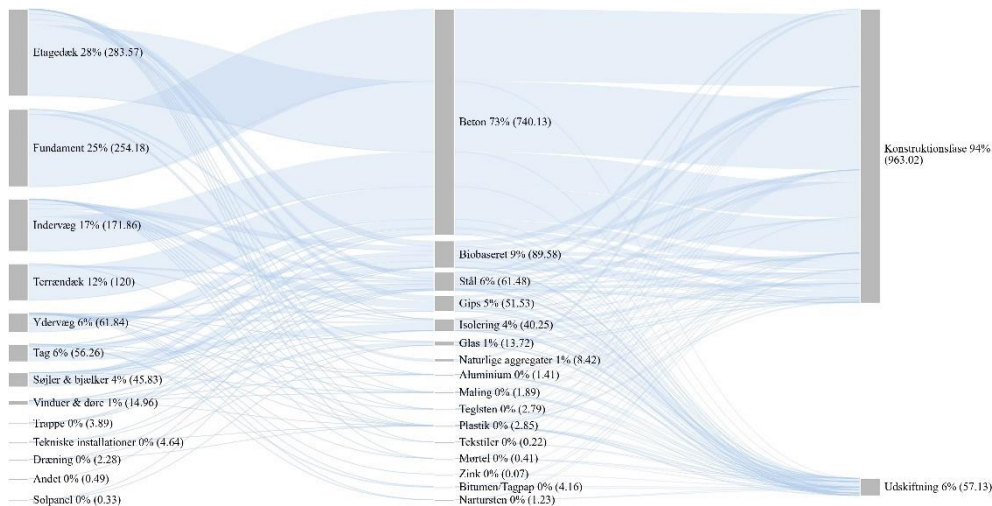
som de fire mest materialetunge bygningsdele udgør, selvom deres total materialeforbrug vokser en smule hver især. Den store relative ændring er for vinduer og døre, og solceller, der stadig udgør en mindre samlet materialemængde. På materialesiden er det de biobaserede materialer, der forøges materialemængde med 23 kg/m². De udgør nu 12% i stedet for 10%, sammenlignet med en 60-årig betragtningsperiode. Forbruget af bitumen, teglsten og glas stiger relativt meget, men de absolutte materialemængder er stadigvæk i den lavere ende. Dette medfører at udskiftning af materialer nu udgør 20% af den samlede materialemængde, hvilket igen tilskrives biobaserede, gips (dog uændret fra 60 år) og stål.



FIGUR 17. Materialemængder (kg/m²) og materialemængdeandel (%) for etageboliger ved byggepraksis med træ fordelt på bygningsdele, materialekategorier, opførsel og udskiftning ved en 100-årig betragtningsperiode.

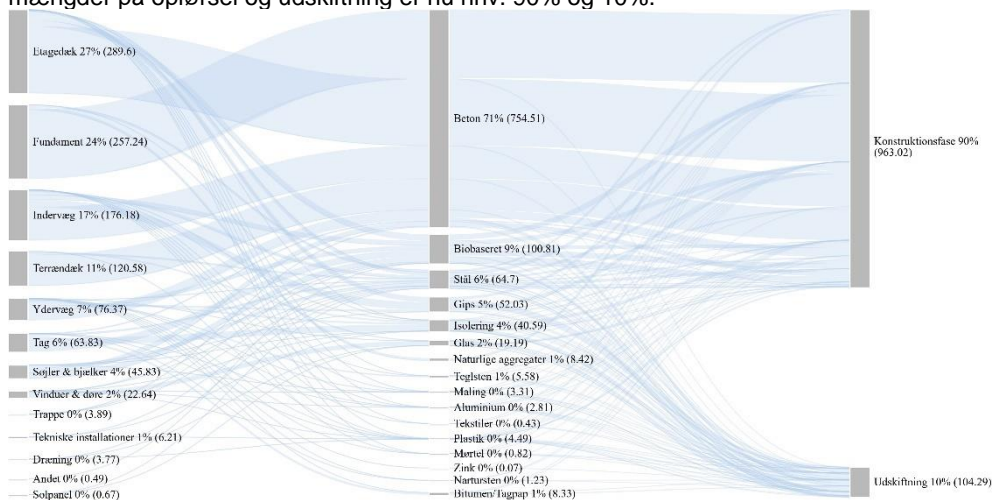
4.3.3 Kontorbygninger

Materialemængden for kontorbygninger ligger mellem materialemængden for enfamiliehuset og etageboliger med 1020 kg/m² set over en 60-årig betragtningsperiode. figur 18 viser at 82% udgøres af fire bygningsdele nemlig etagedæk med 28%, fundament med 25%, inder-vægge med 17% og terrændæk med 12%. Det er de samme fire bygningsdele som for etageboliger, men dog med en anden rangering. Beton er på trods af træbygningen stadig det materiale med størst forbrug og anvendes primært til de førnævnte fire bygningsdele. Biobaserede materialer har en materialemængde lignende etageboliger, mens stål nu udgør en andel på 6% og gips på 5%. Langt størstedelen af materialeforbruget er ifm. opførslen og 6% forekommer ved udskiftninger i løbet af levetiden.



FIGUR 18. Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) for kontorbygninger ved byggepraksis med træ fordelt på bygningsdele, materialekategorier, opførsel og udskiftning ved en 60-årig betragtningsperiode.

Et kig på kontorbygningen over en 100-årig betragtningsperiode viser en stigning i materialeforbrug på 50 kg/m² sammenlignet med 60 år. De fire mest bidragende bygningsdele til det samlede materialeforbrug er som ved en 60 års periode (se figur 19). Ydervægge har den største forøgelse i materiale-mængde fra 62 til 76 kg/m², mens vinduer og døre også resulterer i en relativ stor stigning, men materiale-mængdernes samlede andel er stadig begrænset til et lavere bidrag. Beton udgør majoriteten af materialeforbruget med 71%, hvortil der forekommer en lille stigning i den samlede materiale-mængde. Dette er ligeledes gældende for biobaserede materialer, stål og gips. Glass har en relativ stor ændring, men den absolutte materiale-mængde er beskedent ift. samlede materiale-mængde for kontorer. Fordelingen af materiale-mængder på opførsel og udskiftning er nu hhv. 90% og 10%.



FIGUR 19. Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) for kontorbygninger ved byggepraksis med træ fordelt på bygningsdele, materialekategorier, opførsel og udskiftning ved en 100-årig betragtningsperiode.

4.4 Forskelle mellem konventionel og træbaseret byggeskik

I de følgende afsnit beskrives forskellen mellem konventionel og træbaseret byggeskik for de tre typologier enfamiliehuse, etageboliger og kontorbygninger. Forskellene beskrives for den

totale mængde, per bygningsdel, per materialekategori, og fordelingen mellem produktionsfase og udskiftninger. I tabel 4 vises de overordnede forskelle i mængder fordelt på Produktionsfase og udskiftning for bygningstypologierne ved hhv. konventionelt og træbaseret byggeri.

TABEL 4 Oversigt over mængder fordelt på produktionsfase og udskiftninger for de tre bygningstypologier ved betragtningsperioder på 60 og 100 år ved hhv. konventionel og træbaseret byggeskik. Tallet i parentes er den totale mængde i kg/m². Enf=enfamiliehuse, E=etageboliger, K=kontorbygninger, Konv=konventionel byggeskik, Træ=træbaseret byggeskik.

Typologi		Produktion (A1-A3)				Udskiftning (B4)				Total	
		Konventionel		Træbaseret		Konventionel		Træbaseret		Konv	Træ
		Andel	kg/m ²	Andel	kg/m ²	Andel	kg/m ²	Andel	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²
Enf	60 år	95%	1260	65%	735	5%	70	35%	389	1330	1129
	100 år	82%	1260	51%	735	18%	283	49%	706	1543	1441
E	60 år	97%	1810	87%	625	3%	52	13%	91	1862	721
	100 år	93%	1810	80%	625	7%	131	20%	155	1941	770
K	60 år	97%	1420	94%	963	3%	41	6%	57	1461	1010
	100 år	95%	1420	90%	963	5%	69	10%	104	1489	1067

4.4.1 Enfamiliehuse

Ses nærmere på forskellene mellem enfamiliehuse bygget ved konventionel og træbaseret byggeskik, for både en 60 og 100-årig betragtningsperiode, er den overordnede mængde den første afvigelse som fremkommer. Den træbaserede tilgang resulterer i et mængdeforbrug på 210 kg/m², hvilket er 100 kg/m² mindre end for konventionelt byggeri ved 60 og 100 år.

Kiggens på bygningsdelene udgør terrændæk og fundament en mindre andel i træbyggeri med 42% ved 60 år og 44% ved 100 år. Ydervægge har ligeledes en større mængde end i konventionelt byggeri med ca. 104 kg/m² og 206 kg/m² mere mængde for hhv. 60 og 100 år. Dette skyldes anvendelsen af ler, der har en betydelig densitet. For konventionelt byggeri udgør ydervægge en mindre andel end for træbyggeri, men det er stadig rangeret som den næst tungeste bygningsdel. Bemærkelsesværdigt har indervægge i træbyggeri omtrent dobbelt mængde (kg/m²) sammenlignet med konventionelt byggeri, hvilket skyldes anvendelsen af ler, som har en høj densitet. Dette er en væsentlig usikkerhed ift. fremtidige byggerier i træ grundet den begrænsede tilgængelighed af casestudier.

Mængden af beton og teglsten udgør væsentligt mindre del i træbaseret byggeri, hvor særligt betons andel på 14% for en 60-årig betragtningsperiode betyder at betonmængden er ca. 75% mindre end ved konventionelt byggeri. Biobaserede materialer og ler udgør majoriteten af materialerne for den træbaserede byggeskik, hvilket for biobaserede materialer betyder en syv gange større mængde ved en 100-årig betragtningsperiode.

En stor forskel mellem de to byggeskikke er mængden relateret til udskiftninger, hvor det for både en 60 og 100-årig betragtningsperiode er størst ved træbyggeri med hhv. 35% og 49% mod konventionelt byggeris 5% og 18%. Derimod medfører træbaseret byggeri en mindre mængde i opførselsfasen både i absolutte mængder og i relativ andel sammenlignet med konventionel byggeskik for begge betragtningsperioder.

4.4.2 Etageboliger

Forskellen i mængde er væsentligt, når træbaseret og konventionel byggeskik sammenlignes. Den konventionelle byggeskik medfører signifikant større mængde, som er mere end 100% større for begge betragningsperioder. F.eks. er den totale mængde af træbaserede etageboliger ved en 60-årig betragningsperiode på 717 kg/m², hvilket totalt set er en mængde på 1144 kg/m² mindre end ved konventionelt byggeri. Dette betyder at samtlige af de tungere bygningsdele har en større absolut mængde ved konventionel byggeskik end ved træbaseret byggeskik. Da konventionelt byggeri vejer mere end træbyggeri totalt set, så vil den relative andel af de tungere bygningsdele være væsentligt mindre ved konventionelt byggeri end ved en træbaseret tilgang.

Fundament og terrændæk udgør derfor en mindre andel (i procent) af den samlede mængde ved konventionel byggeskik sammenlignet med træbaseret byggeskik. For træbaseret byggeskik er disse to bygningsdele dem med de største mængdeandele ved begge betragningsperioder. Ydervægge udgør omvendt en væsentligt mindre andel af træbyggeri sammenlignet med konventionelt byggeri. Etagedæk udgør også en større andel i konventionelt byggeri sammenlignet med træbyggeri.

Der er væsentligt større beton- og teglstensandel i konventionelt byggeri end træbyggeri, hvorimod der er væsentligt mere gips og de biobaserede materialer. Naturlige aggregater udgør for etageboliger en begrænset andel af den samlede mængde sammenlignet med enfamiliehusene for både konventionel og træbaseret byggeskik. For træbaserede etageboliger gælder det, ligesom for enfamiliehusene, at en væsentligt større andel af materialeforbruget er relateret til udskiftninger i betragningsperioderne.

4.4.3 Kontorbygninger

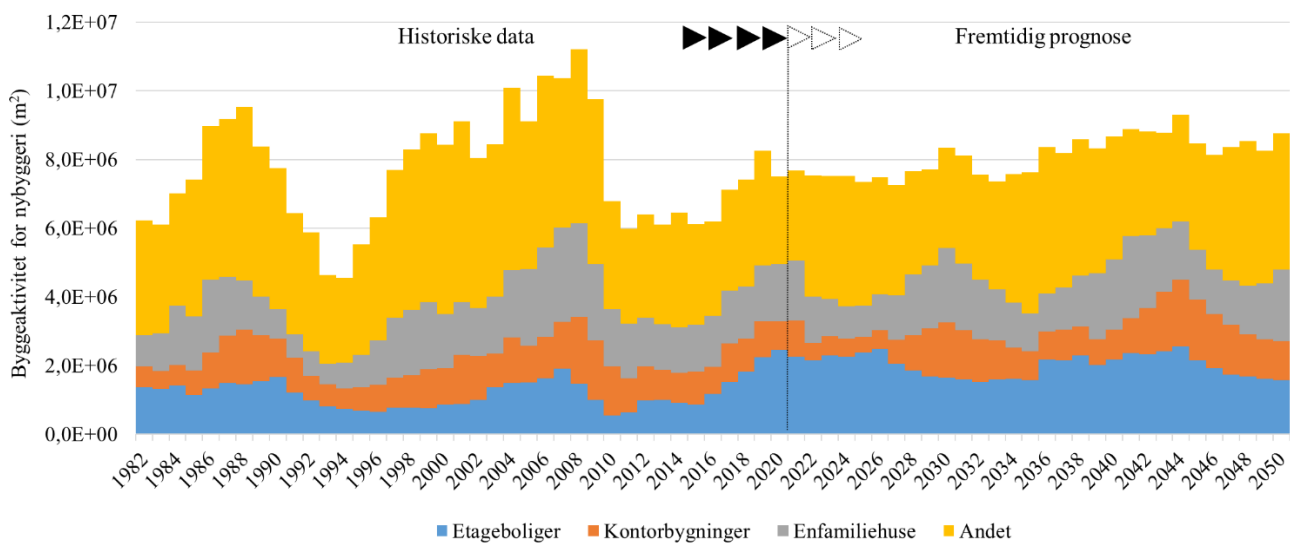
Mængden er også betydeligt forskellig for kontorbygninger, hvor den konventionelle byggeskik medfører den største mængde ligesom det gør for de to andre bygningstypologier. Træbaserede kontorbygninger i dette studie vil ved en 60-årig betragningsperiode have en mængde på 1460 kg/m², hvilket placerer kontorer tættere på enfamiliehuse end etageboliger ift. materialeeffektivitet.

Etagedæk den største bidragsyder for begge byggeskikke, men udgør en langt større andel for konventionelt byggeri end for træbyggeri. For konventionelt byggeri er ydervæg og tagkonstruktion de næststørste bidragsydere, hvorimod det er fundament og indervæg for træbyggeri.

Der er mere betonmængde i det konventionelle kontorbyggeri end i træbyggeri, men det udgør stadig mere end 70% ved begge byggeskikke. Udover beton er der et større forbrug af biobaserede materialer, stål og gips i træbyggeri end ved konventionelt byggeri. Teglsten udgør til gengæld en stor andel ved konventionel byggeskik. Andelen af materialeforbrug ved udskiftninger ved en 60 og 100 års betragningsperiode er for konventionelt byggeri 3-5% og for træbyggeri 5-10%.

5 FREMTIDIGE MATERIALESTRØMME FOR NYBYGAKTIVITET

Fremtidige tendenser for dansk nybyggeri for de tre bygningstypologier enfamiliehuse, etageboliger og kontorbygninger samt en resterende gruppe, andet byggeri, er vist på figur 20. Prognosen viser det historiske byggede areal (m²) fra 1982 til og med 2021 (Tabel BYGV01, Danmarks Statistik, 2023) og det forventede fremtidige areal fra 2022 til 2050 (egne beregninger baseret på tal fra Danmarks Statistik jf. afsnit 3). Ligeledes viser figur 79 det historiske og fremtidigt forventede areal som en andel af det samlede areal (i procent) for de tre bygningstypologier. Generelt viser prognosen at kontorbygninger vil udgøre det mindste bebyggede areal, derefter følger enfamiliehuse, og etageboliger forventes at udgøre den største efterspørgsel frem mod 2050 (se Bilag 1 figur 79). Det ses yderligere at de tre typologier følger og dermed svinger mellem høj- og lavcykluser for den historiske byggeaktivitet, hvilket dermed også tilnærmelsesvist er repræsenteret for fremtidig byggeaktivitet. Prognosen for fremtidig byggeaktivitet for de tre bygningstypologier tilsammen har en svag stigende tendens over den betragtede periode fra 2022-2050 dog med etageboliger værende nærmere en konstant. Materialestrømme betyder i denne rapport mængder over en tidsperiode.

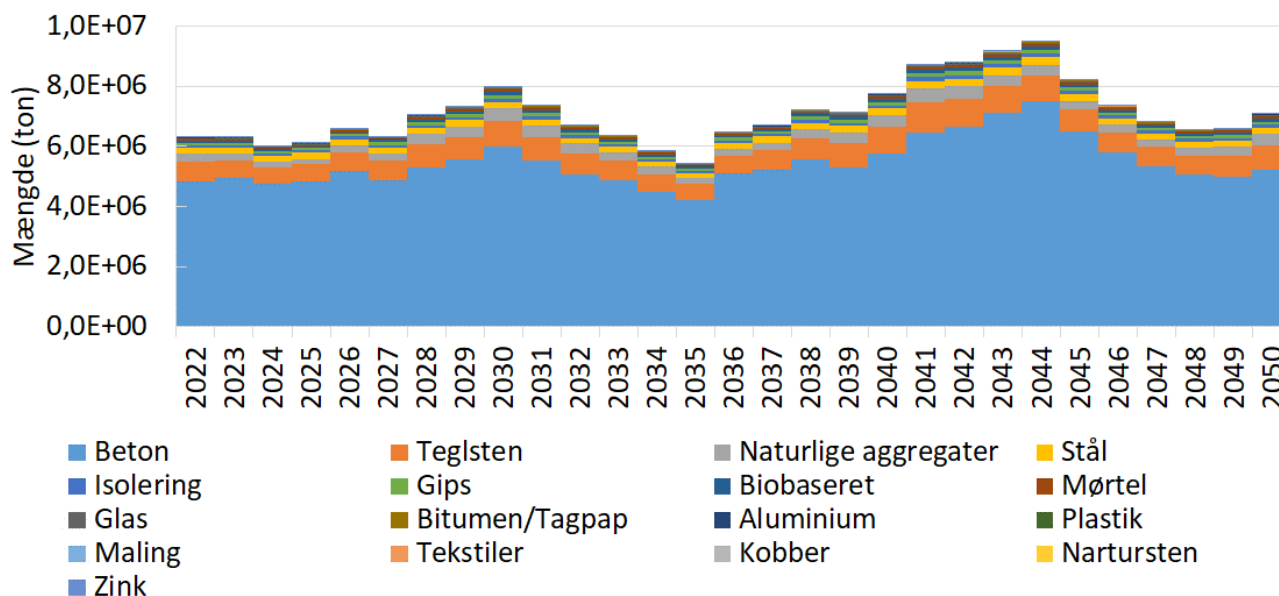


FIGUR 20. Historisk udvikling (1982-2021) og fremtidig prognose (2021-2050) for areal (m²) for enfamiliehuse, etageboliger og kontorbygninger og en kategori for resterende byggerier.

5.1 Materialestrømme ved øget konventionel byggeskik

Først forklares resultaterne for efterspurgte mængder i produktionsfasen (A1-A3) fra 2022-2050. Ved en tilgang til fremtidigt byggeri for de tre bygningstypologier med den nuværende byggepraksis, så udgør beton majoriteten af den fremtidige materialeefterspørgsel (se figur 21). Andelen af den samlede mængde viser også at dette er varierende mellem 70-80% (som vist i bilag 1 figur 80). Den nødvendige materialestrøm for tegl fremstår med en væsentligt mindre mængde end beton, men stadig mærkbart større end de andre

materialer. Stål og tilslag følger herefter, hvor de for nogle af de betragtede år resulterer i omtrent samme efterspørgsel, og for andre år vil tilslag udgøre en større mængde. Det er værd at bemærke at de nævnte materialer har en høj densitet sammenlignet med nogle af de andre materialer. Derfor kunne fordelingen have set anderledes ud ved f.eks. at opgøre materialemængderne i volumen.



FIGUR 21. Fremtidig prognose (2022-2050) for materialestrømme i tons for produktionsfasen ved konventionelt byggeri.

5.1.1 Materialestrømme ved udskiftninger i konventionelt byggeri for en 60-årig betragtningsperiode

For materialemængdeopgørelsen associeret til udskiftninger i brugsfasen (B4) for betragtningsperioden på 60 år (bilag 4 figur 82), vil udskiftningerne forekomme fra år 2036 pga. maling³. Herefter følger udskiftning af nogle stålmateriale i 2046 og plastik i 2049. Der begynder en større udskiftning af plastik, gips og især glas i 2061 for de førsteopførte bygninger, som herefter fortsætter for de efterfølgende opførte bygninger frem til år 2090, som svarer til udskiftning af de pågældende for de sidste opførte bygninger som er i år 2050.

Særligt i år 2071 forekommer den første store udskiftning af gips og isolering, hvor en mindre materialemængde biobaserede materialer og mørtel også skal udskiftes. Dette følger de efterfølgende år frem til år 2100, da det følger opførselsperioden 2022-2050 bare forskudt ift., materialelevetiden på 40 år. Efter år 2090 reduceres i mellemtiden udskiftning plastik og særligt glas, da de allerede én gang udskiftede materialer hermed har længere forventet levetid end den tilbageværende del af betragtningsperioden.

5.1.2 Materialestrømme ved udskiftninger i konventionelt Byggeri for en 100-årig betragtningsperiode

Ved at udvide betragtningsperioden til 100 år øges antallet af udskiftninger af materialerne, som det fremgår af bilag 4 figur 83. Det fremgår at udskiftning af biobaserede materialer øges, og at der forekommer udskiftning af teglsten og aluminium i årene 2081 til 2099, som følger intervallet for opførselsårene bare forskudt 60 år. Disse udskiftninger kan ikke ses ved en 60-årige betragtningsperiode. Årsagen er at betragtningsperioderne udmåles fra hvert byggeår

³ Ifølge EN15978 standarden tilhører maling fase B2, men der har været tradition i Danmark for at have maling med i B4 i LCA (fx i DGNB-certificering), så for at få den med i beregningerne er den med i B4 i dette studie.

mellem 2022-2050 for bygningstypologierne, så i scenariet med 60 års betragtningsperiode vil materialer med forventet levetid på nøjagtig 60 år ikke blive udskiftet. Disse materialer regnes til gengæld med ved en 100-årig betragtningsperiode, som medfører de øgede udskiftninger og materialeefterspørgsler benævnt før. Det betyder at en 60-årig betragtningsperiode markant reducerer efterspørgslen på materialer i denne analyse.

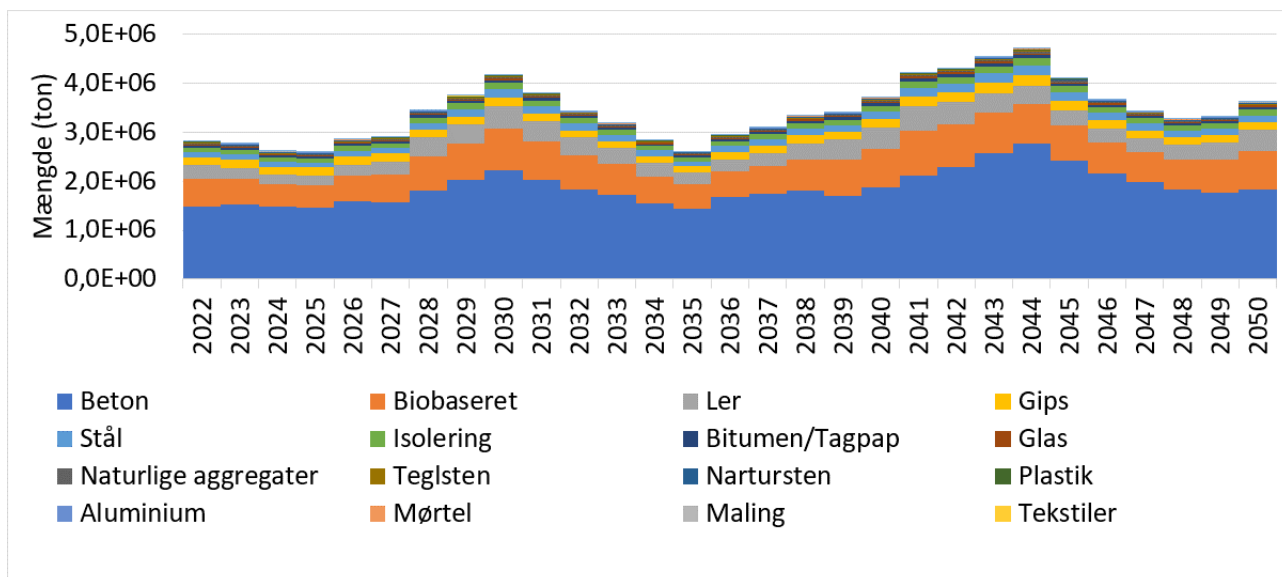
Der er en speciel situation i år 2100, hvor glas, gips og isolering ikke udskiftes. For gips og isolering skyldes det en 50 års forventet levetid af materialerne, hvilket i en 100-årig betragtningsperiode resulterer i én udskiftning. De senest opførte bygninger er i år 2050, hvor med disse bygningers udskiftning vil finde sted i 2099, hvilket vil være sidste udskiftning af de to nævnte materialer inden endt levetid for bygningen (endt betragtningsperiode).

Der forekommer ligeledes ingen udskiftning i år 2100 for glas. For størstedelen af det anvendte glas' gælder igen sammenhængen mellem betragtningsperioden og forventet materialelevetid. Med 40 års forventet levetid ifm. det meste af glasmængden vil de opførte bygninger mellem 2022 og 2050 få skiftet glas i årene 2061-2090. Dette glas skal så udskiftes yderligere 40 år efter den første udskiftning, altså frem til årene 2101-2129. Imidlertid fremgår der også en mindre glasmængde mellem år 2090-2099. Denne mindre andel af glas har 50 års forventet levetid. Udskiftningen er dermed særligt synlig for bygningerne opført mellem 2040 og 2050, da udskiftningen for disse opførte bygninger ikke falder sammen udskiftningerne af glas med 40 års levetid. De sidste opførte bygninger vil forekomme i år 2050, hvilket betyder at de får udskiftet glasmængderne med 50 års levetid inden år 2100, altså i år 2099. Dette medfører derfor manglende udskiftning i år 2100 for glas uanset 40 eller 50 års forventet levetid.

Fra år 2101 forekommer kun en minimal udskiftning af gips ift. til årene 2071-2099, hvilket skyldes gips med andre levetider end 50 år. Udskiftningen af teglsten og dertilhørende mørtel fortsætter fra 2100 og frem til sidste år af betragtningsperioden. Ligeledes øges udskiftningen af biobaserede materialer i år 2100. Udskiftning af beton og tagpap påbegyndes fra år 2101 og fortsætter resten af betragtningsperioden. Aluminium udskiftes fra 2081 til og med år 2109.

5.2 Materialestrømme ved øget træbaseret byggeskik

For produktionsfasen ved træbyggeri er anvendt de samme forventede arealer for de tre bygningstypologier, som ved konventionel byggepraksis. Bemærkelsesværdigt udgør beton den største materialemængde af det samlede materialeforbrug, lige over halvdelen i gennemsnit (se figur 22). Forventeligt udgør biobaserede materialer en større andel af materialerne og dermed også den næststørste materialestrøm efter beton. Dette ligger på ca. 20%, som vist i bilag 1 figur 81, med mindre variationer hen over årene. Herefter fremstår ler, gips, stål og isolering også som også har anskuelige materialemængder.



FIGUR 22. Fremtidig prognose (2022-2050) for materialestrømme i tons for produktionsfasen ved træbyggeri.

5.2.1 Materialestrømme ved udskiftninger I træbaseret byggeskik for en 60-årig betragtningsperiode

De første udskiftninger ved træbaseret byggeskik forekommer i 2036 i forbindelse med at malingen skal opfriskes, når der ses på en 60-årig betragtningsperiode (se bilag 4 figur 84). Derefter kommer den næste større forventede udskiftning i 2051, 30 år efter opførelsen af de første bygninger, hvilket er biobaserede materialer, som facadematerialer og ikke-bærende træprodukter, og i mindre grad stål. I 2061 bliver det nødvendigt at udskifte glas og gips, hvor førstnævnte mere eller mindre stopper igen i år 2089. For gips leder det til en betydelig udskiftning i 2071 og betragtningsperioden ud. I 2071 år starter også en stor udskiftning af isolering og biobaserede materialer og det fortsætter den resterende del af betragtningsperioden.

5.2.2 Materialestrømme ved udskiftninger I træbaseret byggeskik for en 100-årig betragtningsperiode

Ved at forlænge betragtningsperioden fra 60 til 100 år fører det bl.a. til en forøgelse af udskiftning af biobaserede materialer 60 år efter de førsteopførte byggerier, altså i år 2081, som bilag 4 figur 85 viser. Dette år er sammenfaldende med at teglsten og beton også begynder at blive udskiftet i mindre mængder. Dette skyldes alle tre materialers 60-årige forventede levetider, som ikke vil fremgå som udskiftet ved en 60-årig betragtningsperiode. En stor reduktion af udskiftninger forekommer i år 2100 for gips, isolering og biobaserede materialer, hvilket skyldes materialernes forventede levetider på 50 år, som forklaret i afsnit 13.1.3. De 50 års levetid gør at majoriteten af disse materialer lige akkurat ikke udskiftes anden gang. Da de sidste opførte bygninger sker i år 2050, så vil materialerne med 50 års levetid blive udskiftet i løbet af 2099 og ikke senere, hvilket er årsagen til udskiftningsreduktionen i 2100.

I år 2101 begynder behovet for udskiftning af tagpap og betonudskiftning øges også, hvilket fortsætter til og med 2129. I år 2110 aftager behovet igen for udskiftning af biobaserede materialer og ligeledes behovet for teglsten frem mod år 2129. Derefter vil det materialemængdemæssigt primært være biobaserede materialer der udskiftes i den resterende del af betragtningsperioden.

5.3 Materialestrømsforskelle mellem byggeskikke

En af de første overordnede forskelle mellem konventionelt og træbyggeri, når der ses på de absolutte mængder, er at der ca. skal bruges halvt så meget mængde materiale i træbyggeri ift. konventionelt. Betonefterspørgslen er væsentligt mindre for træbyggeri end for konventionelt, men udgør stadig den største post af materialerne opgjort i vægt. Det er derfor interessant, at et skifte til træbyggeri stadig vil inkludere beton som det mest anvendte materiale i form af vægt, hvis der bygges med nuværende praksis for træbyggeri. Det vil være relevant at sammenligne casestudierne med andre lande, hvor træbyggeri har en større modenhed. Det er dog ikke muligt indenfor omfanget af dette studie, da det først og fremmest kræver adgang til en større stikprøve af casestudier, hvorefter lignende casestudier skal findes og sammenlignes. Ligeledes kan sammenligningen laves på forskellige måder som kræver væsentlige ressourcer ift. materialeopgørelser, lovgivning, klima mv. Den mindre absolutte mængde beton og lavere totale mængde i træbyggeri medfører at de andre materialekategorier dermed udgør en større procentvis andel end for det konventionelle byggeri. Det skal bemærkes at mængdernes opgørelse i vægt medfører at de konventionelle casestudier har en betydeligt større vægt, da materialer som beton, stål, teglsten mv. har en større densitet end træ og biobaserede materialer. Hvis mængderne i stedet var opgjort i volumen, ville forskellen mellem de to byggeskikscenarier være anderledes.

Biobaserede materialer udgør logisk forventet en meget større mængde af træbyggeri, den næstmest efterspurgte materialekategori, end for konventionelt, hvor det er en ubetydelig del. Der udgør en større del af træbyggeri, det tredje mest anvendte materiale grundet de særlige casestudier for enfamiliehuse i træ som er de eneste tilgængelige. Dette vil muligvis ikke være tilfældet for majoriteten af enfamiliehuse i træ, hvis mere gængse casestudier var tilgængelige. For konventionelt byggeri er det teglsten (brændt ler) der udgør den næstmest anvendte materiale. En væsentlig bemærkning tilfalder også anvendelsen af gips i træbyggeri, da den er væsentlig større i totale mængder sammenlignet med det konventionelle byggeri.

5.3.1 Materialestrømsforskelle mellem byggeskikke for udskiftninger ved en 60-årig betragtningsperiode

Ses på udskiftninger ved 60 års betragtningsperiode forekommer en større total mængde ifm. træbyggeri end for konventionelt med ca. en faktor 2. Det er særligt repræsentationen af biobaserede materialer, der bidrager til den øgede mængde af udskiftede materialer, og samtidigt starter den første mindre, men stadig markante, udskiftning af materialer efter 30 år, hvilket først for alvor er efter 40 år ved konventionelt byggeri. Udskiftningen af gipsmateriale er også større for træbyggeri, grundet den større anvendte andel, end konventionelt og bidrager derfor til den samlede øgede mængde i førstnævnte.

5.3.2 Materialestrømsforskelle mellem byggeskikke for udskiftninger ved en 100-årig betragtningsperiode

Fra de første byggede bygninger i år 2021 og frem til og med år 2080, de første 60 år af betragtningsperioden, følger de samme tendenser i forskelle som ved den 60-årige betragtningsperiode. Dette betyder at træbyggeri har en væsentlig større mængde udskiftninger i denne periode sammenlignet med konventionelt byggeri. Efter år 2080 sker der imidlertid en ændring, da forskellen i totale mængder udskiftet materiale bliver mindre mellem de to byggeskikke. Træbyggeri har dog stadig den største mængde udskiftet materiale. Ved den konventionelle byggeskik er det særligt udskiftning af teglsten der minimerer forskellen mellem byggeskikkene. For træbyggeri øges også mængden af

udskiftet biobaseret materiale, som facadematerialer og ikke-bærende træprodukter, efter år 2080 samtidig med at udskiftning af lidt teglsten og beton også forekommer. Det er imidlertid ikke med samme mængde som den udskiftede andel teglsten i konventionelt byggeri. I år 2100 aftager udskiftningen af materiale signifikant, hvor det for træbyggeri er en stor nok reduktion til at udskiftningsmængden totalt set nærmest bliver ens for både konventionelt og træbyggeri i dette år.

Fra år 2101 til 2110 forøges udskiftningen ved begge byggepraksisser igen, men nu betydeligt mere for konventionelt byggeri. Der er en smule mere udskiftning af beton i konventionelt og tagpap for træbyggeri, hvor sidstnævnte har en væsentlig større udskiftning af biobaseret materiale. Årsagen til den samlede større mængde for konventionelt er udskiftningen af teglsten og mørtel, hvor sidstnævnte sandsynligvis er relateret til udskiftning af facadetegl (mursten). Fra år 2110 aftager den totale mængde for begge byggepraksisser og er konstant frem til 2120, kun varierende med arealudviklingen. Den totale mængde materialeudskiftning er i denne periode ca. dobbelt så stor ved konventionelt byggeri som ved træbyggeri grundet udskiftning af beton, mørtel og teglsten, selvom sidstnævnte aftager en del ift. perioden 2101-2110.

For den resterende del af betragtningsperioden (år 2110-2131) forekommer minimal udskiftning i konventionelt byggeri, mens der stadig er behov for udskiftning af en lille andel af biobaseret materiale for træbyggeri, dog væsentligt mindre end for den foregående periode.

6 KONSEKVENSMILJØPÅVIRKNINGER

Dette kapitel dækker resultaterne fra den udførte konsekvens-LCA. Resultater vises for hver individuel bygningstype samt for den gennemsnitlige kvadratmeter baseret på prognosen beskrevet i forrige afsnit. Først vises en tabel med samlede resultater på tværs af miljøpåvirkningskategorier efterfulgt af en dybere bidragsanalyse af klimapåvirkning, hvor hvert materials bidrag til det samlede resultat vurderes. Figurene for resultater for et skift til træ skal forstås i relation til det konventionelle scenarie. Derigennem illustrerer figurene, hvordan forskellen i materialebrug ligger til grund for det nye resultat, som derfor afspejler klimaeffekten af et skift i byggeskik til træ. En positiv ændring i påvirkning betyder derfor en øget miljøpåvirkning fra træ og en negativ ændring i påvirkning betyder en øget påvirkning fra konventionelt byggeri. Desuden vil resultaterne for den gennemsnitlige m² opdeles per livscyklusstadiet (produktion til opførelse, vedligehold og bortskaffelse).

6.1 Miljøpåvirkning per bygningstypologi

Dette afsnit dækker resultaterne på tværs for de individuelle bygningstypologier for de forskellige inkluderede miljøpåvirkningskategorier for betragtningsperioderne 60 og 100 år.

I tabel 5 vises resultaterne for enfamiliehuse i en 60-årig betragtningsperiode. Det observeres, at et skift til træ vil medføre en yderligere klimapåvirkning på 3,59 kg CO₂-eq/m²/år. Desuden ses det, at en række andre miljøpåvirkningskategorier ser stigninger. F.eks. naturbeslaglæggelse som oplever en stor stigning grundet det højere pres på grænsen mellem natur og dyrket areal, når mere træ efterspørges.

TABEL 5. Miljøpåvirkninger per m² per år for enfamiliehuse i en 60-årig betragtningsperiode for byggeskikke af hhv. konventionel og træ. Kolonnen med ændring til træ viser forskellen ift. konventionel byggeskik. Positiv værdi indikerer træ har større påvirkning og negativ værdi indikerer at konventionel har større påvirkning.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (60 år)	Byggeskik af træ Påvirkning / m ² / år (60 år)	Ændring fra konventionel byggeskik til træ Påvirkning / m ² / år (60 år)
Globalt opvarmningspotentiale	kg CO₂-eq.	6.61	10.20	+3.59
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0.01	0.01	0.00
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	12.37	23.96	+11.59
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	26.87	54.74	+27.87
Naturbeslaglæggelse	PDF*m ² a	0.25	1.33	+1.09
Forsuring	m ² UES	0.53	0.87	+0.34
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0.01	0.02	+0.01
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0.78	1.21	+0.43
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0.00	0.01	+0.00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*hours	49.04	70.53	+21.50
Ikke-fornybar energi	MJ primary	60.46	86.83	+26.37

I tabel 6 vises resultaterne for etagebyggerier i en 60-årig betragtningsperiode. Det observeres, at et skift til træ vil medføre en reduktion i klimapåvirkning på -3,60 kg CO₂-eq/m²/år. Dermed viser resultaterne, at et skift til træ i denne bygningstypologi vil medføre mindre bidrag til global opvarmning. Der ses desuden reduktion i de fleste andre miljøpåvirkningskategorier såsom forsurening, akvatisk økotoxicitet og terrestrisk eutrofiering. Dog forekommer der også stigninger i andre miljøpåvirkningskategorier, f.eks. naturbeslaglæggelse pga. det større behov for træ.

TABEL 6. Miljøpåvirkninger per m² per år for etageboliger i en 60-årig betragtningsperiode for byggeskikke af hhv. konventionel og træ. Kolonnen med ændring til træ viser forskellen ift. konventionel byggeskik. Positiv værdi indikerer træ har større påvirkning og negativ værdi indikerer at konventionel har større påvirkning.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (60 år)	Byggeskik af træ Påvirkning / m ² / år (60 år)	Ændring fra konventionel byggeskik til træ Påvirkning / m ² / år (60 år)
Globalt opvarmningspotentiale	kg CO₂-eq.	9,92	6.32	-3,60
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0.86	0.86	0.00
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	15.98	11.74	-4.24
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	37.80	26.63	-11.17
Naturbeslaglæggelse	PDF*m ² a	0.14	0.30	+0.16
Forsuring	m ² UES	0.55	0.43	-0.12
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0.01	0.01	0.00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0.86	0.69	-0.18
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0.01	0.00	0.00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*hours	58.55	43.80	-14.75
Ikke-fornybar energi	MJ primary	59.66	46.20	-13.46

I tabel 7 vises resultaterne for kontorbyggerier i en 60-årig betragtningsperiode. Det observeres, at et skift til træ vil medføre en yderligere klimapåvirkning på 1,90 kg CO₂-eq/m²/år. Der ses generelt samme tendens i andre miljøpåvirkningskategorier som for klimapåvirkningen og som i resultaterne for enfamiliehusene.

TABEL 7. Miljøpåvirkninger per m² per år for kontorbygninger i en 60-årig betragtningsperiode for byggeskikke af hhv. konventionel og træ. Kolonnen med ændring til træ viser forskellen ift. konventionel byggeskik. Positiv værdi indikerer træ har større påvirkning og negativ værdi indikerer at konventionel har større påvirkning.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (100 år)	Byggeskik af træ Påvirkning / m ² / år (100 år)	Ændring fra konventionel byggeskik til træ Påvirkning / m ² / år (100 år)
Globalt opvarmningspotentiale	kg CO₂-eq.	6,54	8,44	+1,90
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0.01	0.01	0.00
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	10.39	15.71	+5.32
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	24.12	37.42	+13.30
Naturbeslaglæggelse	PDF*m ² a	0.13	0.37	+0.24
Forsuring	m ² UES	0.37	0.53	+0.16
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0.01	0.01	0.00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0.64	0.78	+0.15
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0.00	0.00	0.00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*hours	41.85	51.67	+9.82
Ikke-fornybar energi	MJ primary	43.29	54.21	+10.93

I tabel 8 vises resultaterne for enfamiliehuse i en 100-årig betragtningsperiode. Det observeres, at et skift til træ vil medføre en yderligere klimapåvirkning på 2,42 kg CO₂-eq/m²/år. Miljøpåvirkningerne er generelt lavere end for den 60-årige betragtningsperiode på tværs af alle miljøpåvirkningskategorier. Dette er primært grundet den længere betragtningsperiode, hvor hvert år af bygningens levetid har relativt mindre indflydelse. På trods af det yderligere behov for vedligehold udligner dette ikke effekten af den længere levetid, hvorfor påvirkningerne er lavere. Klimapåvirkningen er desuden markant lavere, hvilket også gælder forskellen mellem det konventionelle scenarie og træscenariet.

TABEL 8. Miljøpåvirkninger per m² per år for enfamiliehuse i en 100-årig betragtningsperiode for byggeskikke af hhv. konventionel og træ. Kolonnen med ændring til træ viser forskellen ift. konventionel byggeskik. Positiv værdi indikerer træ har større påvirkning og negativ værdi indikerer at konventionel har større påvirkning.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (100 år)	Byggeskik af træ Påvirkning / m ² / år (100 år)	Ændring fra konventionel byggeskik til træ Påvirkning / m ² / år (100 år)
Globalt opvarmningspotentiale	kg CO₂-eq.	4,54	6,96	+2,42
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0.01	0.01	0.00
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	9.03	19.68	+10.65
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	19.65	44.02	+24.36
Naturbeslaglæggelse	PDF*m ² a	0.19	0.65	+0.46
Forsuring	m ² UES	0.38	0.76	+0.38
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0.01	0.01	0.01
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0.56	1.04	+0.48
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0.00	0.01	0.00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*hours	35.54	60.57	+25.03
Ikke-fornybar energi	MJ primary	44.01	76.63	+32.61

I tabel 9 vises resultaterne for etagebyggerier i en 100-årig betragtningsperiode. Det observeres, at et skift til træ vil medføre en reduktion i klimapåvirkning på -2,91 kg CO₂-eq/m²/år. Med denne reduktion, er resultaterne for denne typologi lavest blandt alle resultater. Igen observeres det, at resultaterne generelt er lavere i forhold til resultatet for den 60-årige betragtningsperiode, hvilket også ses i den mindre forskel mellem det konventionelle scenarie og træscenariet.

TABEL 9. Miljøpåvirkninger per m² per år for etageboliger i en 100-årig betragtningsperiode for byggeskikke af hhv. konventionel og træ. Kolonnen med ændring til træ viser forskellen ift. konventionel byggeskik. Positiv værdi indikerer træ har større påvirkning og negativ værdi indikerer at konventionel har større påvirkning.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (100 år)	Byggeskik af træ Påvirkning / m ² / år (100 år)	Ændring fra konventionel byggeskik til træ Påvirkning / m ² / år (100 år)
Globalt opvarmningspotentiale	kg CO₂-eq.	7,52	4,62	-2,91
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0.004	0.00	-0.003
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	10.27	8.99	-1.28
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	24.52	27.68	+3.16
Naturbeslaglæggelse	PDF*m ² a	0.10	0.15	+0.05
Forsuring	m ² UES	0.34	0.27	-0.07
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0.01	0.00	0.00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0.56	0.47	-0.09
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0.00	0.00	0.00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*hours	38.64	27.29	-11.35
Ikke-fornybar energi	MJ primary	38.87	33.50	-5.37

I tabel 10 vises resultaterne for kontorbyggerier i en 100-årig betragtningsperiode. Det observeres, at et skift til træ vil medføre en yderligere klimapåvirkning på 1,59 kg CO₂-eq/m²/år. Igen er resultaterne lavere og forskellen mindre ekstrem i sammenligning med resultatet for en 60-årig betragtningsperiode.

TABEL 10. Miljøpåvirkninger per m² per år for kontorbygninger i en 100-årig betragtningsperiode for byggeskikke af hhv. konventionel og træ. Kolonnen med ændring til træ viser forskellen ift. konventionel byggeskik. Positiv værdi indikerer træ har større påvirkning og negativ værdi indikerer at konventionel har større påvirkning.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (100 år)	Byggeskik af træ Påvirkning / m ² / år (100 år)	Ændring fra konventionel byggeskik til træ Påvirkning / m ² / år (100 år)
Globalt opvarmningspotentiale	kg CO₂-eq.	4,82	6,41	+1,59
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0.01	0.01	0.00
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	7.05	11.21	+4.15
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	16.83	22.09	+5.26
Naturbeslaglæggelse	PDF*m ² a	0.11	0.16	+0.05
Forsuring	m ² UES	0.23	0.42	+0.19
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0.00	0.01	0.00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0.43	0.60	+0.17
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0.00	0.00	0.00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*hours	28.92	41.16	+12.23
Ikke-fornybar energi	MJ primary	29.41	42.11	+12.70

6.2 Samlet gennemsnitlige miljøpåvirkninger

I tabel 11 nedenfor ses resultaterne for de inkluderede miljøpåvirkningskategorier. De primære resultater for den gennemsnitlige kvadratmeter, baseret på det vægtede gennemsnit af bygningstyper, vises nedenfor for både en betragtningsperiode på henholdsvis 60 og 100 år. Vægtningen er baseret på antal kvadratmeter, der bygges af hver bygningstypologi hvert år, ud af det totale årlige gennemsnitsareal som de tre bygningstypologier udgør til sammen (se Bilag 3).

For bedre at kunne sammenligne vises resultater med samme betragtningsperiode i en samlet tabel. Det skal understreges, at resultaterne for scenariet med et skift i byggeskik til træ skal forstås i relation til resultatet for det konventionelle scenarie som forskellen i påvirkning. Resultaterne i kolonnen for ændring til træ illustrerer dermed effekten af et skift i byggeskik.

Som vist i tabel 11, vil effekten af et skift til mere træ medføre en øget klimapåvirkning på 0,981 kg CO₂-eq/m²/år. Der ses desuden en markant stigning i andre miljøpåvirkningskategorier, heriblandt humantoksicitet, økotoxicitet og naturbeslaglæggelse (påvirkning på biodiversitet).

TABEL 11. Miljøpåvirkninger per m² per år for en vægtet gennemsnitlig m² på tværs af de tre boligtypologier for en 60-årig betragtningsperiode for byggeskikke af hhv. konventionel og træ. Kolonnen med ændring til træ viser forskellen ift. konventionel byggeskik. Positiv værdi indikerer træ har større påvirkning og negativ værdi indikerer at konventionel har større påvirkning.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (100 år)	Byggeskik af træ Påvirkning / m ² / år (100 år)	Ændring fra konventionel byggeskik til træ Påvirkning / m ² / år (100 år)
Globalt opvarmningspotentiale	kg CO₂-eq.	7,66	8,47	+0,81
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0.01	0.01	0.0
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	13.00	17.78	+4.78
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	29.66	41.00	+11.34
Naturbeslaglæggelse	PDF*m ² a	0.18	0.74	+0.56
Forsuring	m ² UES	0.49	0.64	+0.14
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0.01	0.01	0.00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0.77	0.92	+0.16
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0.00	0.01	0.00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*hours	50.16	56.78	+6.63
Ikke-fornybar energi	MJ primary	55.54	64.87	+9.33

I tabel 12 vises at effekten ved et skift til træ medfører en øget klimapåvirkning på 0.47 kg CO₂-eq/m²/år i scenariet med 100 års betragtningsperiode. Der ses også markante ændringer i andre miljøpåvirkningskategorier som i scenariet med en 60 års betragtningsperiode.

TABEL 12. Miljøpåvirkninger per m² per år for en vægtet gennemsnitlig m² på tværs af de tre boligtypologier for en 100-årig betragtningsperiode for byggeskikke af hhv. konventionel og træ. Kolonnen med ændring til træ viser forskellen ift. konventionel byggeskik. Positiv værdi indikerer træ har større påvirkning og negativ værdi indikerer at konventionel har større påvirkning.

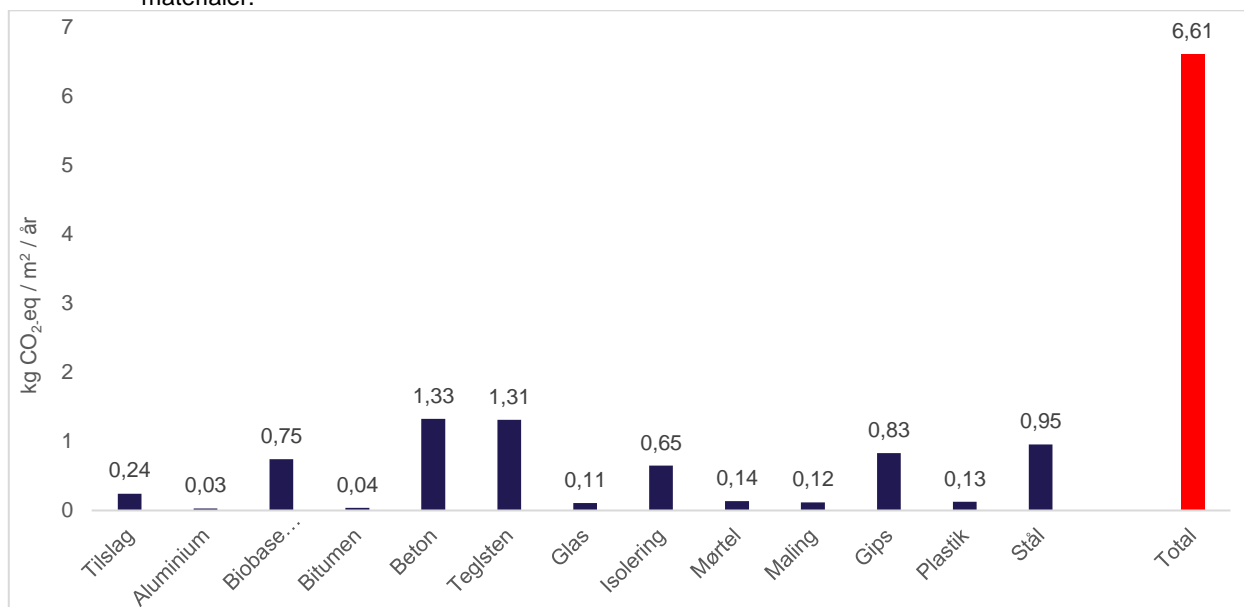
Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (100 år)	Byggeskik af træ Påvirkning / m ² / år (100 år)	Ændring fra konventionel byggeskik til træ Påvirkning / m ² / år (100 år)
Globalt opvarmningspotentiale	kg CO₂-eq.	5,58	6,05	+0,47
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0.01	0.01	0.00
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	8.89	13.92	5.03
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	20.46	32.78	12.32
Naturbeslaglæggelse	PDF*m ² a	0.14	0.35	0.22
Forsuring	m ² UES	0.32	0.51	0.19
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0.01	0.01	0.00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0.52	0.73	0.21
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0.00	0.00	0.00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*hours	34.75	44.54	9.80
Ikke-fornybar energi	MJ primary	38.39	53.32	14.94

6.3 Klimapåvirkninger ved en 60-årig betragtningsperiode

Dette afsnit indeholder et dybere kig på klimapåvirkningen blandt de forskellige resultater. Først dækkes resultaterne for det konventionelle scenarie på tværs af forskellige typer af bygningstypologier samt den gennemsnitlige kvadratmeter baseret på det vægtede gennemsnit. For resultaterne for sidstnævnte vises en fordeling af klimapåvirkning fordelt på livscyklusstadiene opførelse (A1-A3), vedligehold (B4) og bortskaffelse (C4+D).

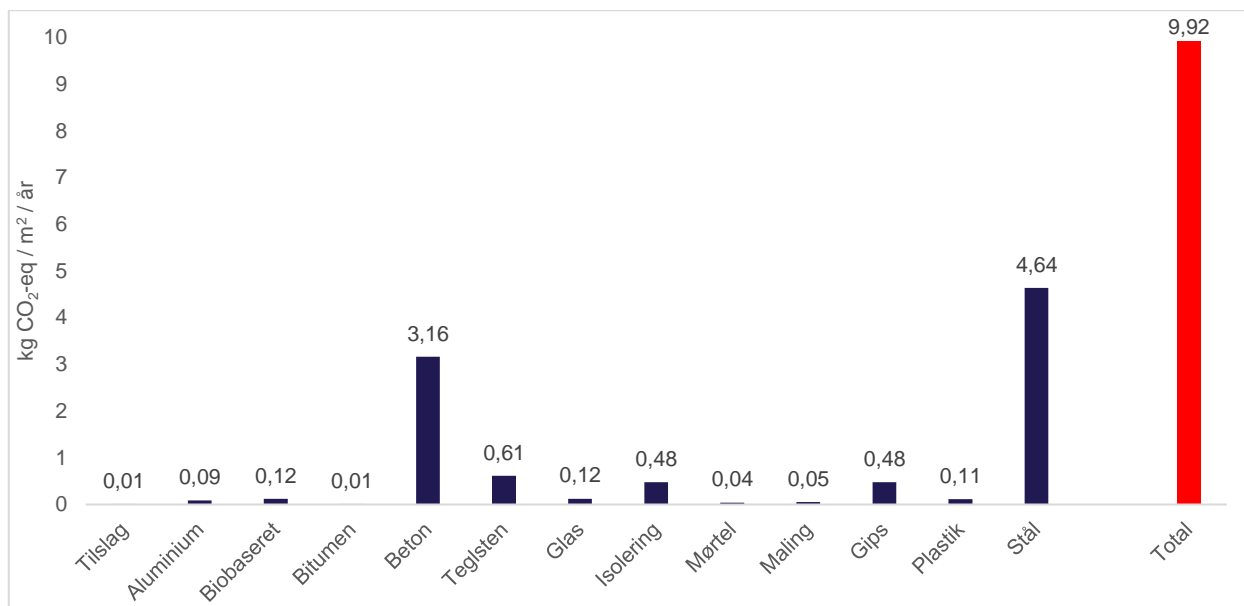
6.3.1 Klimapåvirkninger ved øget konventionelt byggeri – 60 år

På figur 23 ses klimapåvirkningen for enfamiliehuse for det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 60 år. Det observeres, at brugen af beton, teglsten og stål bidrager mest til klimaaftrykket. Klimapåvirkningen er dog forholdsvist jævnt fordelt blandt de forskellige materialer.



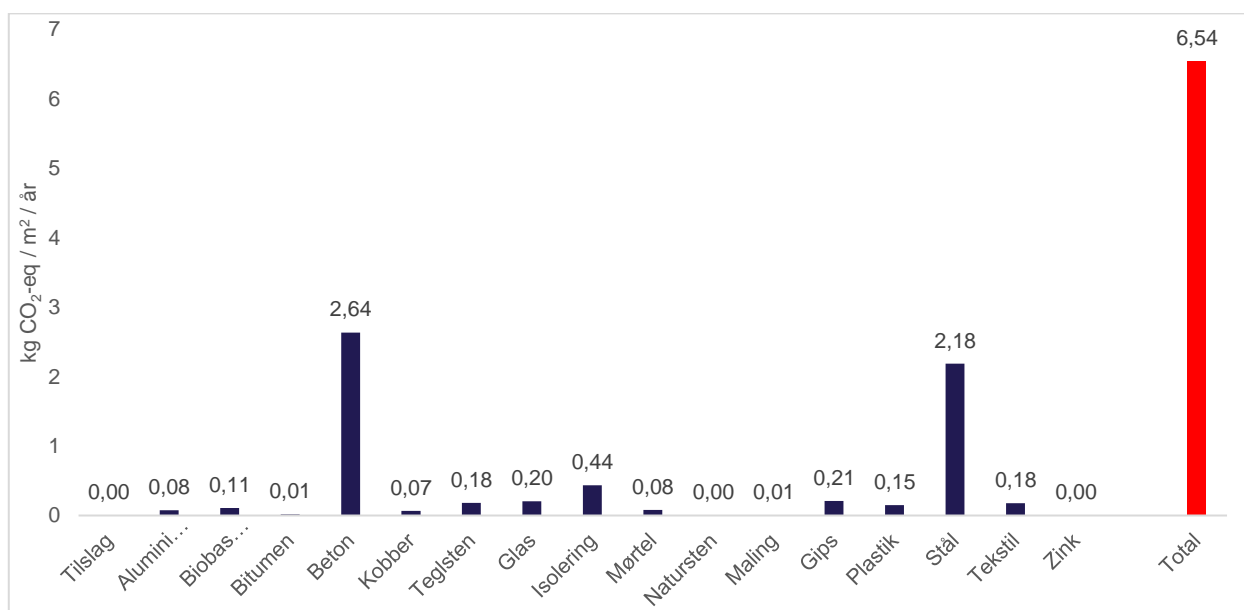
FIGUR 23. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for enfamiliehuse (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 60 år.

På figur 24 ses klimapåvirkningen for etagebyggerier for det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 60 år. Det observeres, at brugen af beton og stål bidrager mest til klimaaftrykket, mens andre materialer er mindre betydningsfulde.



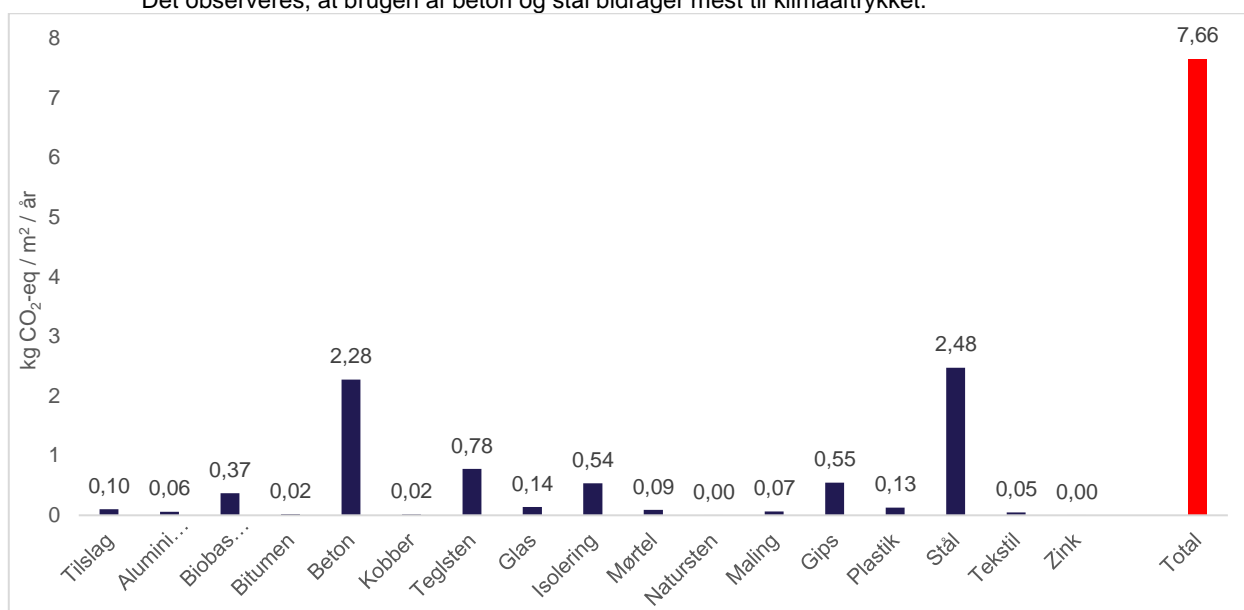
FIGUR 24. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for etageboliger (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 60 år.

På figur 25 ses klimapåvirkningen for kontorbyggerier for det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 60 år. Det observeres igen, at brugen af beton og stål bidrager mest til klimaaftrykket, mens andre materialer er mindre betydningsfulde.



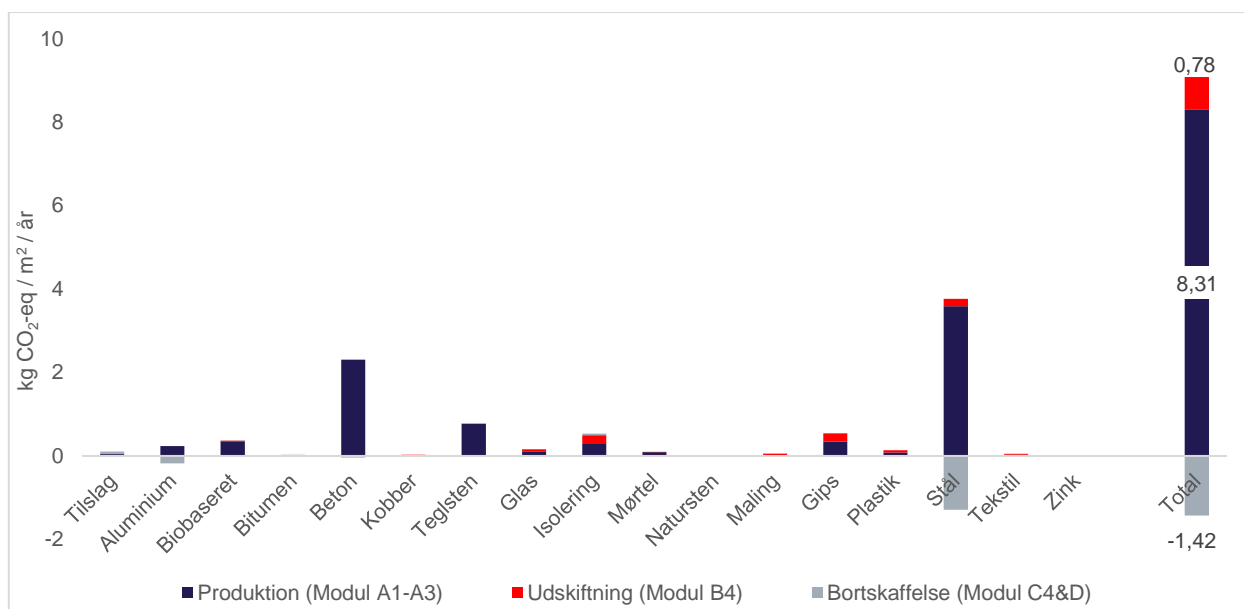
FIGUR 25. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for kontorbygninger (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 60 år.

På figur 26 ses klimapåvirkningen for den gennemsnitlige kvadratmeter på tværs af de tre bygningstypologier for det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 60 år. Det observeres, at brugen af beton og stål bidrager mest til klimaaftrykket.



FIGUR 26. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 60 år.

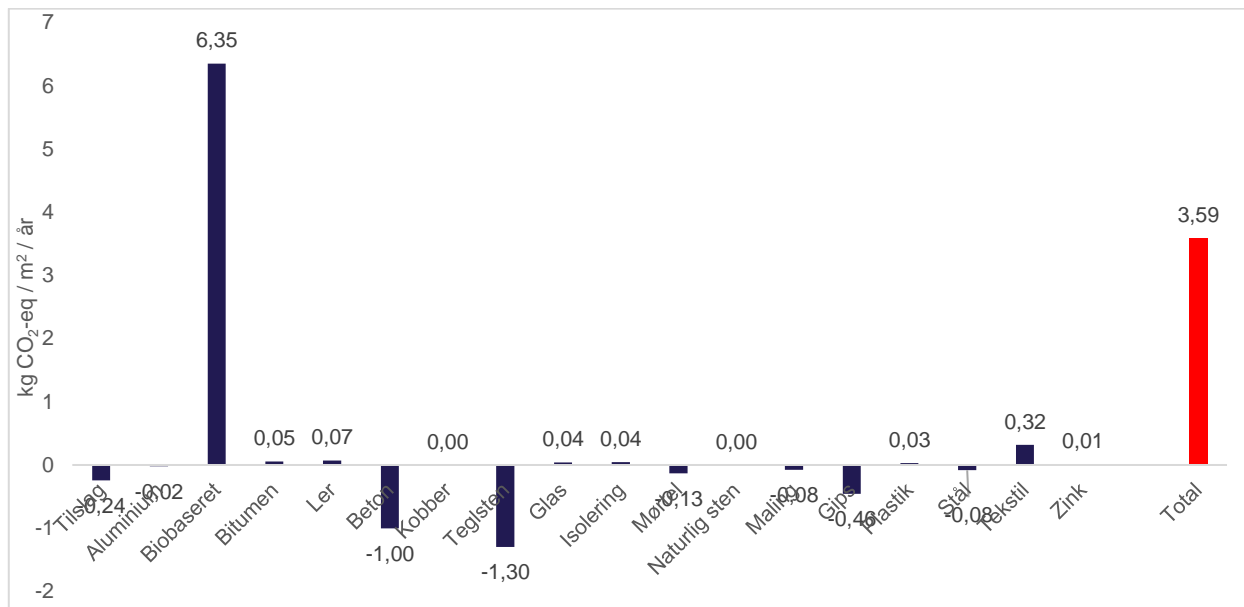
På figur 27 ses samme resultat for den gennemsnitlige kvadratmeter i det konventionelle scenarie for en 60-årig betragtningsperiode her opdelt på de forskellige livscyklusfaser: Produktion, vedligehold og bortskaffelse. Det ses, at produktionen af materialer til opførelse udgør klart det største bidrag til klimapåvirkningen, mens vedligehold er relativt lille. Bortskaffelse er også relativt lille, men giver en nævneværdig reduktion i resultatet grundet substitutioner.



FIGUR 27. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 60 år fordelt på livscyklusfaser.

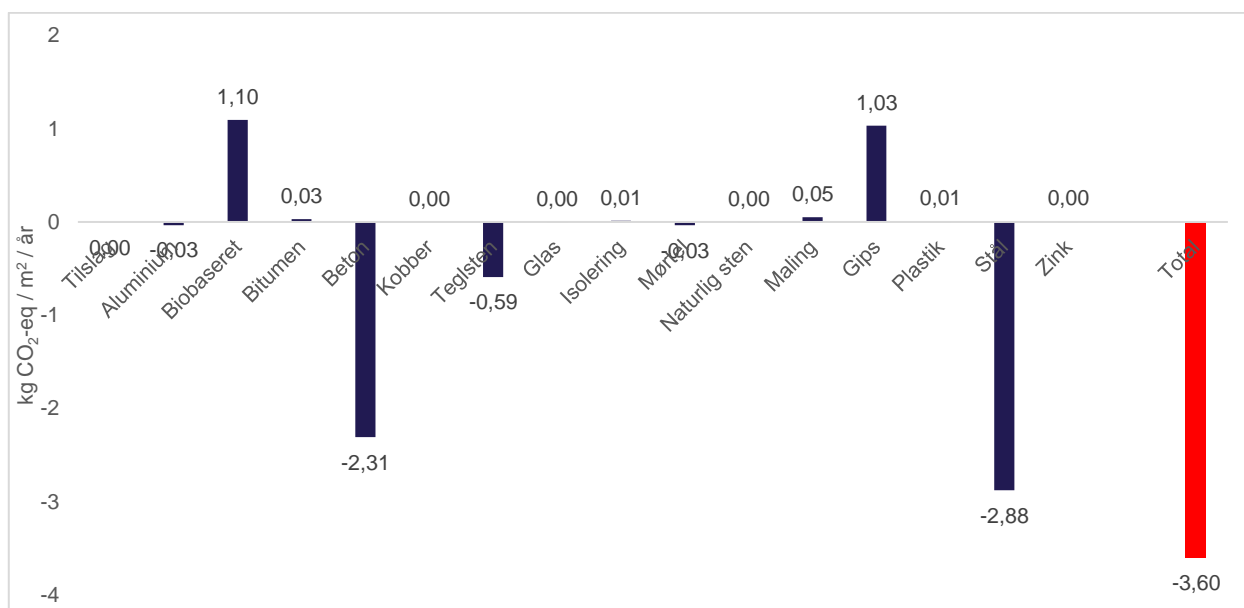
6.3.2 Forskel i klimapåvirkninger ved skift til øget træbyggeri – 60 år

På figur 28 ses ændringen i klimapåvirkningen ved et skifte fra konventionelt til træbaseret byggeskik for en 60-årig betragtningsperiode for enfamiliehuse. Det ekstra bidrag til drivhus-effekt er næsten udelukkende baseret på den større efterspørgsel på træ. Det lavere behov for især beton og teglsten medfører synlige reduktioner, men i væsentligt mindre grad end bidraget fra træ, hvorfor der også ses en betydelig stigning i den samlede klimapåvirkning.



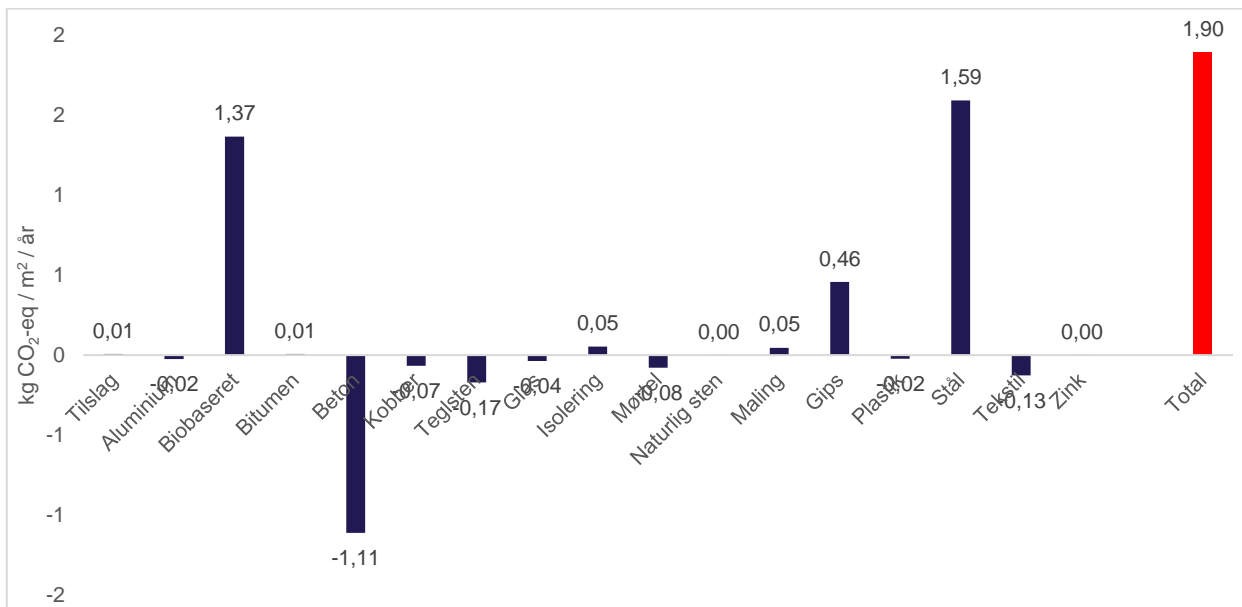
FIGUR 28. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for enfamiliehuse (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 60 år.

På figur 29 ses ændringen i klimapåvirkningen ved et skifte fra konventionelt til træbaseret byggeskik for en 60-årig betragtningsperiode for etageboliger. I dette scenarie ses en betydelig reduktion af klimapåvirkning. Der er forekommer især en stor besparelse ved undgået stål og beton, mens gips og træ har de største påvirkninger.



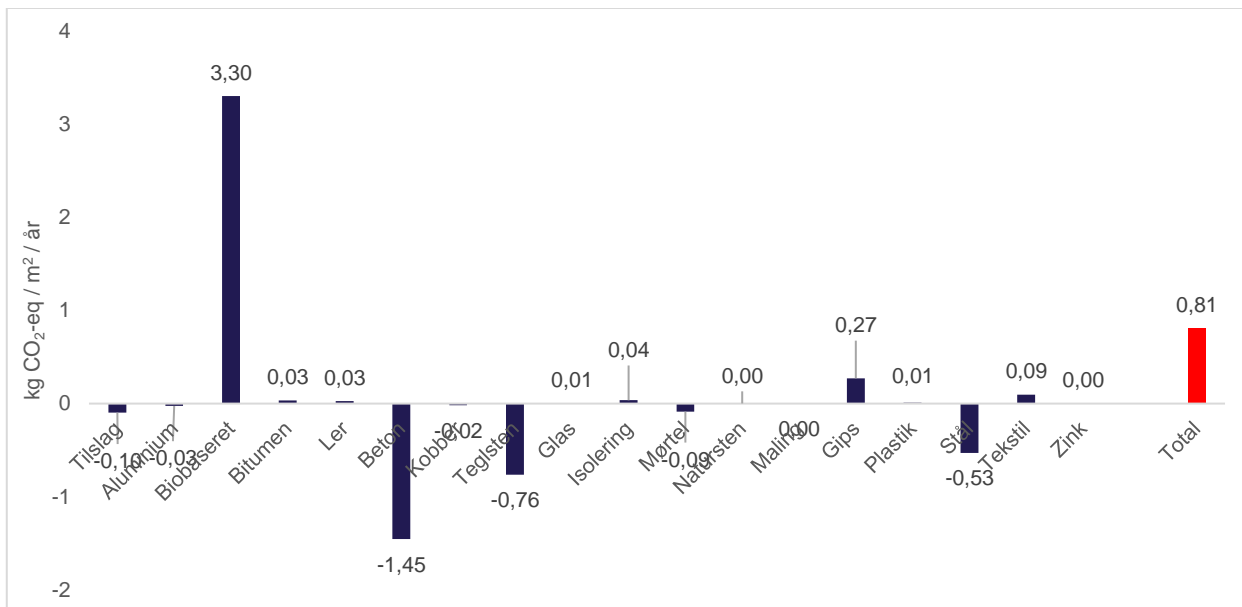
FIGUR 29. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for etageboliger (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 60 år.

På figur 30 ses ændringen i klimapåvirkningen ved et skifte fra konventionelt til træbaseret byggeskik for en 60-årig betragtningsperiode for kontorbygninger. I dette scenarie ses en betydelig stigning i klimapåvirkning. Resultaterne for denne bygningstypologi adskiller sig fra de andre via det ekstra behov for stål, hvilket også observeres at have store klimaimplikationer. Det øgede behov for træ og stål bidrager mest til resultatet efterfulgt af gips, mens der ses betydelige besparelser gennem et reduceret behov for beton.



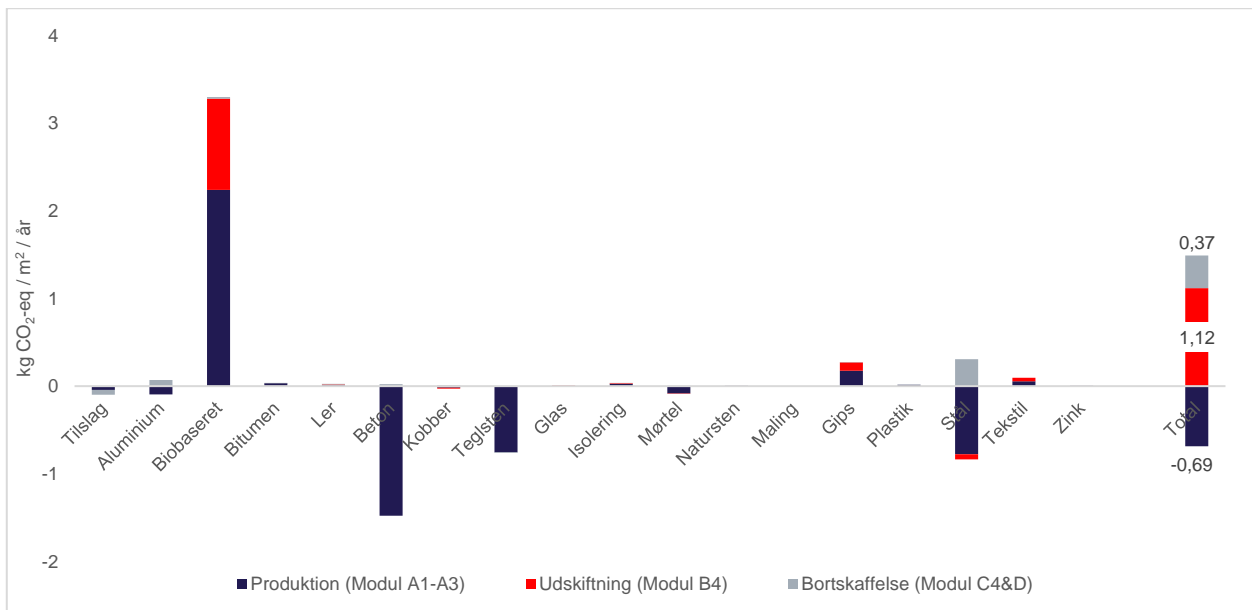
FIGUR 30. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for kontorbygninger (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 60 år.

På figur 31 ses ændringen i klimapåvirkningen ved et skifte fra konventionelt til træbaseret byggeskik for en 60-årig betragtningsperiode for en gennemsnitlig m² på tværs af de tre bygningstypologier. Det fremgår, at det ekstra bidrag til drivhuseffekt næsten udelukkende er baseret på den højere efterspørgsel af træ. Det ses også, at det mindskede behov for især beton, teglsten og stål medfører en betydelig reduktion i klimapåvirkning - dog i mindre grad end den øgede udledning fra træprodukter. Derfor står det klart, at træ-scenariet har en stor fordel ved undgået beton, teglsten og stål, men en stor ulempe ved det ekstra behov for træ.



FIGUR 31. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 60 år fordelt på livscyklusfaser.

På figur 32 ses samme resultat for den gennemsnitlige kvadratmeter i scenariet for et skift til træ ved en betragtningsperiode på 60 år, dog fordelt på livscyklusfaser. Det ses, at selve det oprindelige byggeri ser betydelige besparelser, altså produktionsfasen har sammenlagt lavere klimapåvirkning. Vedligehold og bortskaffelse er betydeligt højere. De store besparelser ved produktionsfasen af bygningen er primært forårsaget af det mindskede behov for stål og cement, som vejer tungere i klimapåvirkningsmæssig forstand end det ekstra behov for træ. Det højere behov for vedligehold bidrager betydeligt, og det samme gør bortskaffelse. Den stigende påvirkning fra bortskaffelse ses primært fra træ samt den fortrængte genanvendelse af stål, da der anvendes mindre stål end i det konventionelle scenarie og derfor også er en mindre genanvendelse af stål og dermed en lavere gevinst sammenlignet med det konventionelle scenarie.

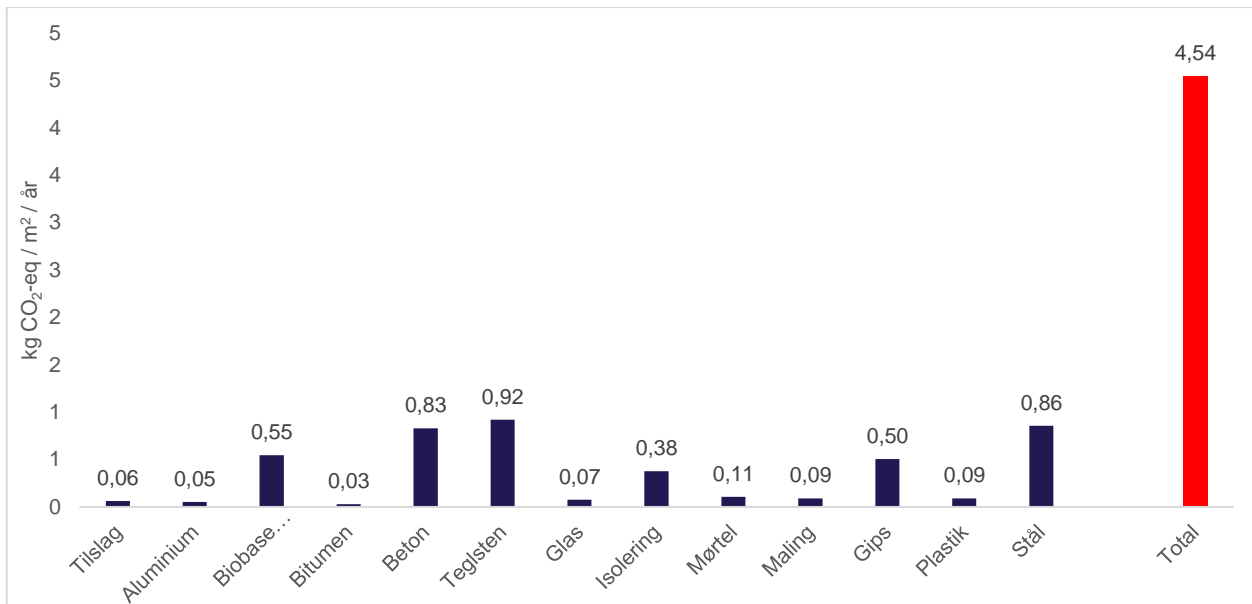


FIGUR 32. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 60 år fordelt på livscyklusfaser.

6.4 Klimapåvirkninger ved en 100-årig betragtningsperiode

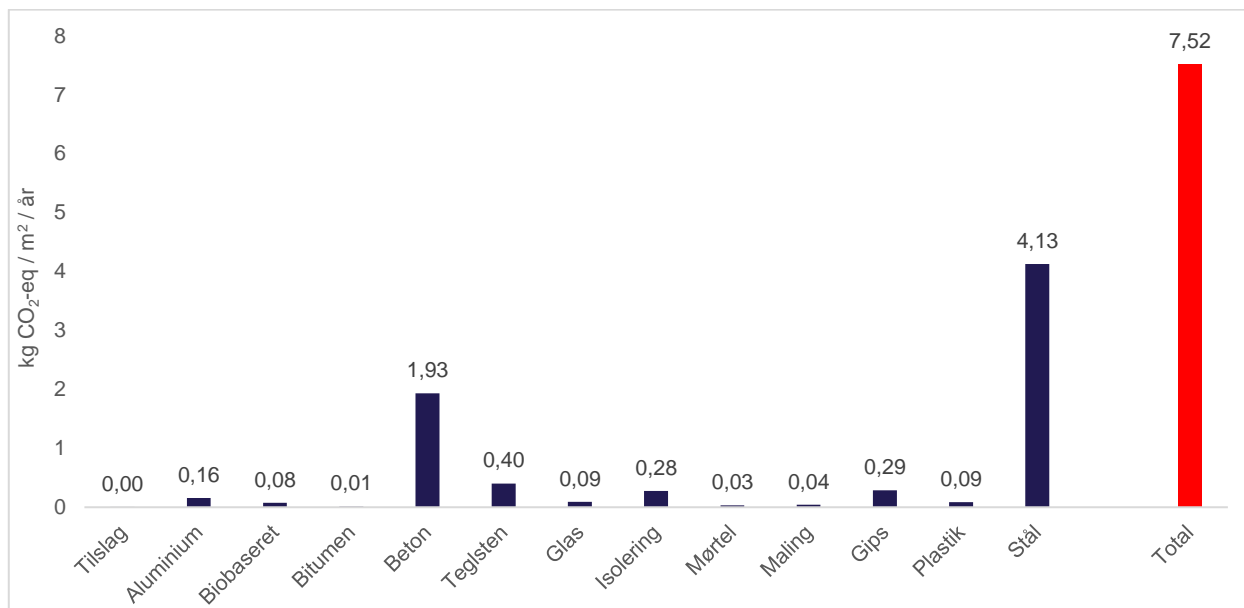
6.4.1 Klimapåvirkninger ved øget konventionelt byggeri – 100 år

På figur 33 vises klimapåvirkningen for enfamiliehuse i det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 100 år. Det ses igen, at bidraget fra hver materialetype er relativt ens med 60 års betragtningsperiode, men at teglsten, beton og stål stadig bidrager mest. Resultatet observeres at være lavere end samme typologi med en 60-årig betragtningsperiode.



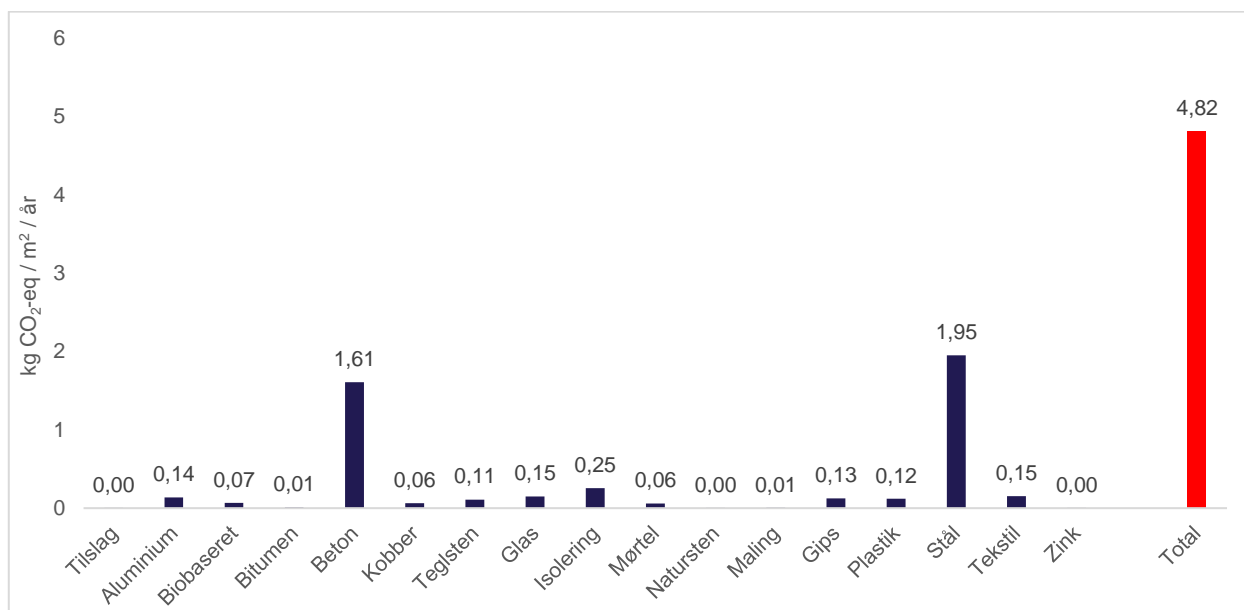
FIGUR 33. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for enfamiliehuse (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 100 år.

På figur 34 vises klimapåvirkningen for etageboliger i det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 100 år. Det står klart, at stål og beton igen er klart de mest bidragende materialer. Igen ses det, at resultatet er betydeligt lavere for den længere betragtningsperiode.



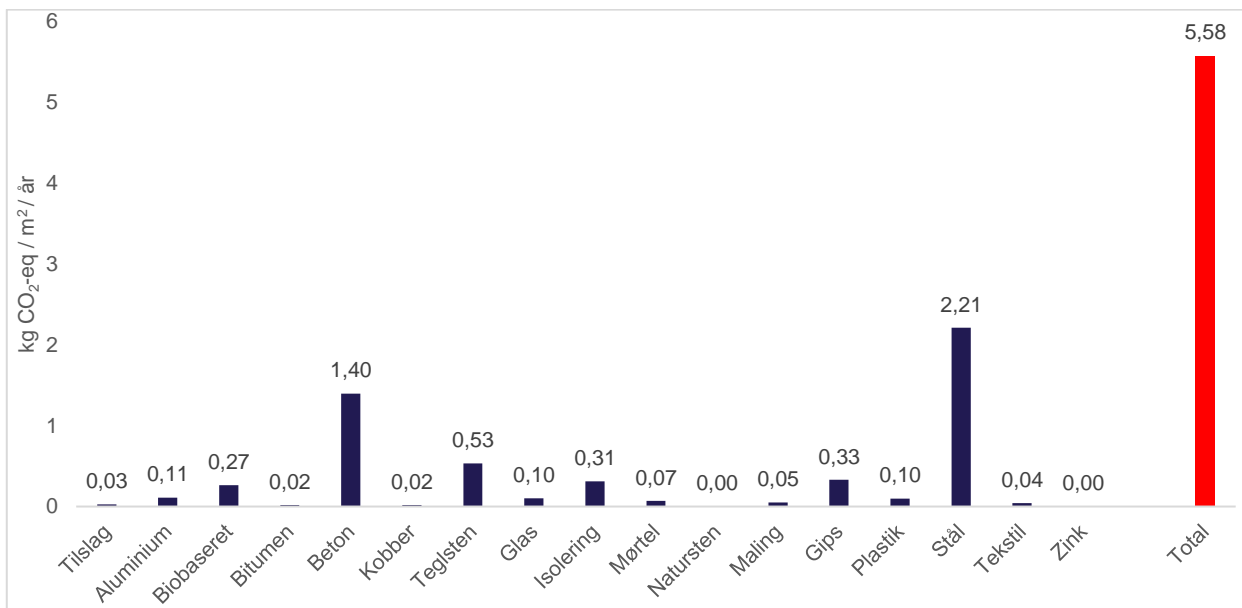
FIGUR 34. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for etageboliger (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 100 år.

På figur 35 vises klimapåvirkningen for kontorbyggerier i det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 100 år. Stål og beton bidrager igen mest til klimapåvirkning, og det samlede resultat er også lavere for den længere betragtningsperiode for kontorbyggerierne.



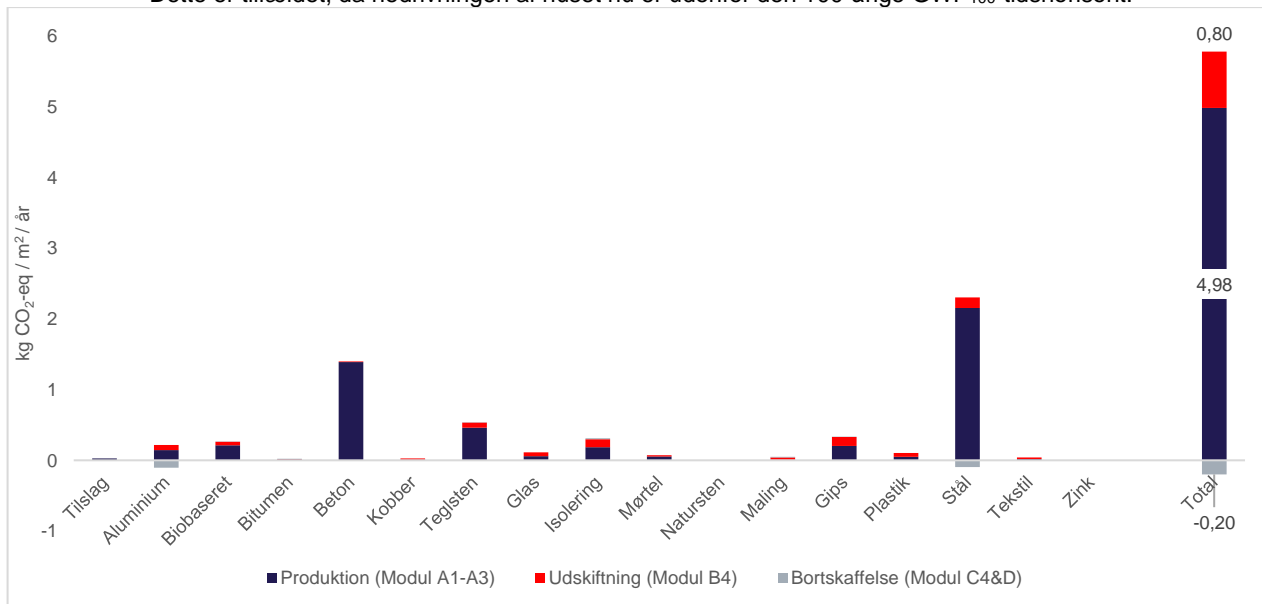
FIGUR 35. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for kontorbygninger (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 100 år

På figur 36 ses klimapåvirkningen for den gennemsnitlige kvadratmeter i det konventionelle scenarie for en betragtningsperiode på 100 år. Det observeres ligeledes, at brugen af beton og stål bidrager mest til klimaaftrykket.



FIGUR 36. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 100 år.

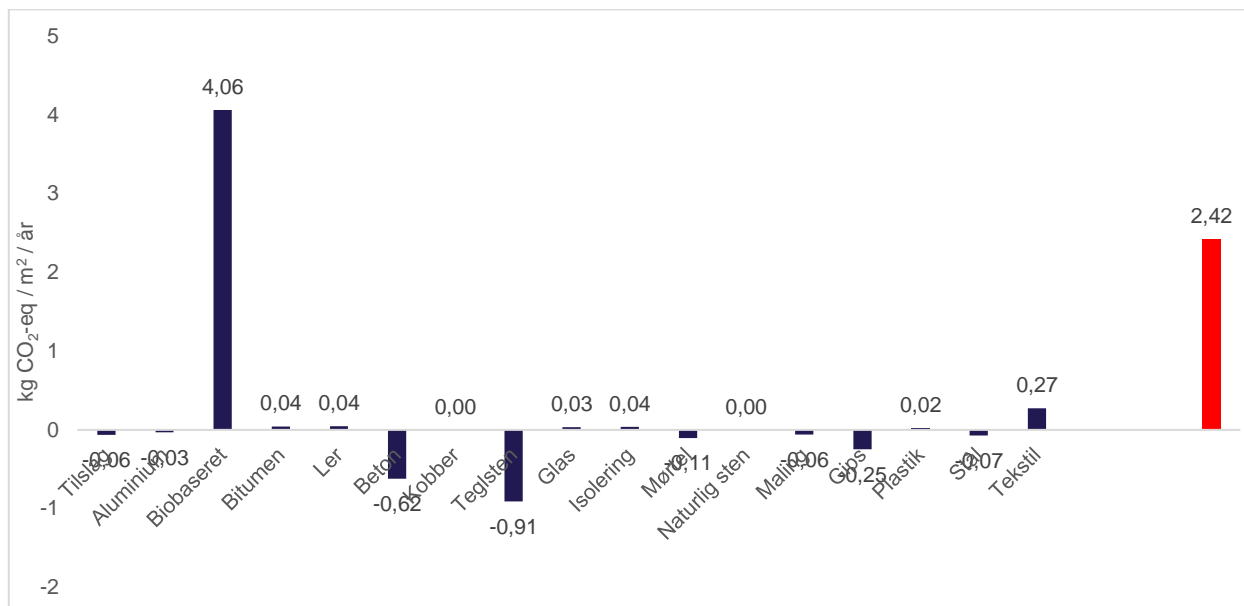
På figur 37 ses klimapåvirkningen for den gennemsnitlige kvadratmeter i det konventionelle scenarie for den 100-årige betragtningsperiode fordelt på livscyklusfaser: Produktion, vedligehold og bortskaffelse. Det ses, at produktionsfasen udgør klart det største bidrag til klimapåvirkningen, mens vedligehold er relativt lille. Bortskaffelse er også relativt lille, men giver en nævneværdig reduktion i resultatet grundet substitutioner. I forhold til resultatet ved en 60-årig betragtningsperiode, ses det at betydningen af bortskaffelse er faldet markant. Dette er tilfældet, da nedrivningen af huset nu er udenfor den 100-årige GWP₁₀₀-tidshorisont.



FIGUR 37. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 100 år fordelt på livscyklusfaser.

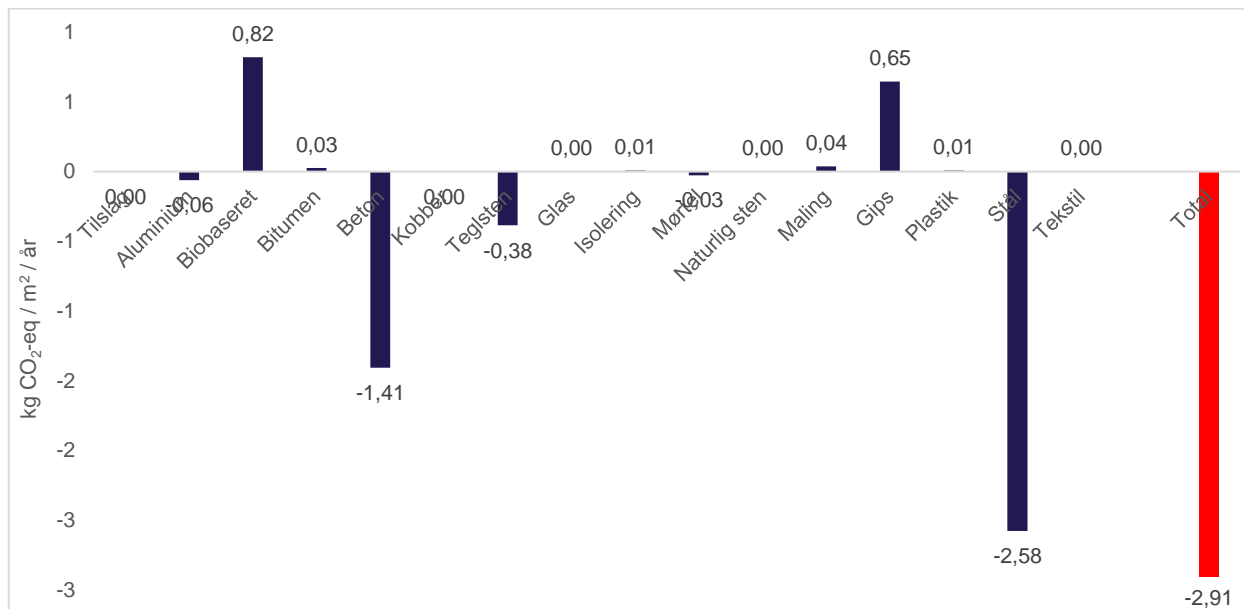
6.4.2 Forskel i klimapåvirkninger ved skift til øget træbyggeri – 100 år

På figur 38 vises forskellen i klimapåvirkning for enfamiliehuse i scenariet med et skift til træ med en betragtningsperiode på 100 år. Det observeres, at der for denne typologi ses en stigning i klimapåvirkning grundet det yderligere behov for træ ligesom i resultatet for samme typologi med en 60-årig betragtningsperiode. Dog er denne stigning mindre, bl.a. grundet at udledning af træets biogene CO₂ nu ligger uden for den 100-årige tidshorisont. Derfor viser resultaterne, at et skift til træ i enfamiliehuse har den største stigning i klimapåvirkning, når der regnes med en kortere betragtningsperiode.



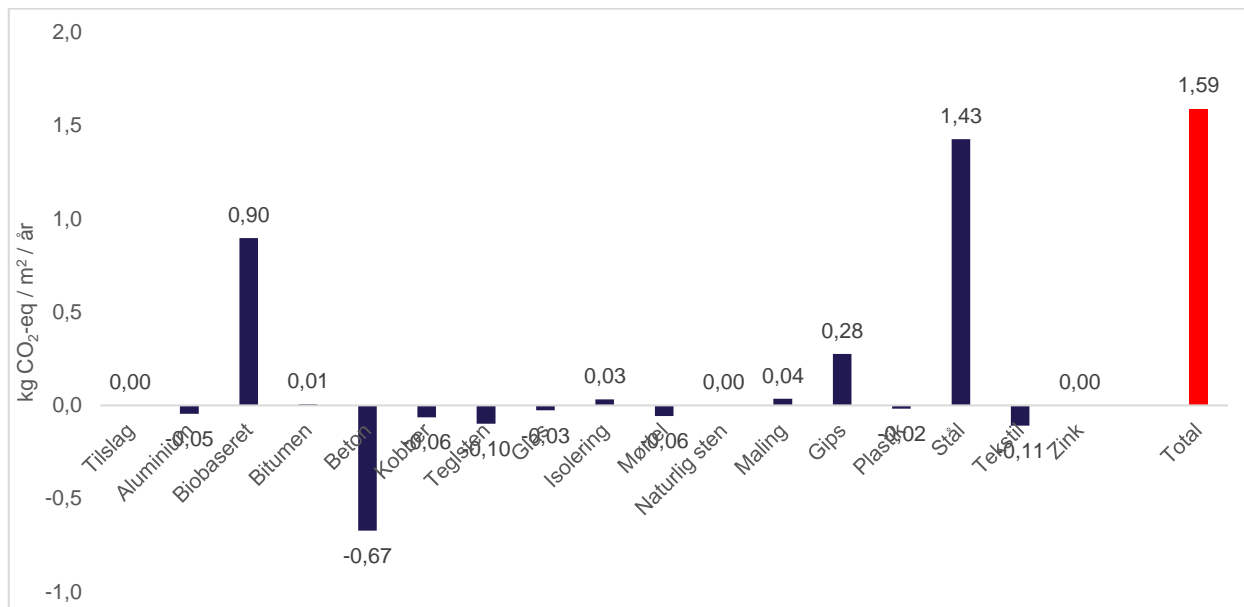
FIGUR 38. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for enfamiliehuse (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 100 år.

På figur 39 vises forskellen i klimapåvirkning for etagebyggerier i scenariet med et skift til træ med en betragtningsperiode på 100 år. Det ses igen, at resultatet her er negativt, hvilket betyder, at indenfor denne typologi vil et skift til træ medføre reduktion af klimapåvirkning. Dette er igen primært grundet det lavere behov for stål og beton. Den absolutte forskel mellem det konventionelle scenarie og træscenariet er igen mindre for denne typologi, hvilket igen bidrager til, at mere ekstreme resultater ses ved kortere betragtningsperioder.



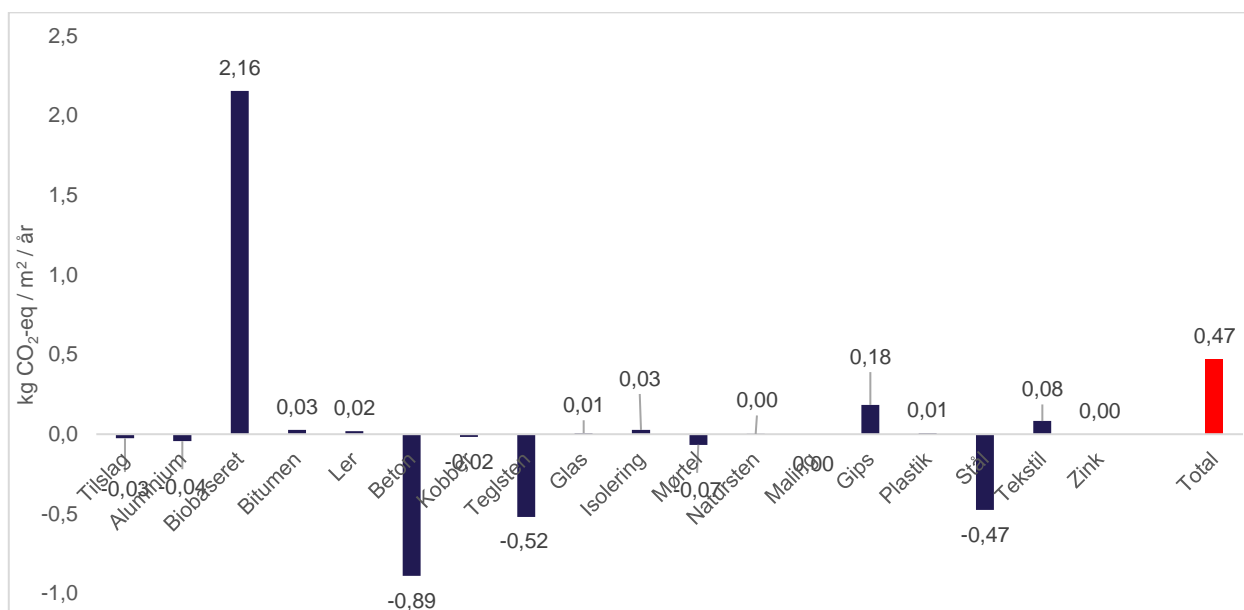
FIGUR 39. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for etageboliger (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 100 år.

På figur 40 viser forskellen i klimapåvirkning for kontorbyggerier i scenariet med et skift til træ med en betragtningsperiode på 100 år. Samme tendens ses som i resultatet med 60-årig betragtningsperiode, hvor stål og træ bidrager betydeligt, mens betonbesparelserne medfører reduktioner. Igen skal det understreges, at dette træscenarie afviger fra de andre med sit øgede behov for stål, da de andre typologier ser reduktioner i behovet for stål. Det står dermed klart, at denne afvigelse har stor påvirkning på det samlede resultat for denne typologi.



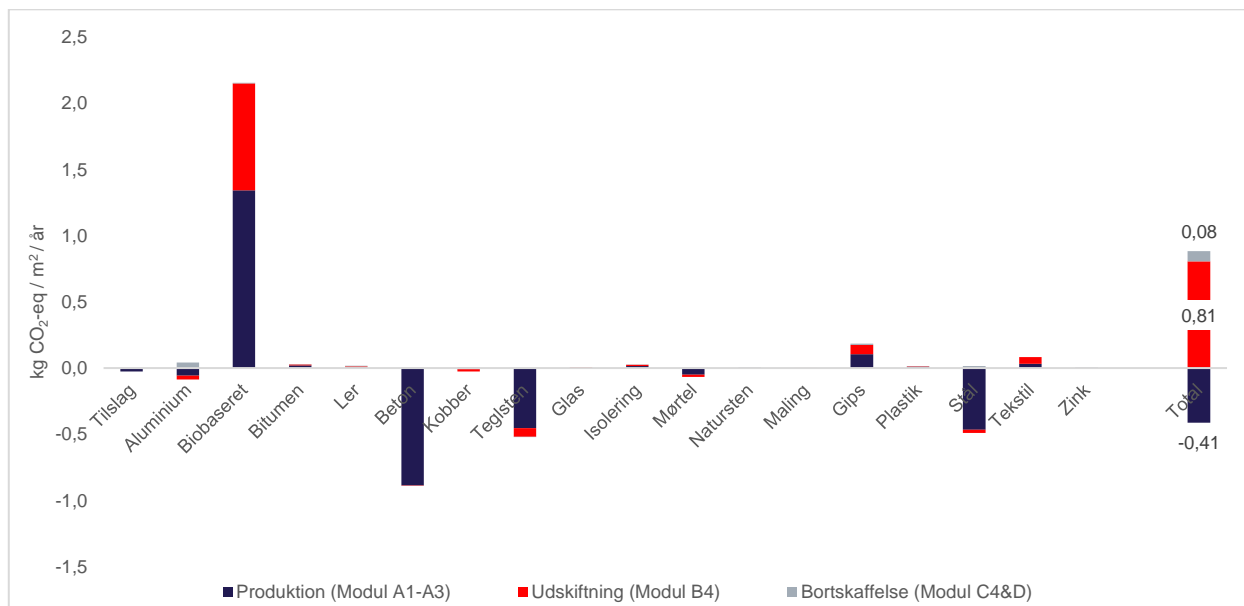
FIGUR 40. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for kontorbygninger (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 100 år.

På figur 41 ses forskellen (differencen) i klimapåvirkningen for et skift til træ for en gennemsnitlig m² for en betragtningsperiode på 100 år. Det observeres, at det ekstra behov for træ bidrager mest til den forhøjede klimapåvirkning, mens der selvfølgelig er mindre påvirkning fra beton og stål siden disse materialer indgår med en væsentlig mindre mængde ved den træbaserede byggeskik. De absolutte reduktioner for beton og stål opvejer dog ikke helt den øgede udledning fra træmaterialerne i dette scenarie. Det største bidrag til træs klimapåvirkning er substitution af cellulosetræ ifm. modellering af træmaterialernes bi-produkter, hvor indirekte arealanvendelse og sekundære processer følger efter (se afsnit 7 for uddybende forklaring og diskussion). Sammenlignet med samme scenarie med 60 års betragtningsperiode, er stigningen i klimapåvirkning markant mindre, men der er dog stadig et samlet yderligere bidrag til klimapåvirkning.



FIGUR 41. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 100 år.

På figur 42 vises ændringen i klimapåvirkningen for en 100-årig betragtningsperiode ved et skift til byggeskik med træ fordelt på livscyklusstadier. Det ses igen, at resultatet for dette scenarie er mest domineret af vedligehold. Ligesom ved resultatet for en 60-årig betragtningsperiode ses et lavere klimaaftryk fra produktionsfasen af bygningen, hvorimod bidraget fra bortskaffelse er lavere sammenlignet med 60-års scenariet. Dette er igen forårsaget af, at nedrivningen af bygningerne forekommer uden for den 100-årige betragtningsperiode, hvorfor udledning af det lagrede kulstof i træet ikke medregnes, samt at de undgåede gevinster fra genanvendelse af stål på samme måde ikke medregnes.



FIGUR 42. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 100 år fordelt på livscyklusfaser.

7 FORTOLKNING OG DISKUSSION AF RESULTATER

Dette afsnit har til formål at fortolke og diskutere resultaterne i nærværende studie. Herigenem vurderes beslutningsstøtten, som dette studie leverer, samt hvordan dette studie bidrager til debatten om anvendelsen af træ i byggeriet i klimøjemed. Overordnet giver studiet indsigt i de forventede påvirkede producenter og produkter ved ændret efterspørgsel, altså de indirekte markedseffekter og dermed indirekte miljøpåvirkninger. De indirekte markedseffekter vurderes ud fra de mest konkurrencedygtige producenter, hvor dette afspejler at der er taget højde for begrænsninger i form af ressourcetilgængelighed, kvoter, politikker mv. Herunder vurderes hvilke påvirkede leverandører og produkter der har størst indflydelse på klimapåvirkningen ved et skifte fra konventionel til træbaseret byggeskik. Ligeledes gives indsigt i tidskorrigeret drivhusgasemissioner, og det dynamiske tidsafhængige forhold mellem midlertidig lagring af biogent kulstof i træmaterialer, og optag og afgivelse af biogent kulstof i skov, og hvordan det kan påvirke klimapåvirkningen fra træ. Dette skal ses i sammenhæng til de specifikt anvendte case-bygninger i dette studie.

Konsekvens-LCA'ens resultater viste, at et skift i byggeskik til træ medfører en stigende klimapåvirkning for enfamiliehuse og kontorer for betragtningsperioderne 60 og 100 år. For etageboliger er resultatet omvendt med en mindre klimapåvirkning ved træbaseret byggeskik for både en 60-årig og 100-årig betragtningsperiode, primært pga. den undgåede stål i alle tre casestudier har større reducerende effekt end klimapåvirkningen fra træ. De absolutte forskelle i klimapåvirkninger mellem konventionel og træbaseret byggeskik er størst ved en 60-årig betragtningsperiode for alle tre bygningstypologier, uanset hvilken byggeskik der har den laveste klimapåvirkning. Basisscenariet viser desuden, at stål og beton er de mest fremtrædende kilder til klimapåvirkning i konventionelt byggeri. Reduktionerne i nogle af scenarierne for byggeskik i træ stadig opvejes af den øgede påvirkning fra træ og i nogle tilfælde andre materialer som gips.

Ses resultaterne på tværs af miljøpåvirkningskategorier observeres generelt en voksende påvirkning ved skift til træbaseret byggeskik for enfamiliehuse og kontorbygninger. For etageboliger medfører byggeskik i træ lavere påvirkning af de fleste andre miljøpåvirkningskategorier ligesom for klimapåvirkning bortset fra naturbeslaglæggelse (begge reference perioder) og terrestrisk økotoxicitet (100-årig reference periode) som vil opleve en øget påvirkning.

Der ses overordnet en stigning i påvirkning på biodiversitet, som resultat af det yderligere behov for naturbeslaglæggelse ved mere brug af træ i byggeriet. Påvirkning af naturbeslaglæggelse betyder at optage en mængde dyrkningsklart areal over en tidsperiode (fx år). De potentielt forsvundne endemiske (oprindelige) arter i denne periode ved den pågældende type landareal repræsenteres ved et skadestål, der giver en indikation af potentialet for reduktion af endemiske arter ift. hvis det areal ikke var anvendt. Dog skal det nævnes at vurdering af påvirkning af biodiversitet er blandt de mest usikre miljøpåvirkningskategorier, som derved skal fortolkes med forbehold, indtil vurderingsmetoderne er yderligere forbedret. Det er derfor klart, at et bredere syn på miljøpåvirkningskategorier er relevant for en samlet vurdering for et skift i byggeskik. Disse andre miljøpåvirkningskategorier er heller ikke medtaget i følsomhedsanalysen, der kun er benyttet til klimapåvirkning ifm. skovmodellen, stål- og cementscenarier.

Det er vigtigt at bemærke, at resultaterne i dette studie skal håndteres og fortolkes på baggrund af de valg og antagelser benyttet i studiet herunder betragtningsperioder,

casestudier, skovmodel, metode for indirekte arealanvendelse, tidskorrigeret af drivhusgasudledninger og sektoraggregering i EXIOBASE. Disse forhold forklares yderligere i det følgende.

7.1 Diskussion af valg og metoder

Det fremgår generelt fra resultaterne, at en længere levetid for bygningerne medfører markante besparelser i klimapåvirkning per år på trods af det større behov for vedligehold og reparationer. Det ses dog for et skift i byggeskik til træ, at det større behov for vedligeholdelse og nye materialer ifm. udskiftninger gennem bygningens levetid, har en betydelig effekt på resultaterne. Ligeledes skal det bemærkes at udledning af biogent kulstof for træ ved endt levetid er influeret af betragtningsperioden, samt genanvendelsesscenariet, da fordelingen mellem træ til genanvendelse og til forbrænding har stor indflydelse på udledningen af dette biogene kulstof i træet. Denne biogene kulstofudledning ved endt levetid regnes derfor ikke med ved en 100-årig betragtningsperiode grundet emissionerne ligger uden for GWP₁₀₀ tids-horisonten, hvorfor, som tidligere forklaret, en CO₂-emission i år 100 eller senere vil have en karakteriseringsfaktor på 0.

7.1.1 Casestudier

Resultaterne afslører, at det i nogle tilfælde er bedst at bygge mere konventionelt byggeri, særligt med beton, og at det andre gange er bedst klimamæssigt set at bygge i træ. Klimapåvirkningerne illustrerer, hvordan de specifikke cases anvendt i dette studie og deres karakteristika betyder meget for den generelle beslutningsstøtte, som kan baseres herpå. Dette studie benytter en stikprøve på tre bygninger per bygningstypologi for begge byggeskikke. Casestudierne er valgt tilfældigt for ikke at favorisere bygninger med bestemte egenskaber inden for hver af de to byggeskikke, hvor der blev udviklet en gennemsnitbygning på basis af de tre casestudier for hver typologi.

Enfamiliehuset i træ, der indeholder en stor mængde ler og ålegræs, har alt biobaseret materiale (ikke ler) modelleret som træ, hvilket er tættere på at repræsentere et gængs træbyggeri, men dog sandsynligvis overestimerer resultatet en anelse for selve casestudiet med ålegræs, da træ forventes at have en højere klimapåvirkning. Det forventes ikke at påvirke den overordnede konklusion i dette studie. Det skyldes den relativt lave klimapåvirkning fra disse to materialer, som ikke forventes at blive reduceret yderligere ved substitution med mere gængse casestudier i træ.

I relation til kontorer i træ udgør stål en del af nogle af de bærende elementer i to af casestudierne ved træbaseret byggeskik. Dette vurderes at have en væsentlig indflydelse på klimapåvirkningen fra kontorer i træ, som muligvis vil ændres ved inddragelse af casestudier, hvor dele af den bærende konstruktion ikke indebærer stål. Omvendt viser det også at nogle kontorbygninger anvender stål for nuværende, men at det vil være vigtigt at fokusere på at bygge uden stål i de bærende konstruktioner, for at reducere klimapåvirkningen fra kontorbygninger i træ.

Den relativt begrænsede stikprøve af casestudier bør udbygges ved fremtidige studier, for at få en repræsentation af bygninger med bredere variation. Derfor kan resultaterne muligvis også ændre sig ved anvendelse af andre casestudier. Der kan med fordel i fremtiden kigges på andre lande, som har en større tradition for byggeri i træ med henblik på at undersøge, hvordan karakteristika for case-bygninger kan ændre sig.

Et andet aspekt med en vis usikkerhed ifm. casestudierne er materialeefterspørgslen ved udskiftninger i begge scenarier for alle bygningstypologier. Først og fremmest er det usikkert at forudsige tendenser for produkter som bygninger, der har så relativ lang levetid, da mange

fremtidige faktorer, udover teknisk holdbarhed, kan influere levetiden som f.eks., nye typer funktionalitet, æstetik, politik osv. Dernæst er de forventede gennemsnitlige levetider for de individuelle materialer også bundet op på en vis usikkerhed fra tekniske over æstetiske og funktionelle egenskaber. Derfor skal materialestrømme og miljøpåvirkninger forbundet med udskiftninger fortolkes med en vis forsigtighed. Det skal også understreges, at produktionsmetoder og affaldsbehandling må forventes at ændre sig markant over bygningernes lange levetid, hvilket medfører yderligere usikkerhed til resultaterne. Eksempelvis kan fremtidige ændringer i stålproduktion, der gør produktionen mere klimavenlig påvirke resultatet. Det samme gælder mere generelle ændringer såsom ændringer i de marginale el-mixes, der har generelt indflydelse på alle aktiviteter i økonomien.

7.1.2 Følsomhedsanalyser

Det fremgik af følsomhedsanalysen, at det marginale stål fra Kina har et betydeligt større klimaaftryk end følsomhedsscenarioet med europæisk stål fra Tyskland. Derfor tyder resultaterne på, at et skift i påvirket leverandør kan have betydelig påvirkning på klimaaftrykket fra byggeri. Som nævnt i rapporten, kan fremtidige ændringer i markedet for stål medvirke til at Kina ikke længere er marginal leverandør af stål. Det kunne f.eks. være tilfældet i et scenarie, hvor lande som Danmark betaler en højere pris for stål fra Europa, hvorigennem en business case for en voksende stålproduktion ville kunne skabes. I følsomhedsscenarioet med tysk cement ses kun en lille forskel i klimapåvirkning, hvilket betyder, at ændringer i det mere lokale marked for cement ikke har den store effekt på klimapåvirkningen af byggeriet.

Det blev vist i følsomhedsanalysen, at inputs i form af rotationstiden i skovmodellen har en markant rolle for resultaterne ved byggeskik i træ mht. klimapåvirkninger. Det er derfor vigtigt at understrege, at afvigelse i skovbrug fra den nærværende modellering potentielt kan have stor indflydelse på resultaterne. Dette illustrerer kompleksiteten i modellering af træ i LCA, hvor mange faktorer kan påvirke resultatet. Derfor vil det være brugbart at undersøge skovbrugsaspekter yderligere i fremtidige studier, for yderligere forståelse og forbedring af analyserne af klimapåvirkninger i denne henseende.

Ligeledes viste følsomhedsscenarioet uden skovmodel, at eksklusionen af denne har indflydelse nok til at ændre den samlede konklusion, da resultatet for den gennemsnitlige m² viser en reduktion i klimapåvirkning ved et skifte til træ i stedet for en øget påvirkning. Dette understøtter vigtigheden af skovmodeller i kontekst af træbyggeri, hvorfor dette må vurderes at være en vital parameter i fremtidigt arbejde indenfor området. Dog viser disse resultater stadig kun mindre besparelser i klimapåvirkning, hvorfor de miljømæssige afvejninger kan diskuteres, f.eks. forskydning af miljøpåvirkning til den øgede påvirkning på biodiversitet som konsekvens af et skift til træ. Resultaterne uden iLUC og uden skovmodel viste en endnu mere markant reduktion i klimapåvirkning ved et skift til træ. Dette iscenesætter hvordan disse inklusioner kan medføre markante ændringer i beslutningsstøtten fra LCA-resultater på dette område. Dette understreger vigtigheden i fremtidig fokus på sådanne mekanismer og deres modeller, da deres indflydelse på resultaterne er så centrale.

7.1.3 Diskussion af metoder og begrænsninger

Desuden blev kviste og grene modelleret til at ligge i skovbunden med udledning af CO₂ over tid, men det kan i nogle situationer blive udnyttet til forskellige andre formål, som ikke er undersøgt i dette studie. Det er ligeledes værd at bemærke at data anvendt til identificeringen af Sverige som påvirket producent ved øget efterspørgsel på træ kun er tilgængelige frem til 2017, hvilket reducerer aktualiteten. Den anvendte metode til beregning af indirekte arealanvendelse er også et valg i forbindelse med dette studie, hvor en anden metode eventuelt kan medføre andre resultater.

Tidskorrigeret af drivhusgasemissioner er benyttet i studiet med en tidshorisont på 100 år som en del af GWP₁₀₀. Dette betyder at emissioner vil have størst påvirkning i år nul og derefter aftage frem mod år 100, hvorfra de antages at have en påvirkning. Det vægter altså nuværende (A1-A3) drivhusgasudledninger højere end udledninger senere i livscyklussen. En anden tilgang kan måske resultere i andre konklusioner.

Slutteligt tilhører gips samme sektor (ækvivalent til proces i bottom-up LCA) som cement EXIOBASE, grundet den relativt højre aggregering i databasens nuværende stadie. Dette skal holdes for øje ved gips' klimapåvirkning, hvilket normalvis vil være lavere end cements. Da resultaterne for et skift til træ viser en højere benyttelse af gips, så vil denne usikkerhed medføre, at udledningen fra gips er overestimeret. Da gips ikke bidrager betydeligt til resultatet, vurderes dette ikke til at ændre de større konklusioner i studiet, men det er dog nævneværdigt.

Generelt har benyttelsen af input-output data betydelig indflydelse på resultaterne og er derfor værd at diskutere. Som tidligere beskrevet har input-output data den fordel, at der arbejdes med fuld komplethed uden arbitrære afskæringer i databasen, hvorfor hele økonomien er inkluderet. Ulempen er, at input-output databaser arbejder med aggregerede sektorer, hvor en lang række produkter kan tilhøre samme sektor, hvilket eksemplet med gips og cement ovenfor illustrerer. Der sker på nuværende tidspunkt betydeligt arbejde for at imødekomme denne ulempe ved input-output databaser. Et eksempel på dette er 'Getting the Data Right'⁴-projektet, hvor målet er en hybrid input-outputdatabase med langt højere granularitet end der eksisterer på nuværende tidspunkt. I fremtiden vil der derfor kunne udarbejdes forbedrede LCA, der undgår disse aggregeringsproblemer.

7.1.4 Diskussion af LCA-tilgang og skovmodellering

Som illustreret gennem studiet er modellering af træ i LCA komplekst, hvor mange relevante faktorer har stor indflydelse på resultatet. Markante dele af klimapåvirkningen fra træ adskiller sig i teorien fra f.eks. emissioner fra fossile brændsler eller kalcineret, da emissioner fra højere efterspørgsel på træ relaterer sig til skoves kulstofcyklus – f.eks. afskovning som effekt af iLUC, hvorimod fx kalcineret introducerer yderligere kulstof til atmosfæren uden for denne cyklus. Det bør dog understreges her, at siden dette studie ser på konsekvenserne af menneskers aktiviteter, hvilket også omfatter ændringer i skovbrug og påvirkning på global arealanvendelse, vil der i praksis ikke adskilles mellem disse typer af emissioner. Her vil både højere efterspørgsel på træ og på f.eks. beton bidrage til yderligere klimapåvirkning på forskellige måder grundet de meget anderledes livscyklusser, som tidligere beskrevet. Et yderligere pres på markedet for land vil fremskynde arealændringer på global plan, og en udvidet efterspørgsel på træ vil medføre yderligere produktion og derfor yderligere klimapåvirkning, selvom begge disse førnævnte relaterer sig til naturlige kulstofkredsløb.

Dette studie afviger fra lignende studier på flere måder. Først og fremmest er de fleste udførte LCA'er attributive, hvorimod dette studie benytter sig af konsekvens-LCA, som besvarer spørgsmål rettet mod kausaliteter og dermed de miljømæssige konsekvenser, der opstår som konsekvens af et valg. Som forklaret tidligere betyder dette, at der er fokus på forventede påvirkede leverandører i markedet samt at eventuelle biprodukter modelleres ved hjælp af substitution, hvor alternativ produktion fortrænges, når et biprodukt leveres til markedet. I dette tilfælde ses dette f.eks. ved biprodukter i savværket, hvor alternativ biomasse fortrænges. I en attributiv LCA vil biprodukter typisk håndteres gennem allokering, hvor en specifik allokeringsnøgle benyttes til at fordele miljøpåvirkningen ud på de samproducerede produkter. Dette

⁴ <https://lca-net.com/projects/show/getting-the-data-right/>

kunne eventuelt være økonomisk værdi eller vægt. Denne fundamentale forskel i system model kan have stor indflydelse på resultaterne.

Desuden er der i dette studie taget højde for indirekte ændringer i arealanvendelse (indirect land use changes - iLUC). Dette illustrerer effekten af at inddrage landareal til produktive formål, produktionsskov i dette studie. Dette er med til at presse det globale marked for landareal, der dermed potentielt kan presse dyrket areal ind på naturarealer. Denne iLUC effekt er naturligvis svær at kvantificere, hvorfor der ingen generel konsensus er på nuværende tidspunkt om dens modellering. Af samme grund er denne effekt ofte udeladt af LCA'er på trods af den kendte store globale klimapåvirkning der relaterer sig til f.eks. afskovning.

Nærværende studie anvender som nævnt en skovmodel til modellering og tidskorrigeret optag og udledning af CO₂ i skoven i takt med træet gror. Fordelen ved anvendelsen af sådan en model er, at et samlet detaljeret resultat for skovens klimapåvirkning kan opgøres. Som illustreret i bilag 5 Tabel 24 ændrer skovmodellens resultater sig markant i de forskellige erstatningsår, da forskellige dele af skoven er medregnet i den 100-årige tidshorisont for klimapåvirkning. Desuden ses det i bilag 5 tabel 25, at skovmodellens klimapåvirkninger for cellulosestrø generelt er betydeligt lavere end for træ til byggeriet. Da cellulosestrø i dette studie er modelleret som den samme svenske skov, som konstruktionstrø, med halveret rotationsstid, viser dette, at skovmodellerne er meget følsomme for ændringer i inputs. Dette blev igen påvist i følsomhedsscenariet med en forøget rotationsstid på 10 år.

Da biprodukterne fra savværket som nævnt modelleres ved hjælp af substitution, betyder dette, at resultatet for cellulosestrø har stor påvirkning på resultatet for træ til byggeriet. Cellulosestrøet har en større reduktion af klimapåvirkningerne i dets skovmodel i dette studie sammenlignet med reduktion af klimapåvirkning fra træs biprodukter ved år nul. Grundet denne større reduktion af klimapåvirkning for cellulosestrø, som vist i bilag 5 tabel 26, vil undgået cellulosestrø medføre yderligere klimapåvirkning, da det erstattes af træs biprodukter med en lavere reduktion af klimapåvirkninger og dermed forekommer en nettoemission af CO₂. Derfor har skovmodellen for cellulosestrø og vurderingen af cellulosestrø som substitueret produkt en væsentlig betydning for træs klimapåvirkning. Det skal understreges at tallene i tabel 26 blot viser cradle-to-gate klimapåvirkning for cellulosestrø. Hvis cellulosestrøet benyttes til f.eks. energiproduktion vil kulstoffet i træet udledes som CO₂. Selv under antagelse af, at biprodukterne fra savværket vil benyttes til f.eks. energiformål, vil resultatet være det samme, da afbrænding af biomassen vil erstatte en lignende afbrænding af cellulosestrø. Begrænsning af træs reducerende klimapåvirkning grundet dets biprodukter modelleret ved substitution er ligeledes fremkommet i få andre studier, der kombinerer konsekvens-LCA med tidsafhængig biogent kulstofoptag og emission ved analyse af træbyggeri (Hansen *et al.*, 2022).

Det skal understreges, at den påviste store følsomhed for skovmodellerne skal tænkes med, når resultaterne fortolkes. Dette studies resultater viser, at fremadrettet videre arbejde med LCA-beregninger af potentialet for træ i byggeriet bør fokusere på udvikling af skovmodeller og så detaljeret modellering af de relevante skove som muligt. Siden markedet for cellulosestrø også påvirkes gennem biprodukter, er dette fokus yderligere centralt, da denne alternative produktion har stor indflydelse på den resulterende klimapåvirkning. Fremadrettet står det derfor klart, at modelleringen af den fortrængte alternative biomasse bør være et fokuspunkt, da andre data og andre antagelser eventuelt kan medføre andre konklusioner i beslutningsstøtten.

Grundet den påviste store indflydelse fra skoven og dens model er det centralt at øge et fremtidigt fokus på de påvirkede leverandører for træ. I en nyligt udgivet rapport, afdækker Brownell *et al.* (2023) det danske marked for træ. Rapporten viser, at det danske forbrug af træ er stigende, hvilket gælder både energisektoren men også byggeriet. Dermed står det klart, at vigtigheden af modellering af træ i LCA vil være stigende i takt med at træ fylder mere i en dansk kontekst. Rapporten viser også Sverige som det primære relevante land for dansk

forbrug af træ. Et fokus bør placeres på disse træmarkeder i fremtiden, da det kan have store implikationer for miljøpåvirkningen fra træ.

REFERENCER

- Aagaard, N.-J., Brandt, E., Aggerholm, S. and Haugbølle, K. (2013) *Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi*, 1.
- Aalborg Portland (2019) *Aalborg Portland rustet sig til fortsat vækst med nye faciliteter i Frankrig*.
- Andersen, C.E., Garnow, A., Sørensen, C.G. and Hoxha, E. (2023) *BUILD*.
- Andersen, C.E., Stranddorf, L.K., Wittchen, A., Rasmussen, F.N. and Birgisdóttir, H. (2021) *BUILD rapport 2021:27 - 20, Klimapåvirkning fra 20 træbyggerier, LCA på eksisterende træbyggerier*.
- Andersen, R. and Negendahl, K. (2023) 'Lifespan prediction of existing building typologies', *J. Build. Eng.*, 65(December 2022), p. 105696. doi:10.1016/j.job.2022.105696.
- Armstrong, J.S. (Ed. . (2001) 'Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners'. Boston: Kluwer Academic Publishers, pp. 417-440. doi:10.1177/1748895811401979.
- Birgisdóttir, H. and Madsen, S.S. (2017) *Bygningers indlejrede energi og miljøpåvirkninger: Vurderet for hele bygningens livscyklus*. Available at: <https://sbi.dk/Assets/Bygningers-indlejrede-energi-og-miljoepaavirkninger/SBi-2017-08.pdf>.
- Bolig og planstyrelsen (2023) *Klimakrav (LCA) i bygningsreglementet*. Available at: <https://bpst.dk/da/Byggeri/Baeredygtigt-byggeri/NY-Klimakrav-i-bygningsreglementet#fra-politisk-aftale-til-ikrafttraedelse-af-klimakrav>.
- Bygcirkulaert (no date) *Viden om glas*. Available at: <http://www.bygcirkulaert.dk/portfolio-items/viden-om-glas/>.
- Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P.O., et al. (2020) 'Buildings as a global carbon sink', *Nat. Sustain. Nature Research*, pp. 269–276. doi:10.1038/s41893-019-0462-4.
- Consequential-LCA (2021) *Why and when?* Available at: <https://consequential-lca.org/cica/why-and-when/> (Accessed: 24 March 2023).
- Danmarks Statistik (2023) *Statistikbanken*. Available at: <https://www.statistikbanken.dk/BYGV01>.
- DS/EN ISO 14044 (2008) 'Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines – DS/EN ISO 14044'. Danish Standards.
- Ecoinvent (2019) *Ecoinvent*. Available at: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/>.
- FAO (2020) 'FAOSTAT - Forestry Production and Trade'. Available at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>.
- Fishman, T., Schandl, H. and Tanikawa, H. (2016) 'Stochastic Analysis and Forecasts of the Patterns of Speed, Acceleration, and Levels of Material Stock Accumulation in Society', *Environ. Sci. Technol.*, 50(7), pp. 3729-3737. doi:10.1021/acs.est.5b05790.
- Forsyningsministeriet, K.-E. (2020) 'Lov om klima' , (965).
- Goedkoop, M. and Spriensma, R. (2001) *The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*.
- Häfliger, I.F., John, V., Passer, A., et al. (2017) 'Buildings environmental impacts' sensitivity related to LCA modelling choices of construction materials', *J. Clean. Prod.*, 156, pp. 805–816. doi:10.1016/j.jclepro.2017.04.052.
- Hansen, R.N., Rasmussen, F.N., Ryberg, M. and Birgisdottir, H. (2022) 'Wood as a carbon mitigating building material: A review of consequential LCA and biogenic carbon characteristics', *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 1078(1). doi:10.1088/1755-

1315/1078/1/012066.

Huuhka, S. and Kolkwitz, M. (2021) 'Stocks and flows of buildings: Analysis of existing, demolished, and constructed buildings in Tampere, Finland, 2000–2018', *J. Ind. Ecol.*, 25(4), pp. 948–960. doi:10.1111/jiec.13107.

Hyndman, R. J. and Athanasopoulos, G. (2021) *Holt-Winters' seasonal method. Forecasting: principals and 5 practice, 3rdEd.*

li, B., Huntley, P., Emilov, B. and Scott, N. (2023) *Wood flows through the Danish economy.*

IPCC (2014) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability - Summary for policy makers, Contrib. TO FIFTH Assess. Rep. Intergov. PANEL Clim. Chang.* doi:10.1017/cbo9780511976988.002.

Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., et al. (2003) 'IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology', *Int. J. Life Cycle Assess.*, 8(6), pp. 324–330. doi:10.1007/BF02978505/METRICS.

Li, Q., Gummidi, S.R.B., Lanau, M., Yu, B. and Liu, G. (2022) 'Spatiotemporally Explicit Mapping of Built Environment Stocks Reveals Two Centuries of Urban Development in a Fairytale City, Odense, Denmark', *Environ. Sci. Technol.*, 56(22), pp. 16369–16381. doi:10.1021/acs.est.2c04781.

Makridakis, S., Wheelwright, S.C. and Hyndman, R.J. (2008) 'Forecasting methods and applications', in *John wiley sons.*

Marinova, S., Deetman, S., van der Voet, E. and Daioglou, V. (2020) 'Global construction materials database and stock analysis of residential buildings between 1970-2050', *J. Clean. Prod.*, 247, p. 119146. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119146.

McKinsey (2019) *New Plastics Economy: A RESEARCH, INNOVATION AND BUSINESS OPPORTUNITY FOR DENMARK.* Available at: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured>.

Miljøstyrelsen (2020) *Affaldsstatistik 2020.*

Müller, D.B. (2006) 'Stock dynamics for forecasting material flows-Case study for housing in The Netherlands Dynamic modelling Prospects for resource demand Waste management Vintage effects Diffusion processes', *Ecol. Econ.*, 9, pp. 142–156. doi:10.1016/j.eco.

Pizzol, M. and Scotti, M. (2016) 'Identifying marginal supplying countries of wood products via trade network analysis', *Int. J. Life Cycle Assess.*, 22(7), pp. 1146–1158. doi:10.1007/S11367-016-1222-6.

Potting, J.J. and Hauschild, M.Z. (2005) *Spatial differentiation in Life Cycle impact assessment - The EDIP2003 methodology, Danish Environ. Prot. Agency.* Available at: <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2005/87-7614-579-4/pdf/87-7614-580-8.pdf>.

Regeringens klimapartnerskaber (2020) *Anbefalinger til regeringen fra Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren.*

De Rosa, M., Knudsen, M.T. and Hermansen, J.E. (2016a) 'A comparison of Land Use Change models: challenges and future developments', *J. Clean. Prod.*, 113, pp. 183–193. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2015.11.097.

De Rosa, M., Schmidt, J., Brandão, M. and Pizzol, M. (2016b) 'A flexible parametric model for a balanced account of forest carbon fluxes in LCA', *Int. J. Life Cycle Assess.*, 22(2), pp. 172–184. doi:10.1007/S11367-016-1148-Z.

Sandberg, N.H., Sartori, I. and Brattebø, H. (2014) 'Using a dynamic segmented model to examine future renovation activities in the Norwegian dwelling stock', *Energy Build.*, 82, pp. 287–295. doi:10.1016/j.enbuild.2014.07.005.

Schmidt, J.H. and Austudillo, M.. (2019) *Webinar | EXIOBASE 3 in SimaPro.* Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=OZtXlFo5--Q> (Accessed: 24 February 2023).

Schmidt, J.H. and Brandao, M. (2013) *LCA screening of biofuels - iLUC , biomass manipulation and soil carbon, Concito - Danmarks Grønne Tænketa*. Available at: https://concito.dk/files/dokumenter/artikler/biomasse_bilag1_lcascreening.pdf.

Schmidt, J.H. and Dalgaard, R. (2016) *Potentialer og barrierer for brugen af træ og bæredygtigt træ i byggeriet*.

Schmidt, J.H., Weidema, B.P. and Brandão, M. (2015) 'A framework for modelling indirect land use changes in Life Cycle Assessment', *J. Clean. Prod.*, 99, pp. 230–238. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2015.03.013.

Soust-Verdaguer, B., Obrecht, T.P., Alaux, N., *et al.* (2023) 'Using systematic building decomposition for implementing LCA: The results of a comparative analysis as part of IEA EBC Annex 72', *J. Clean. Prod.*, 384. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2022.135422.

VisualCapitalist (2020) *Visualizing 50 Years of Global Steel Production*. Available at: <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-50-years-of-global-steel-production/> (Accessed: 24 March 2023).

Weidema, B.P. (2009) 'Using the budget constraint to monetarise impact assessment results', *Ecol. Econ.*, 68(6), pp. 1591–1598. doi:10.1016/J.ECOLECON.2008.01.019.

Weidema, B.P., Wesnae, M., Hermansen, J., Kristensen, I. and Halberg, N. (2008) *Environmental improvement potentials of meat and dairy products (EUR 23491)*, JRC - Eur. Com. doi:10.2791/38863.

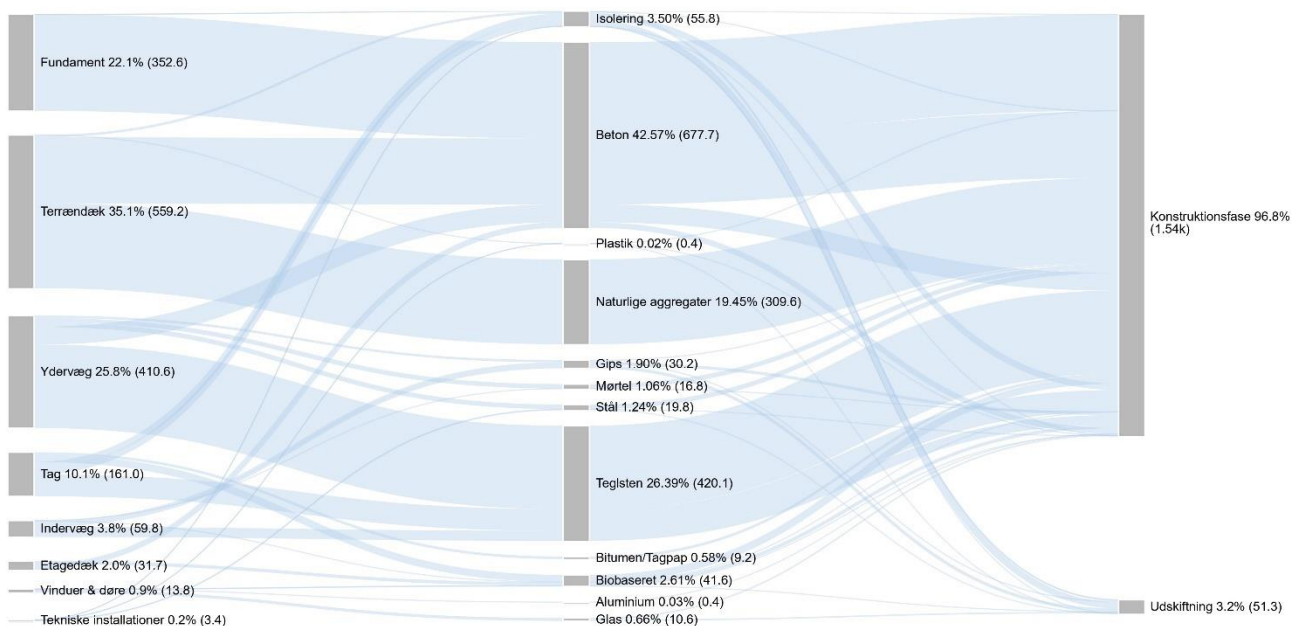
Zaiontz, C. (2020) *Real Statistics Using Excel*. Available at: www.real-statistics.com.

Zimmermann, R.K., Andersen, C.E., Kanafani, K. and Birgisdóttir, H. (2020) *Klimapåvirkning fra 60 bygninger: Muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger*. Polyteknisk Boghandel og Forlag ApS.

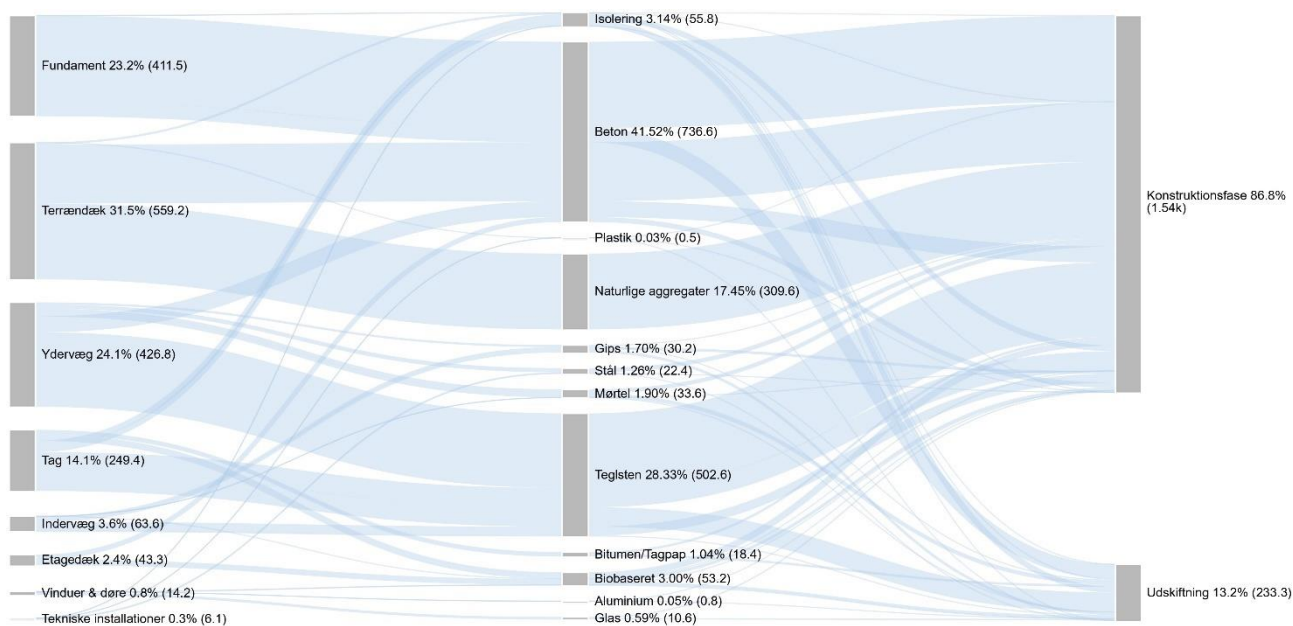
BILAG 1 – CASEBYGNINGER

Konventionel byggeskik

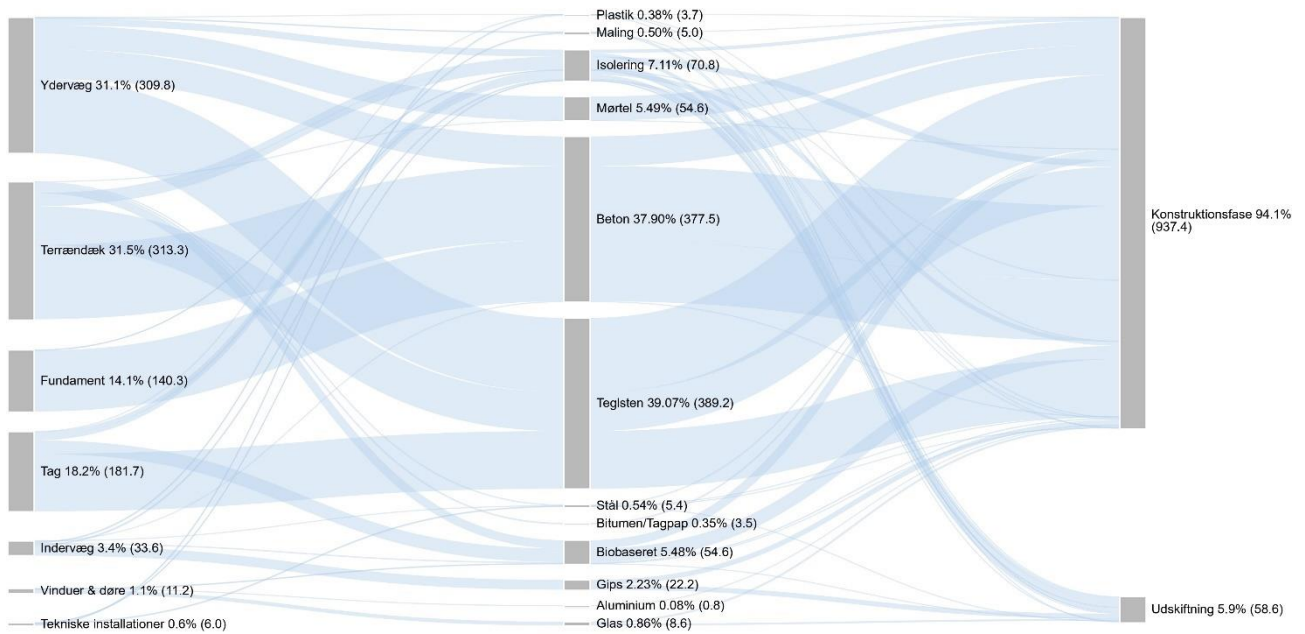
Enfamiliehuse



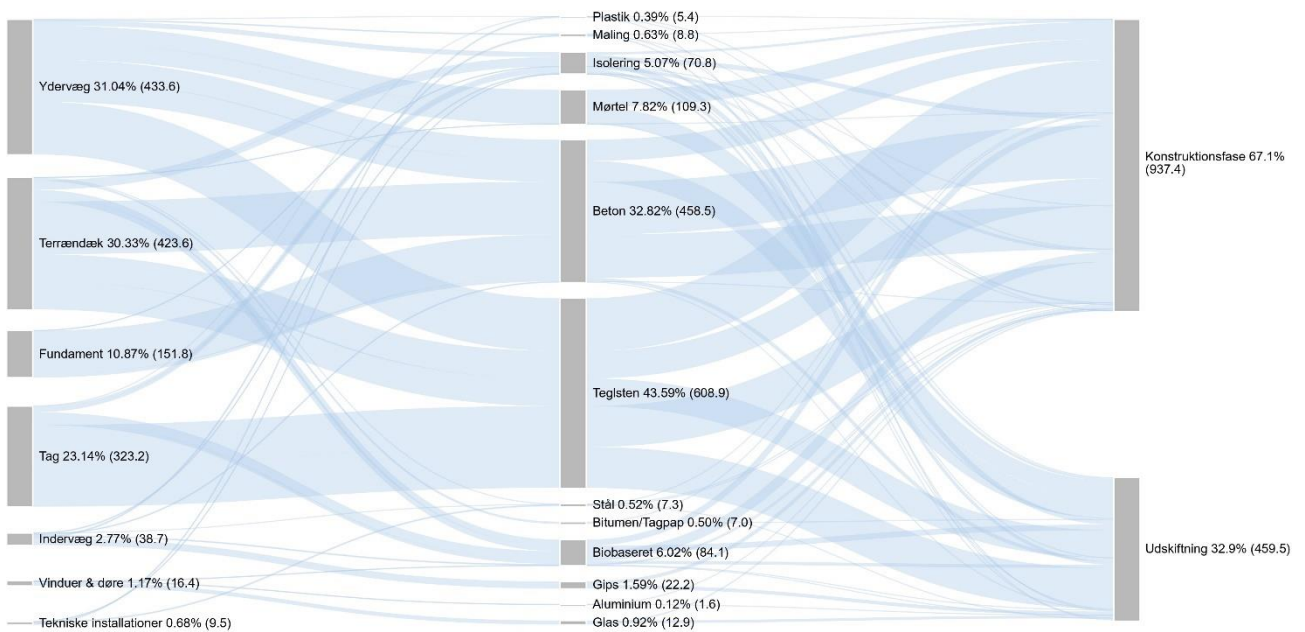
FIGUR 43. Materiale-mængder for enfamiliehus 1 for konventionel byggeskik (Enf,01) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



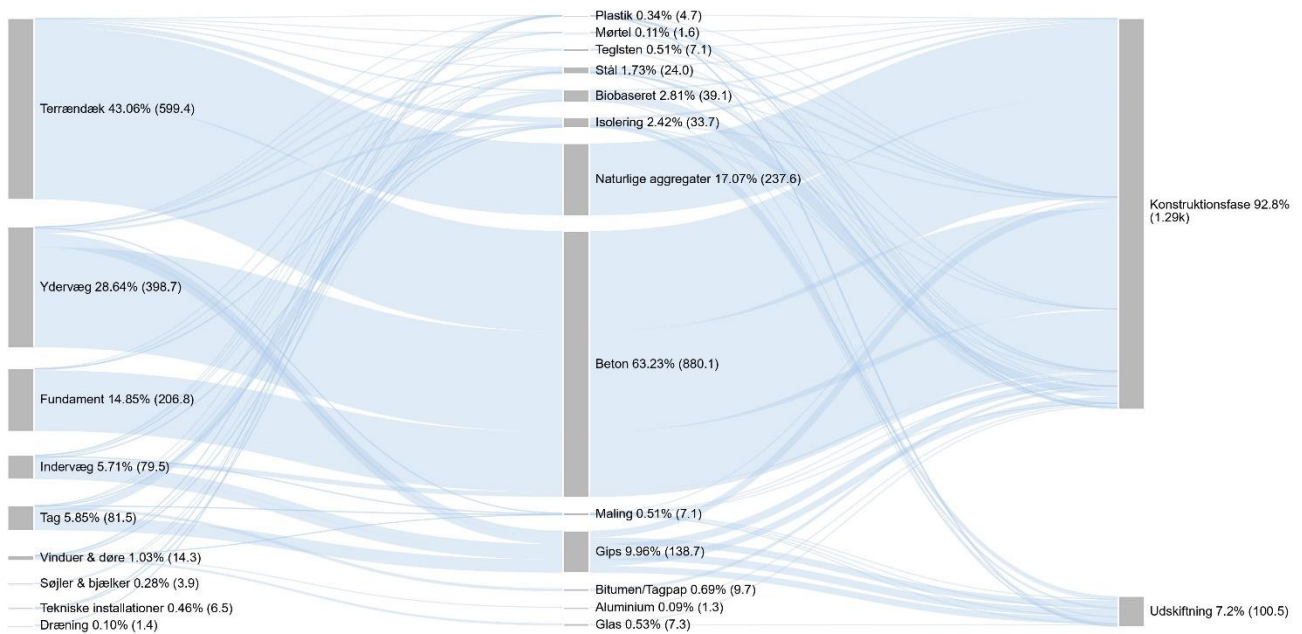
FIGUR 44. Materiale-mængder for enfamiliehus 1 for konventionel byggeskik (Enf,01) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



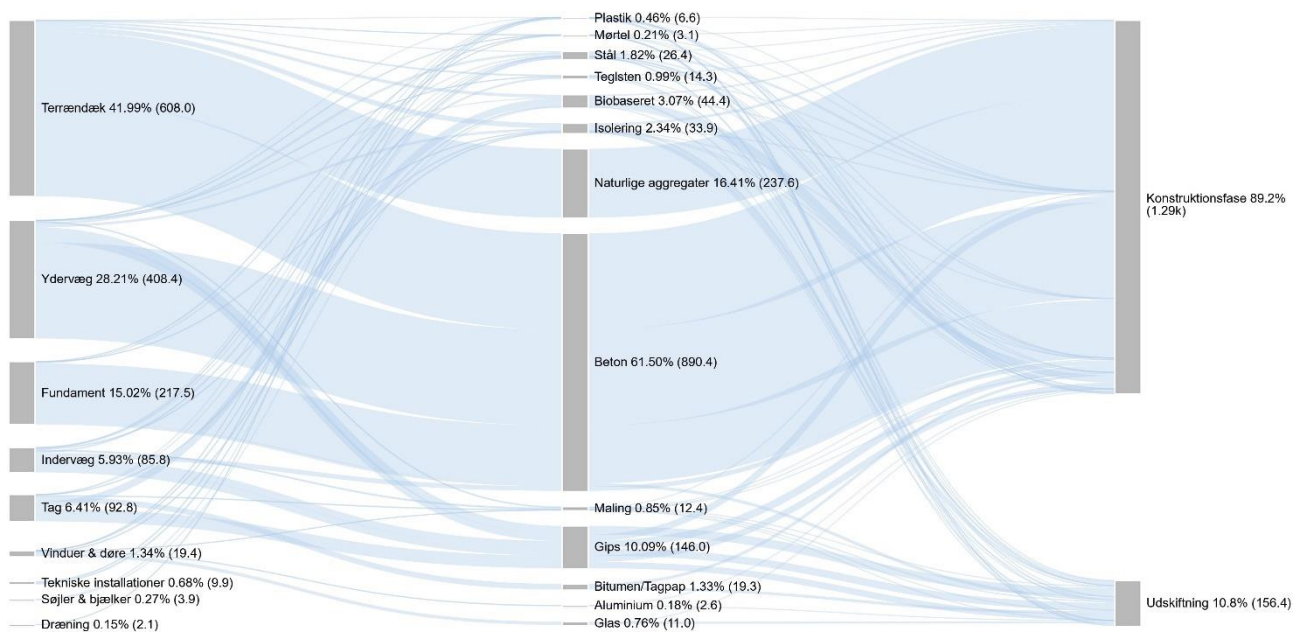
FIGUR 45. Mængder for enfamiliehus 2 for konventionel byggeskik (Enf.02) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



FIGUR 46. Mængder for enfamiliehus 2 for konventionel byggeskik (Enf.02) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

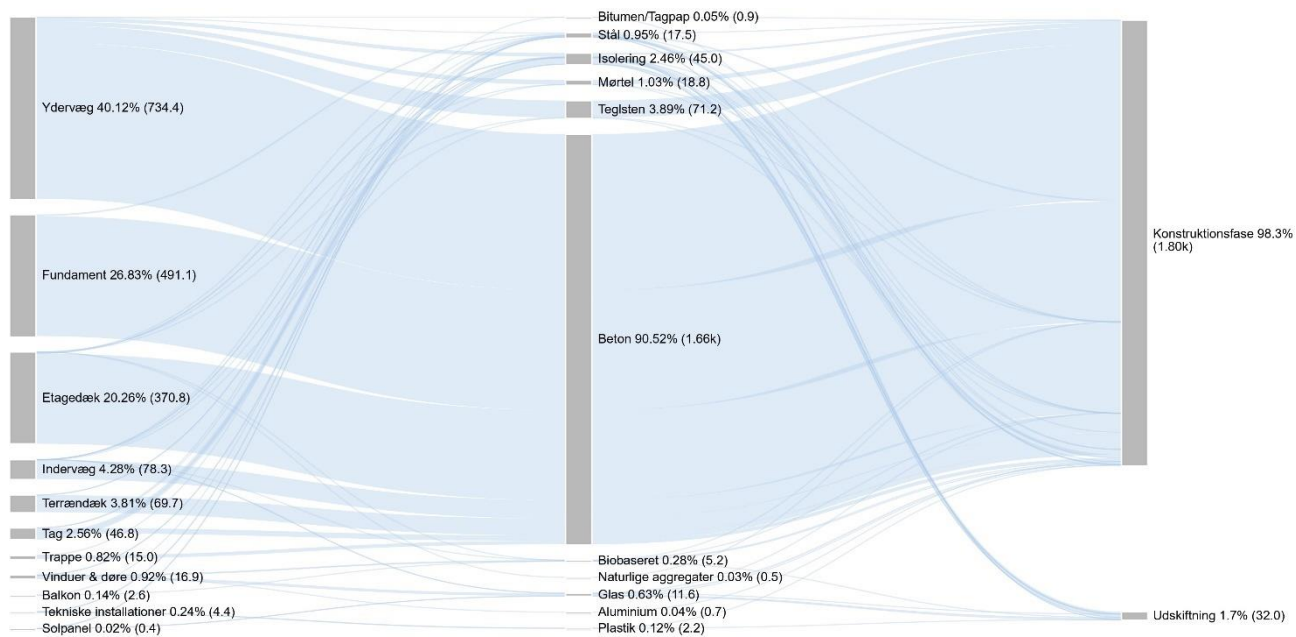


FIGUR 47. Materiale-mængder for enfamiliehus 3 for konventionel byggeskik (Enf,03) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

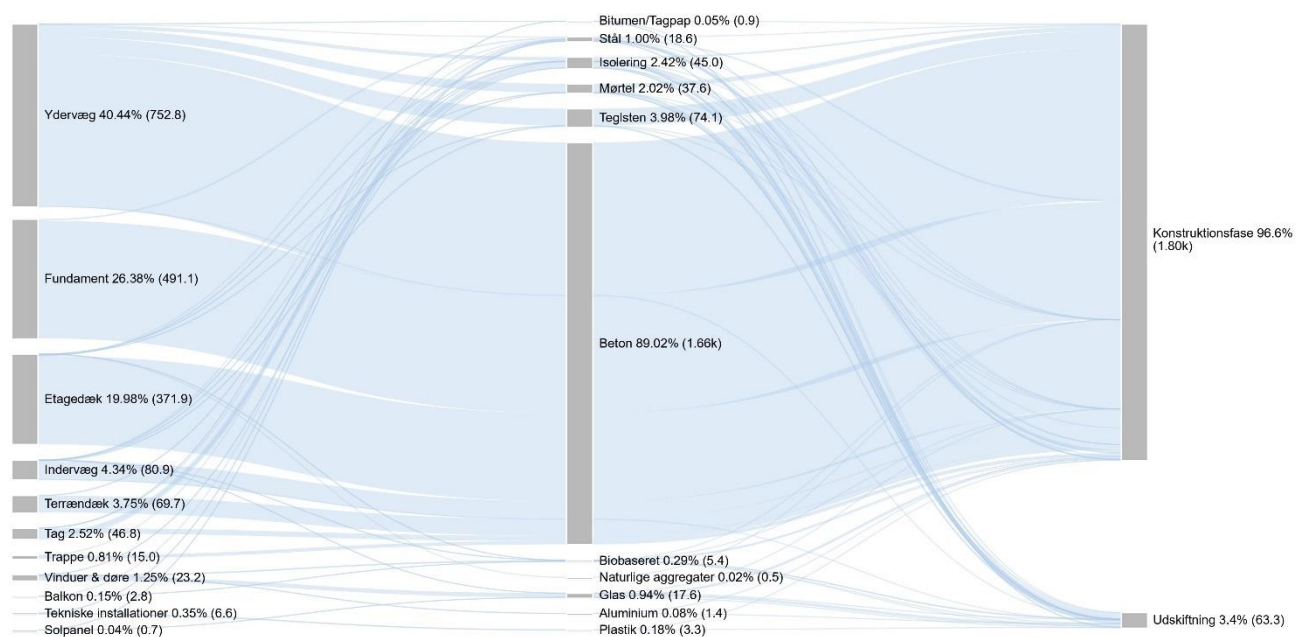


FIGUR 48. Materiale-mængder for enfamiliehus 3 for konventionel byggeskik (Enf,03) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

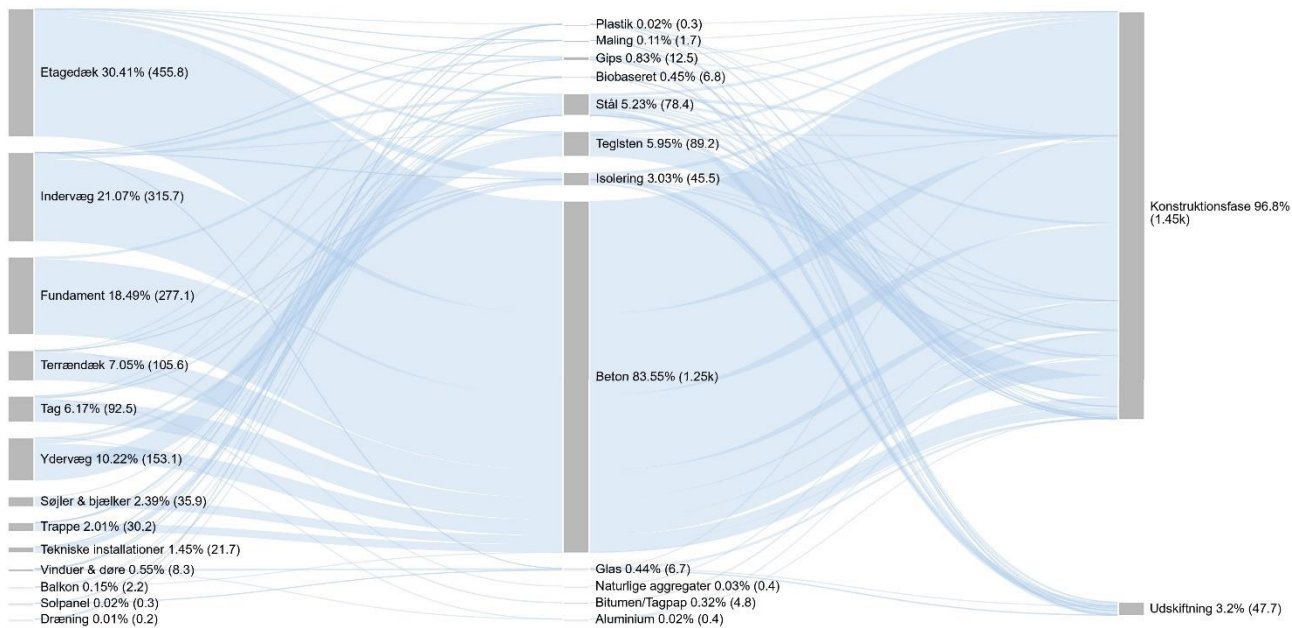
Etageboliger



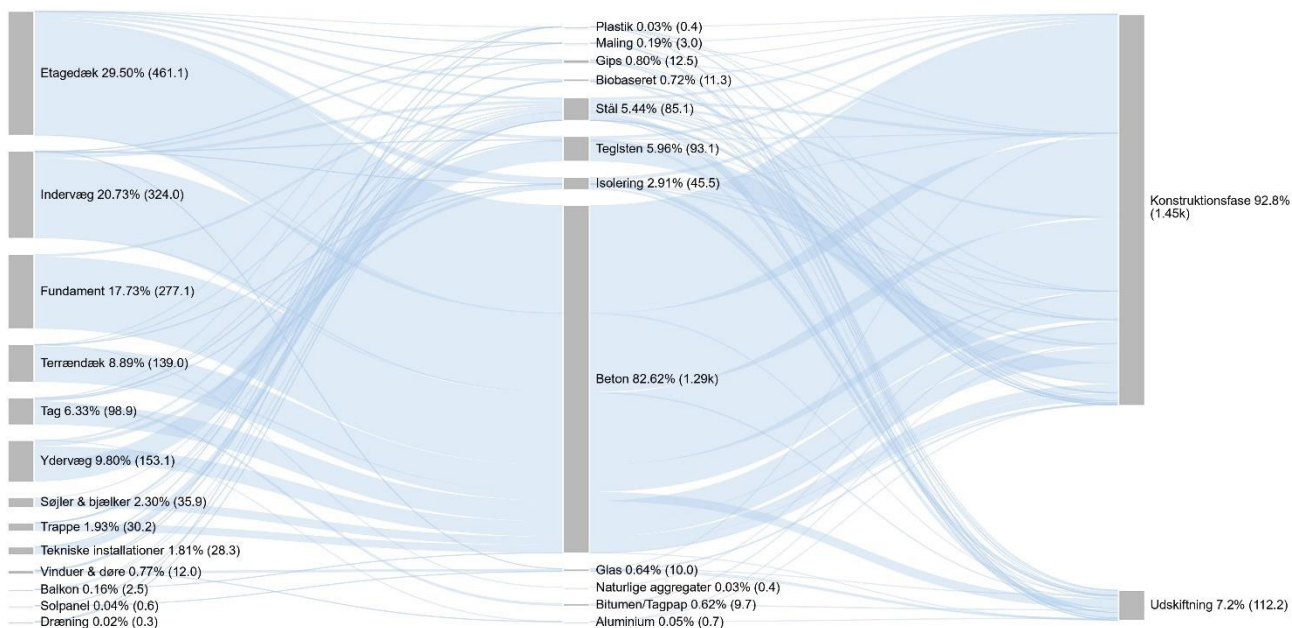
FIGUR 49. Mængder for etagebolig 1 for konventionel byggeskik (Eκ01) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



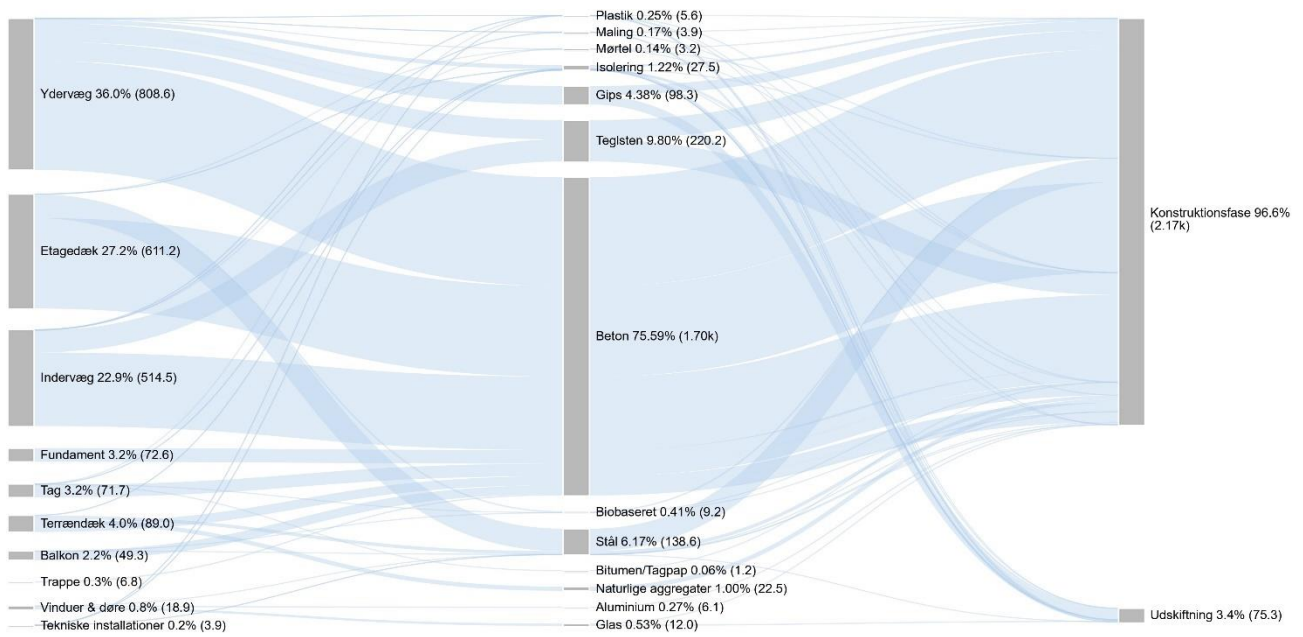
FIGUR 50. Mængder for etagebolig 1 for konventionel byggeskik (Eκ01) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



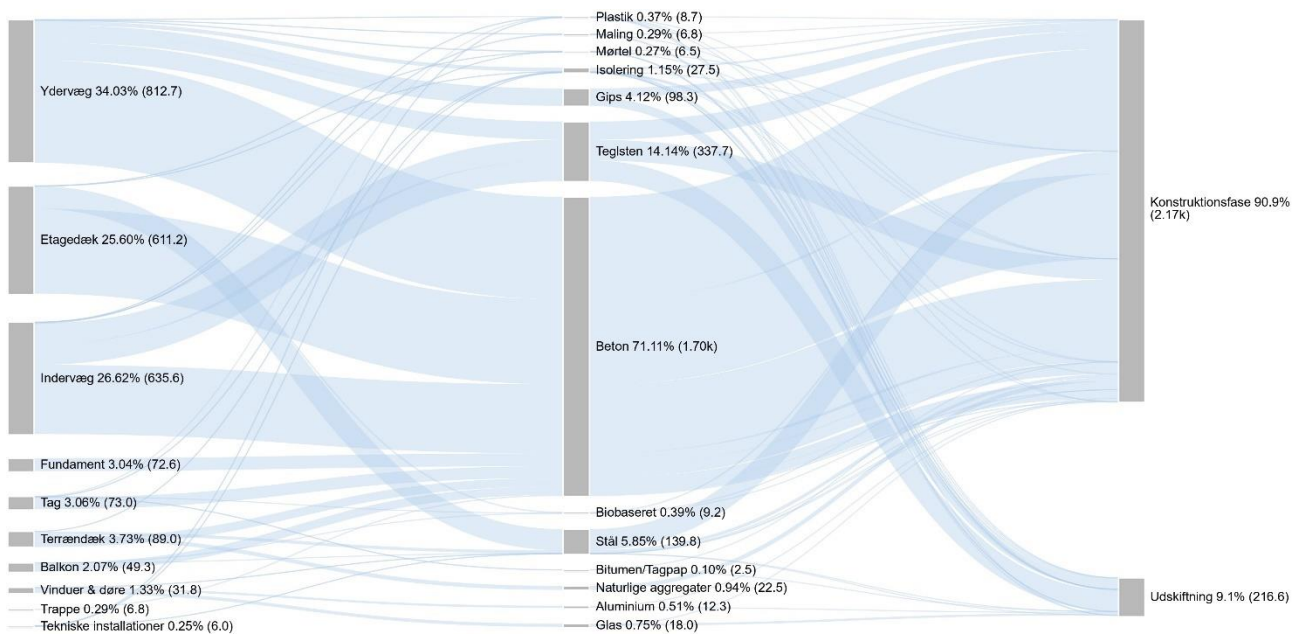
FIGUR 51. Materiale-mængder for etagebolig 2 for konventionel byggeskik (E_k02) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



FIGUR 52. Materiale-mængder for etagebolig 2 for konventionel byggeskik (E_k02) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

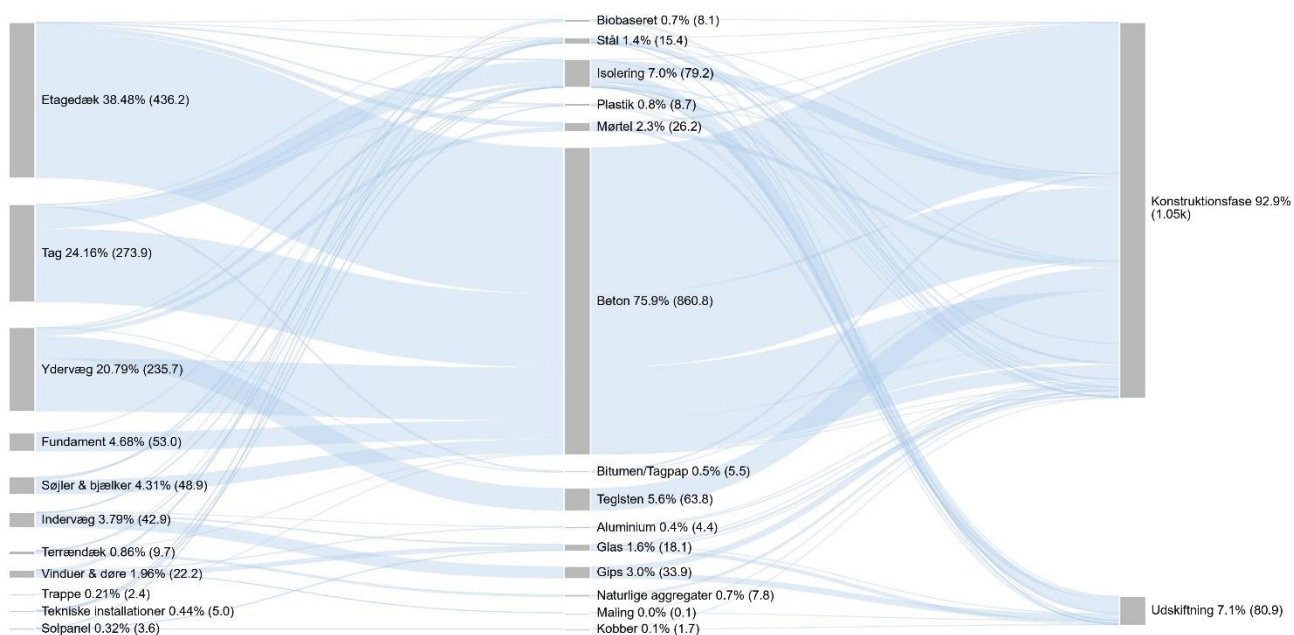


FIGUR 53. Materiemængder for etagebolig 3 for konventionel byggeskik (E_k03) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

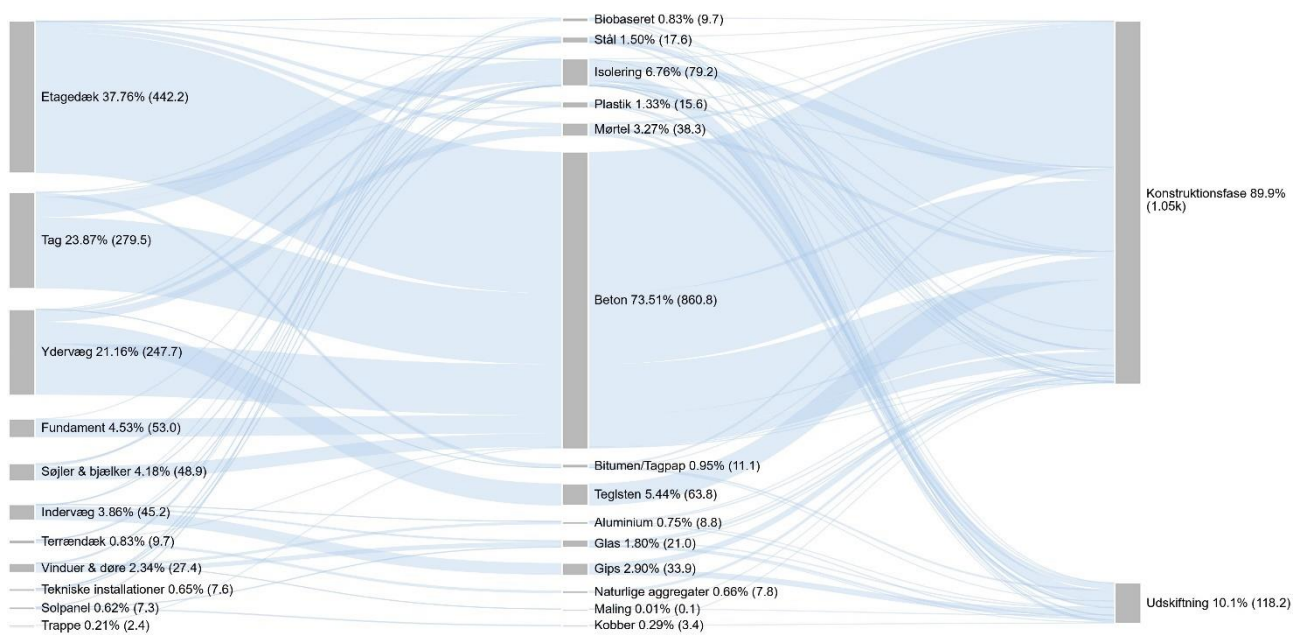


FIGUR 54. Materiemængder for etagebolig 3 for konventionel byggeskik (E_k03) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

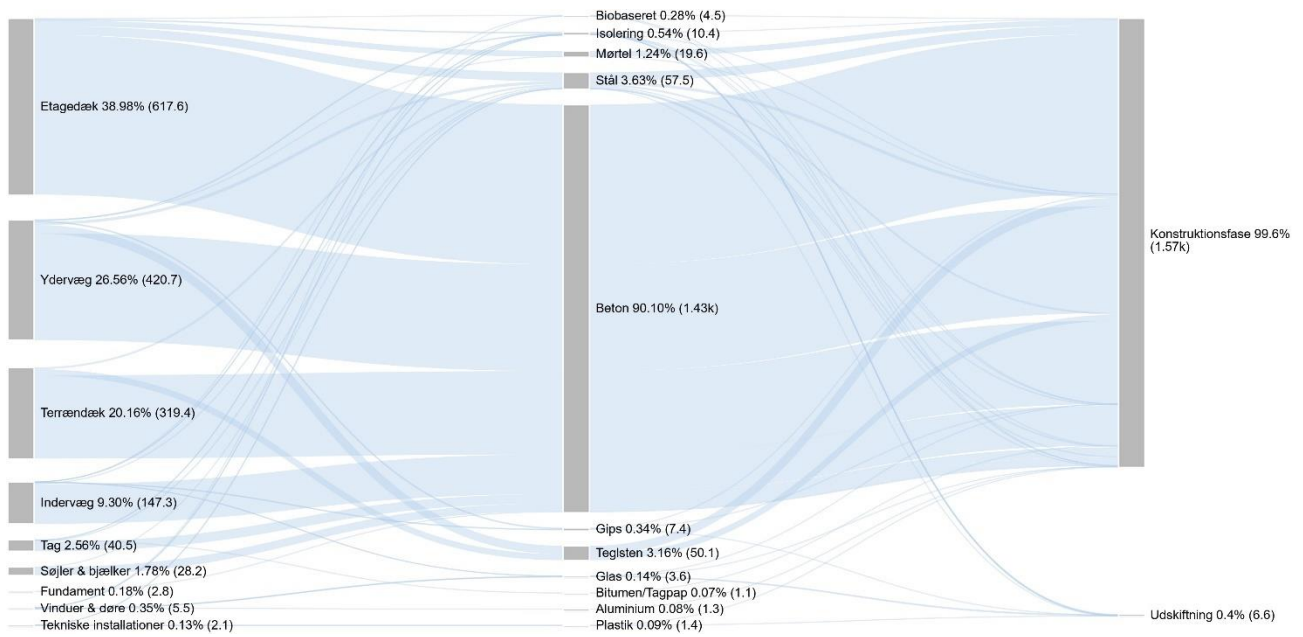
Kontorbygninger



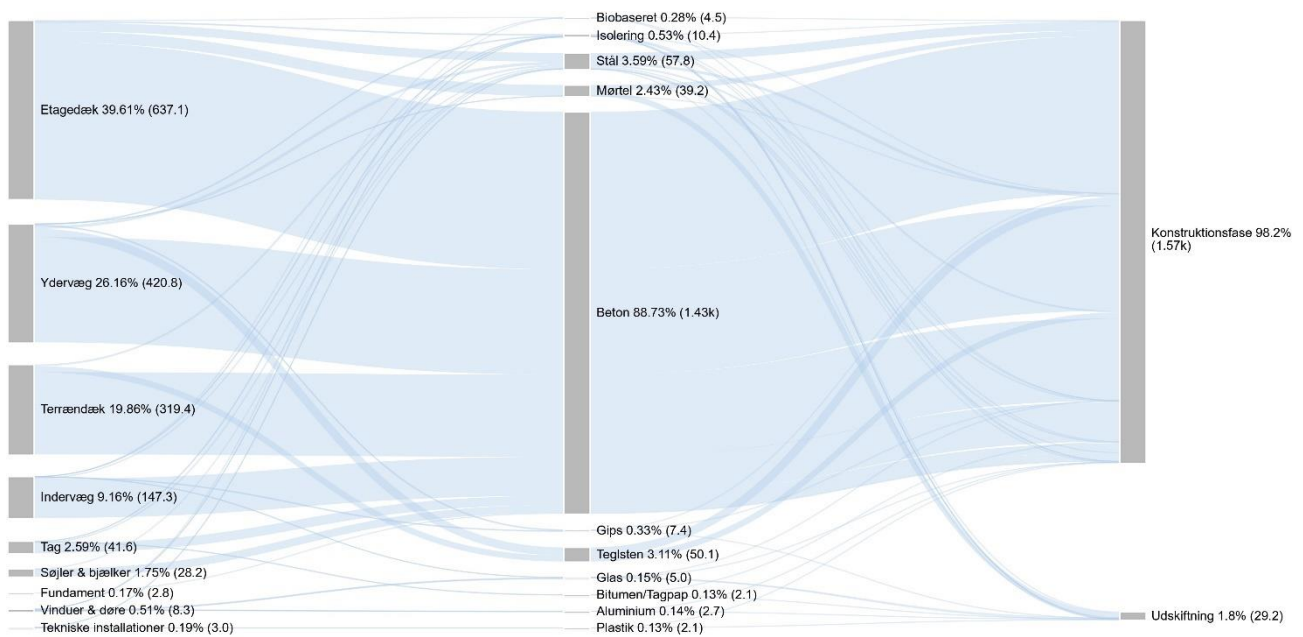
FIGUR 55. Mængder for kontorbygning 1 for konventionel byggeskik (K01) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



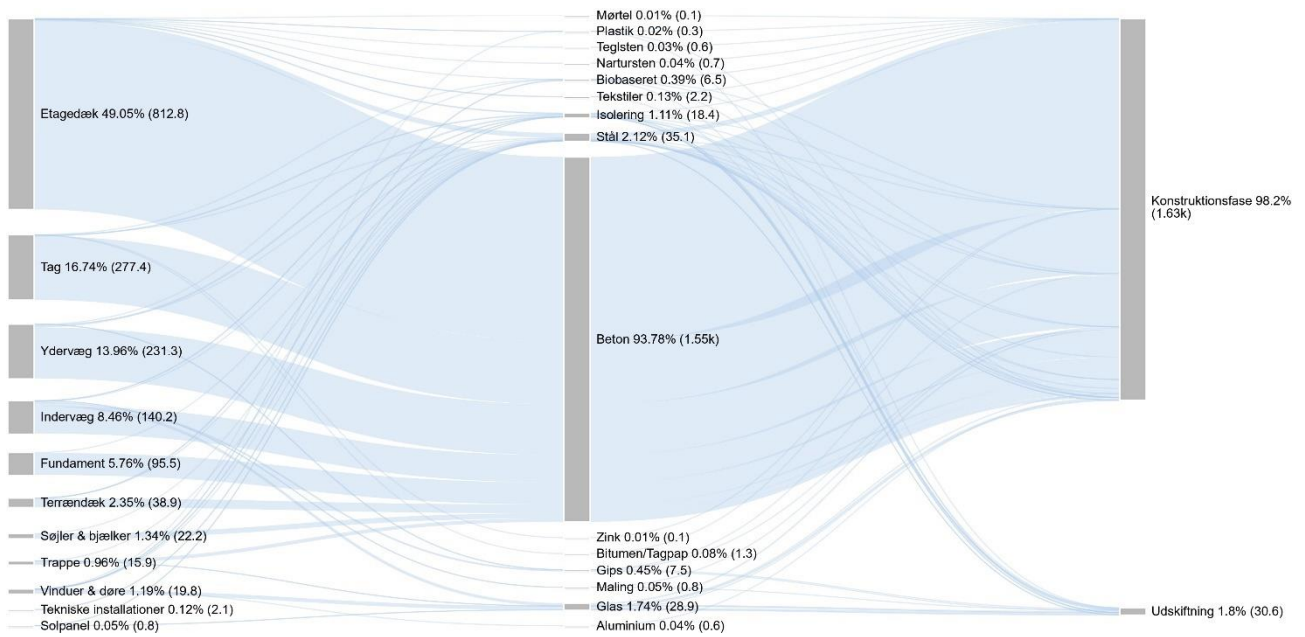
FIGUR 56. Mængder for kontorbygning 1 for konventionel byggeskik (K01) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



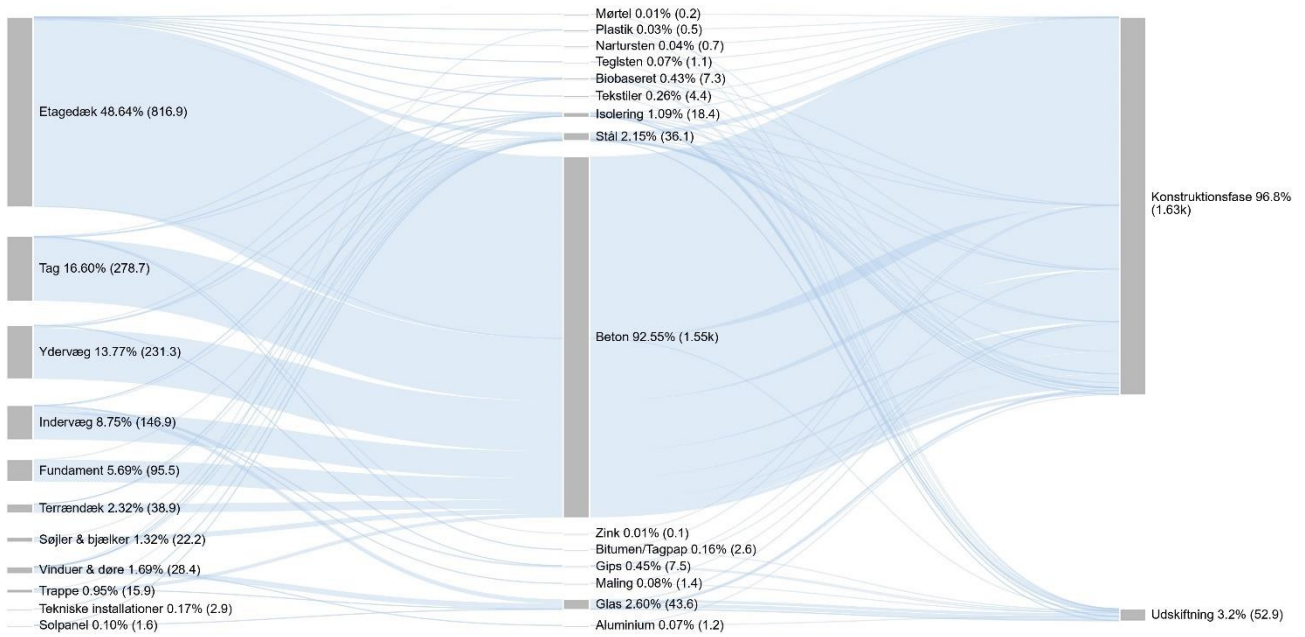
FIGUR 57. Materiale-mængder for kontorbygning 2 for konventionel byggeskik (K_k02) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



FIGUR 58. Materiale-mængder for kontorbygning 2 for konventionel byggeskik (K_k02) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



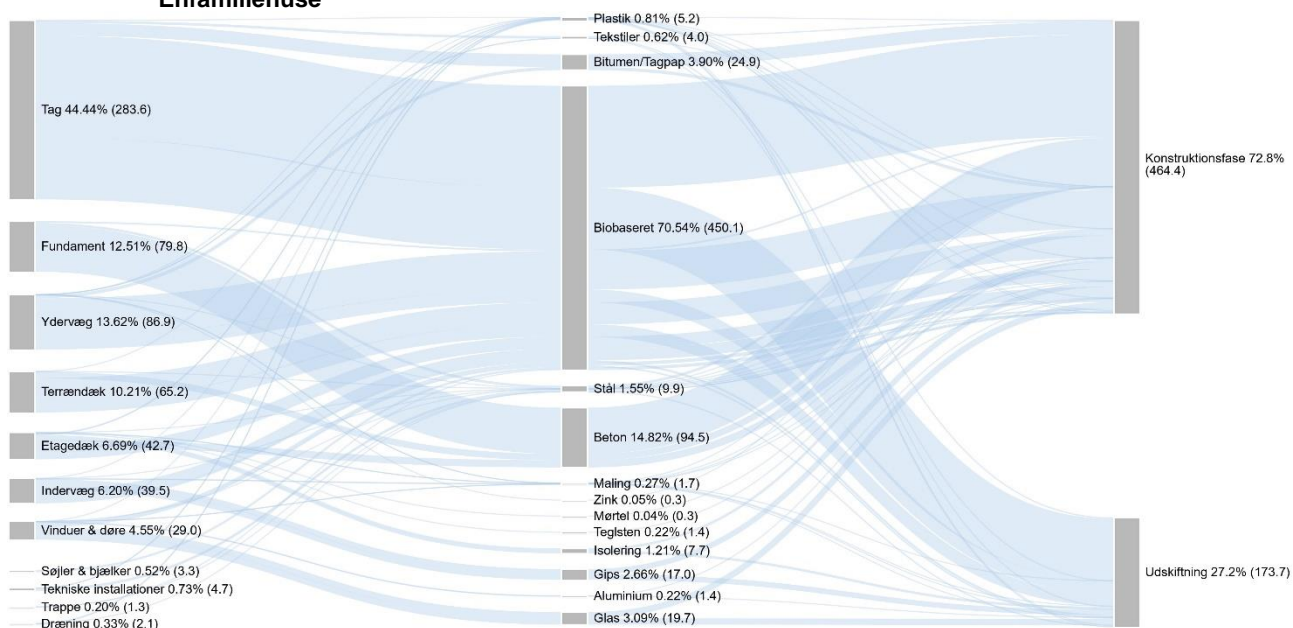
FIGUR 59. Materiale-mængder for kontorbygning 3 for konventionel byggeskik (K_k03) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



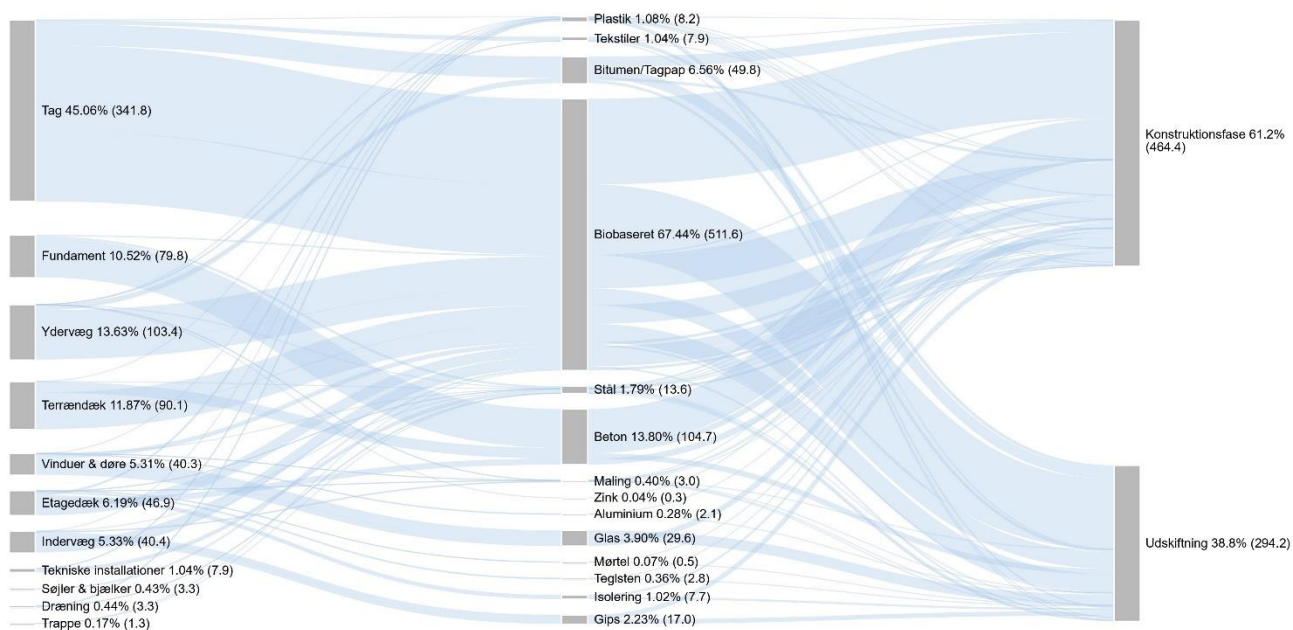
FIGUR 60. Materiale-mængder for kontorbygning 3 for konventionel byggeskik (K_k03) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

Træbaseret byggeskik

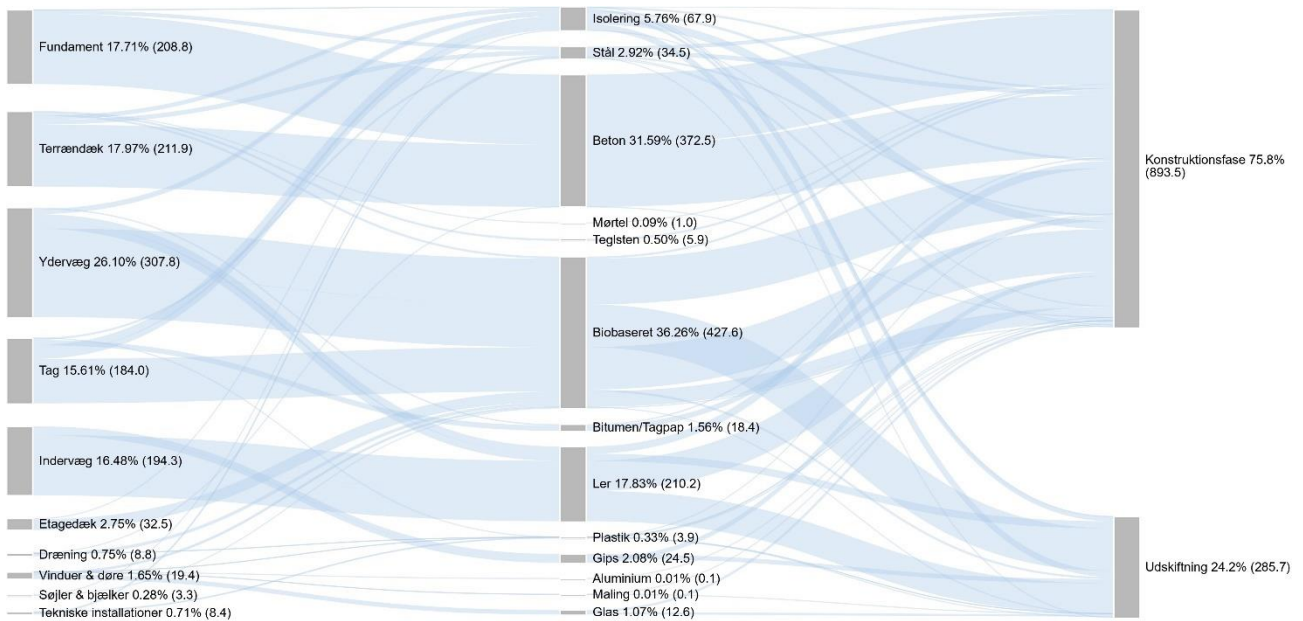
Enfamiliehuse



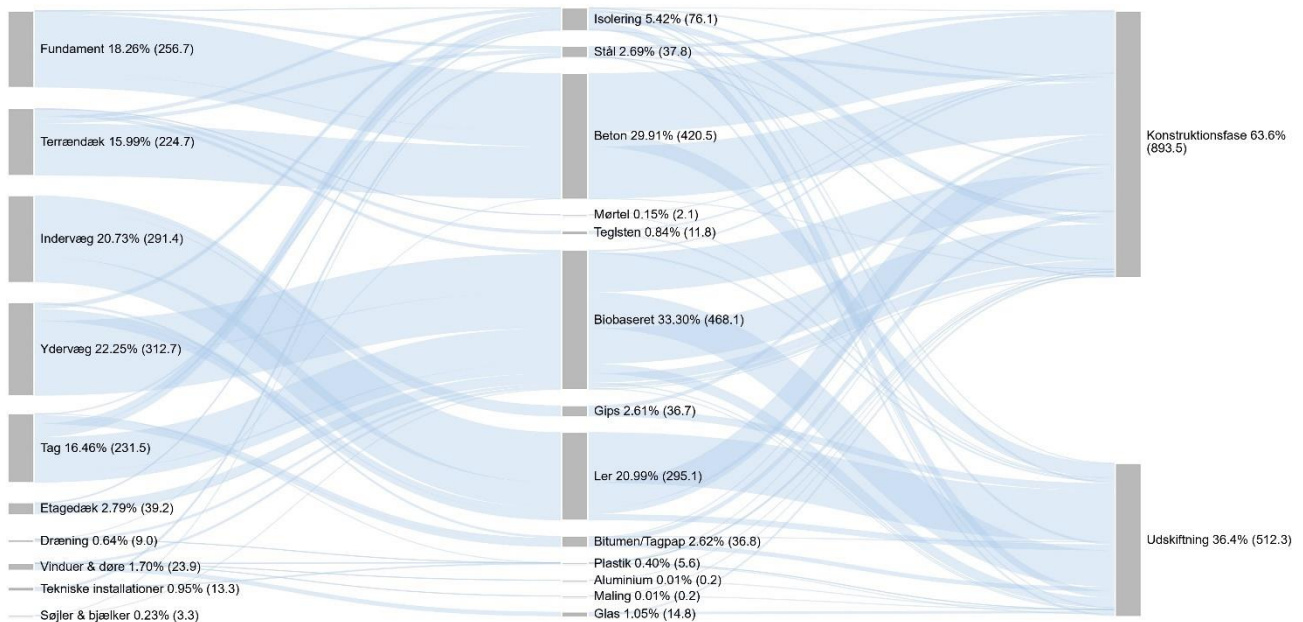
FIGUR 61. Materiale-mængder for enfamiliehus 1 for træbaseret byggeskik (Enf:01) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



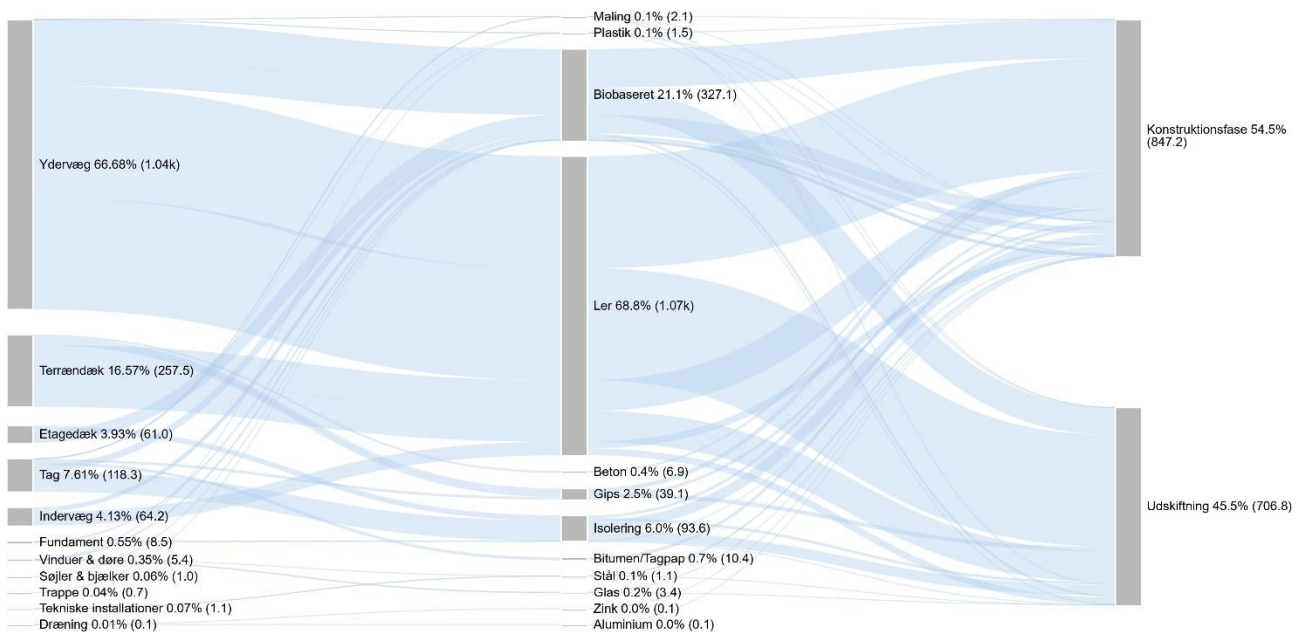
FIGUR 62. Materiale-mængder for enfamiliehus 1 for træbaseret byggeskik (Enf:01) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



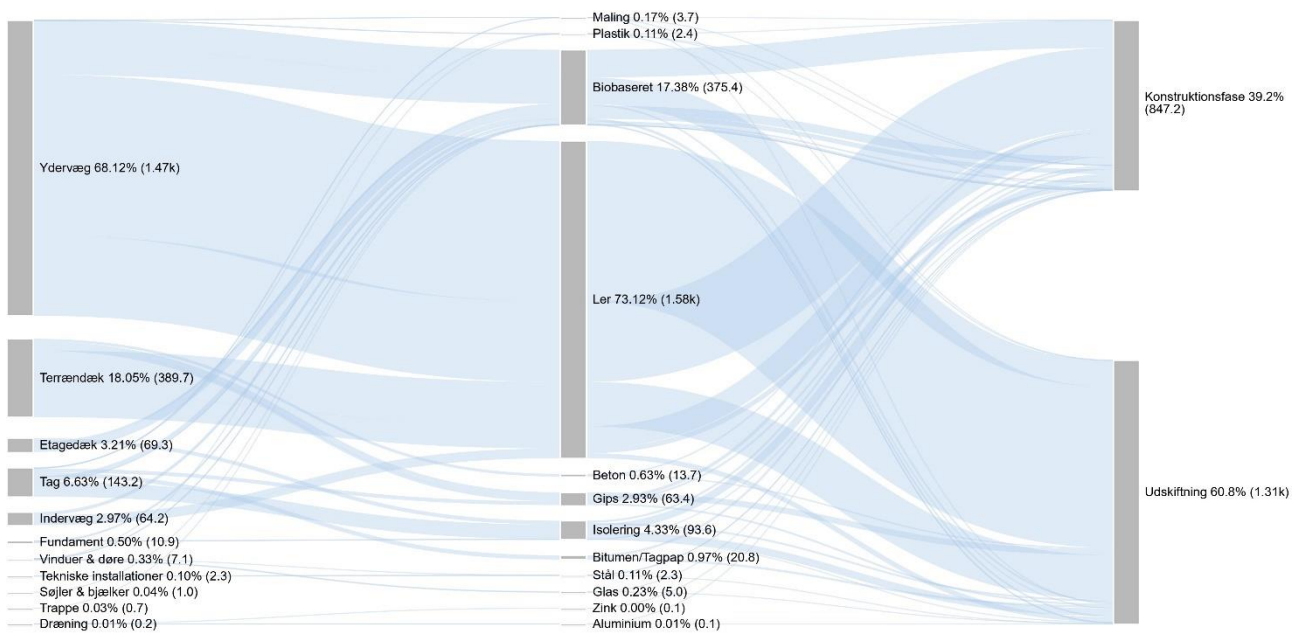
FIGUR 63. Materiale-mængder for enfamiliehus 2 for træbaseret byggeskik (Enfr02) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



FIGUR 64. Materiale-mængder for enfamiliehus 2 for træbaseret byggeskik (Enfr02) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

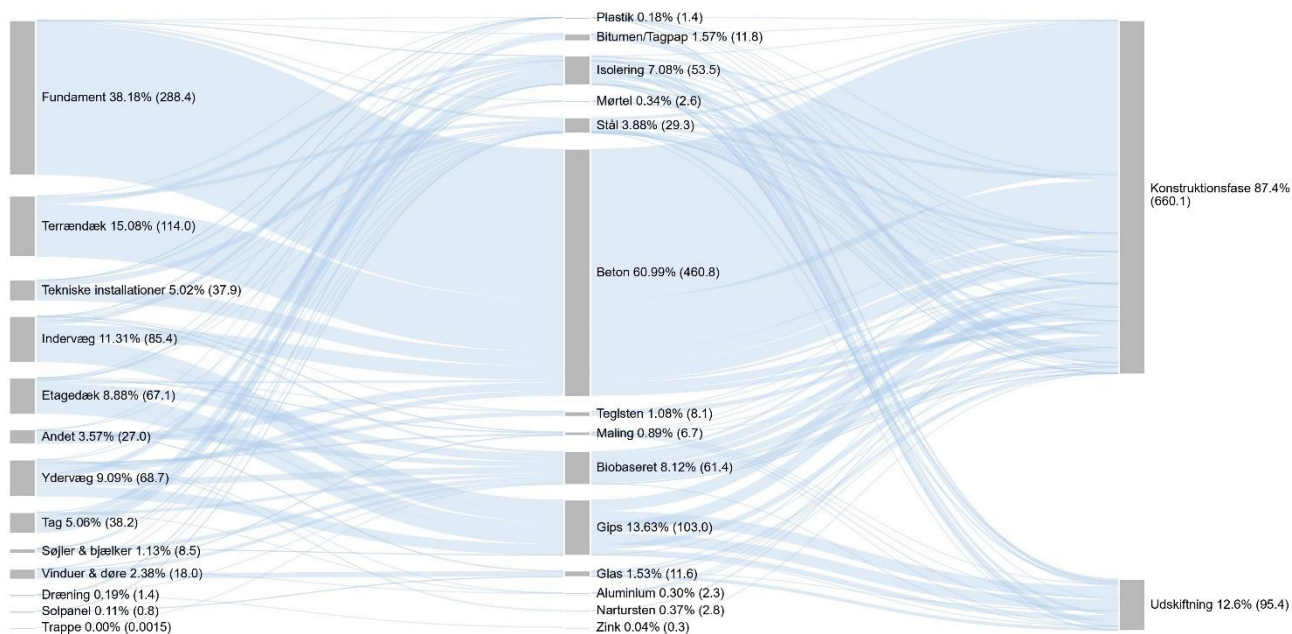


FIGUR 65. Materiale-mængder for enfamiliehus 3 for træbaseret byggeskik (Enfr03) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

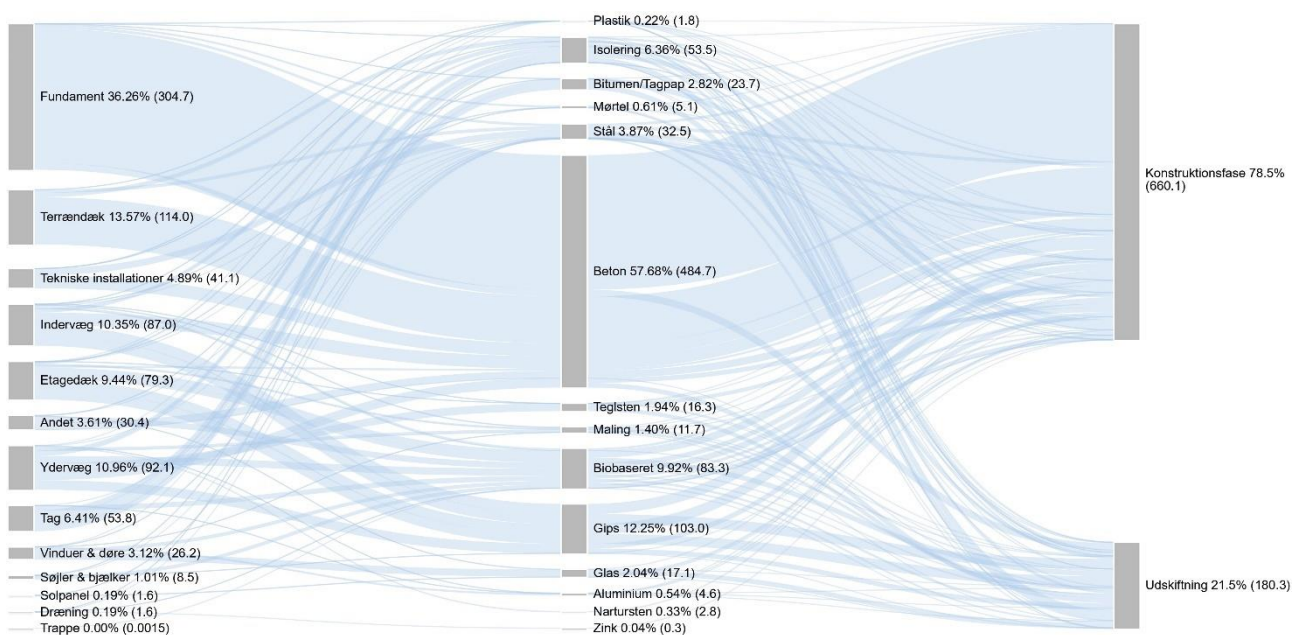


FIGUR 66. Materiale-mængder for enfamiliehus 3 for træbaseret byggeskik (Enfr03) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

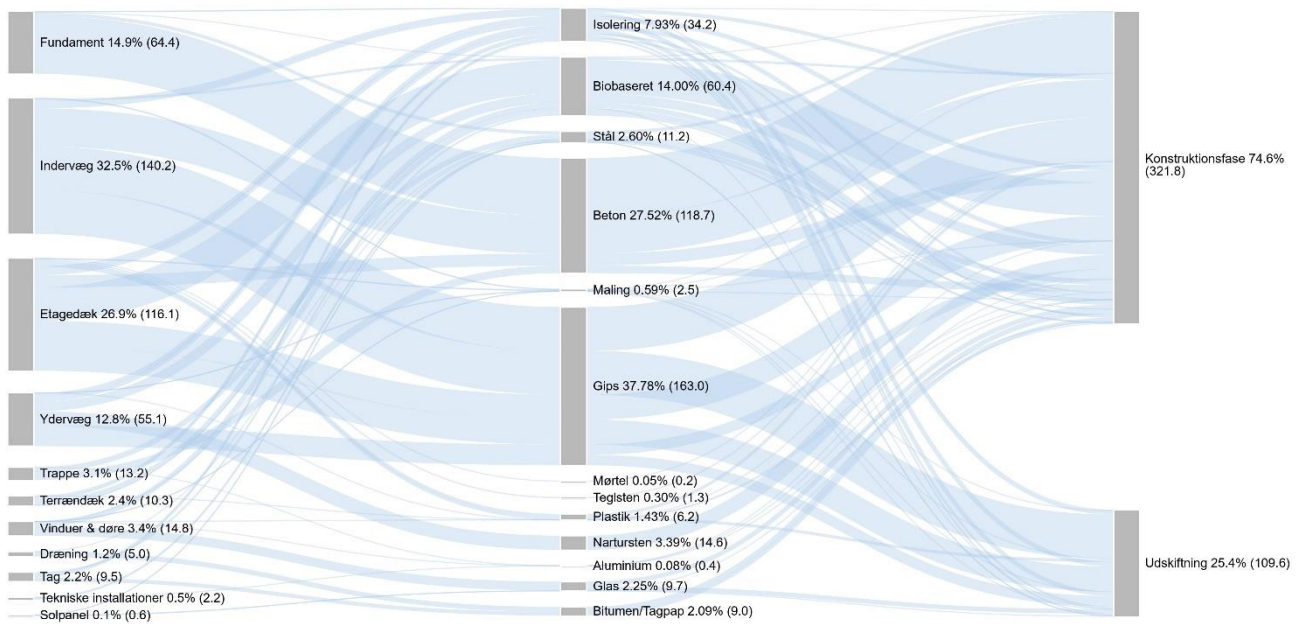
Etageboliger



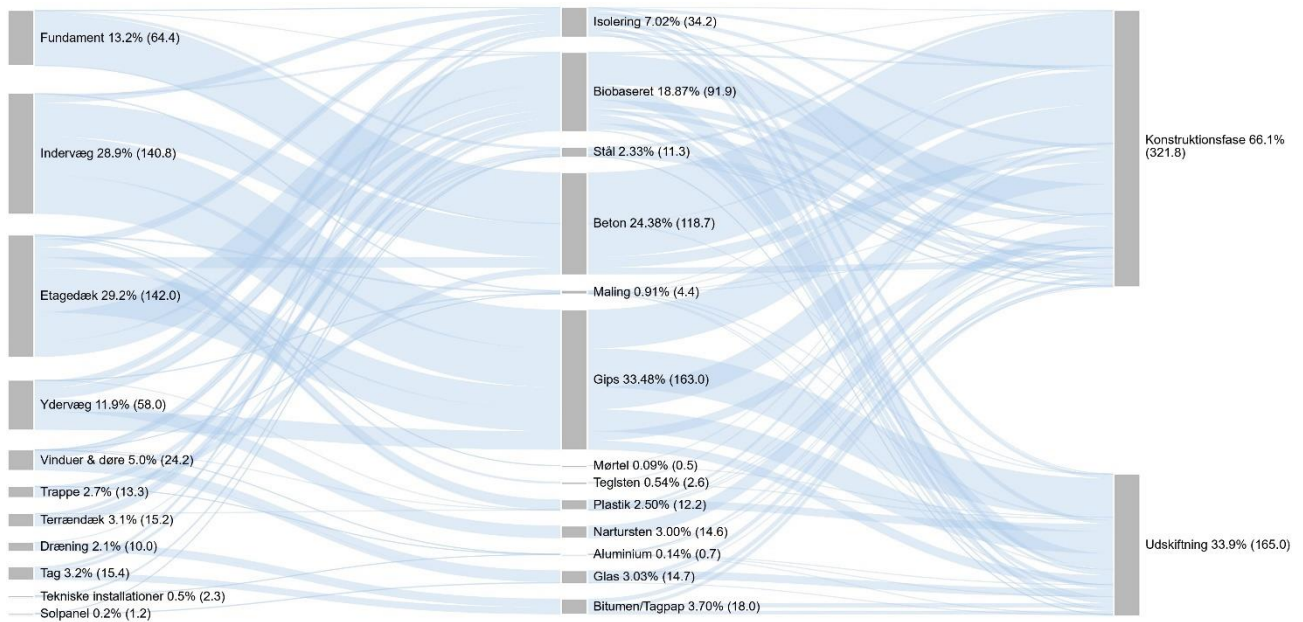
FIGUR 67. Materiale-mængder for etagebolig 1 for træbaseret byggeskik (E_r01) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



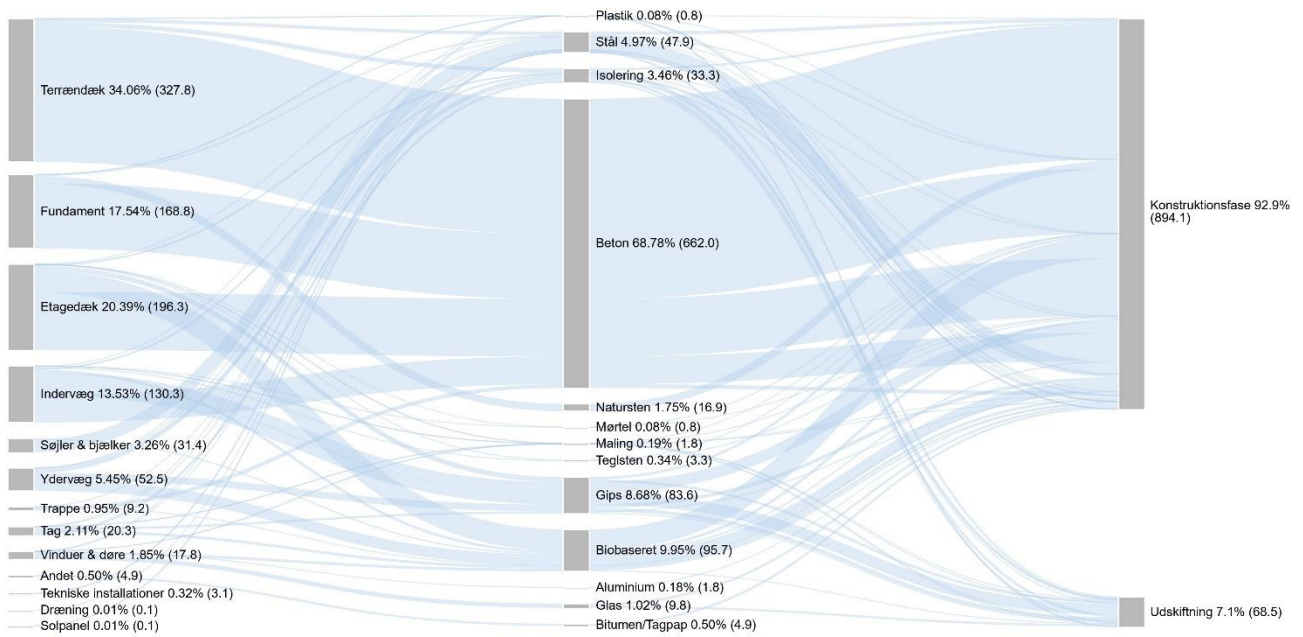
FIGUR 68. Materiale-mængder for etagebolig 1 for træbaseret byggeskik (E_r01) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



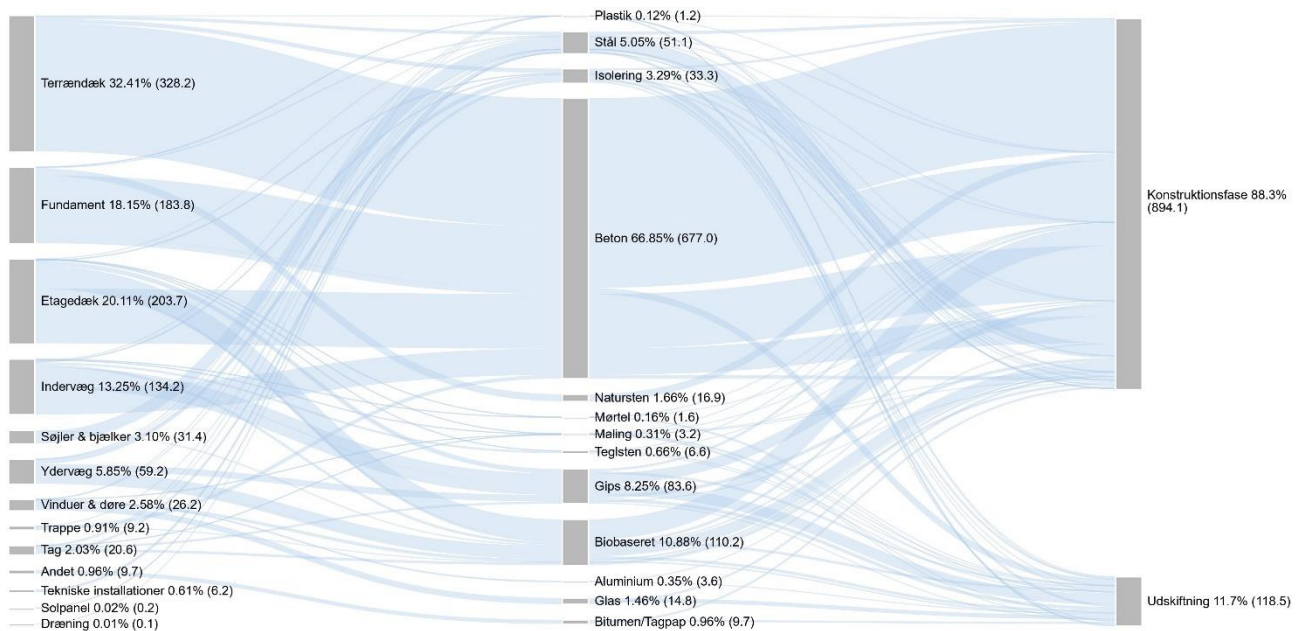
FIGUR 69. Materiale-mængder for etagebolig 2 for træbaseret byggeskik (Er02) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



FIGUR 70. Materiale-mængder for etagebolig 2 for træbaseret byggeskik (Er02) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

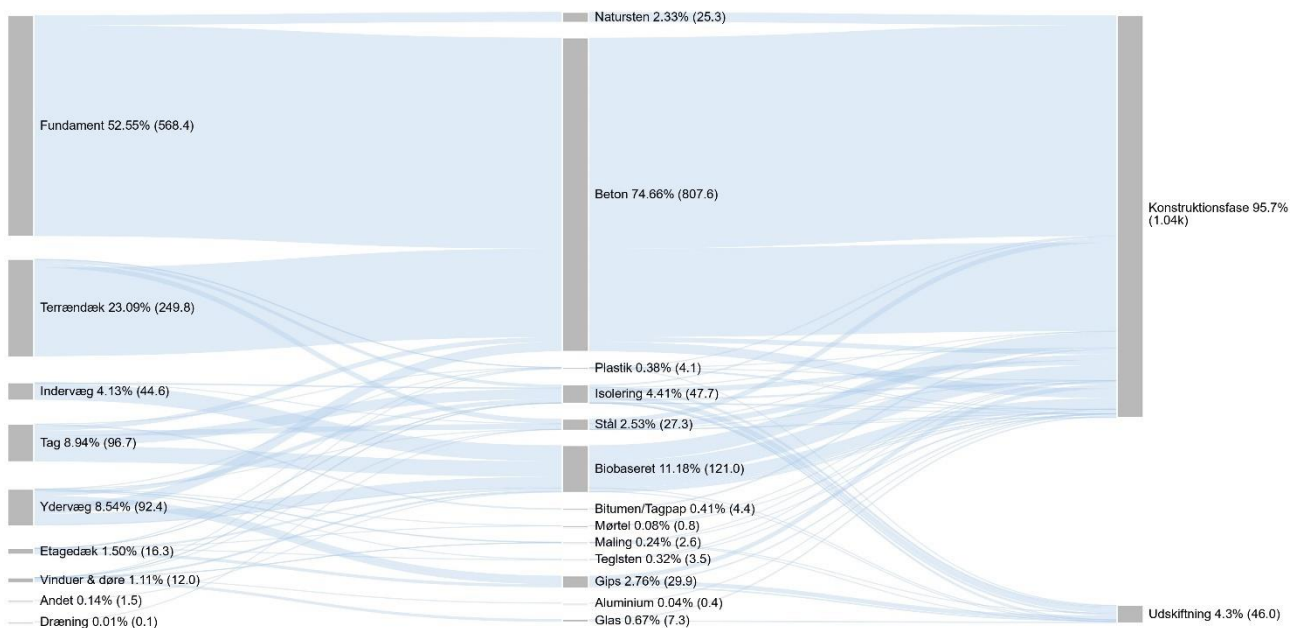


FIGUR 71. Materiale-mængder for etagebolig 3 for træbaseret byggeskik (E+03) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

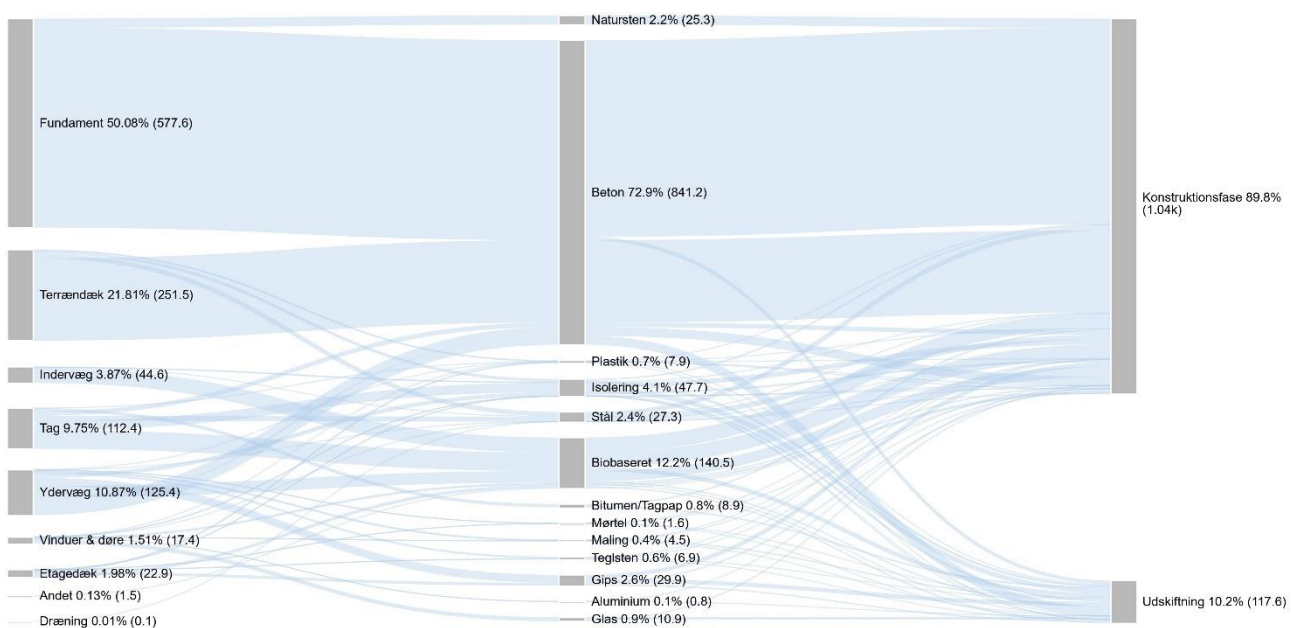


FIGUR 72. Materiale-mængder for etagebolig 3 for træbaseret byggeskik (E+03) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

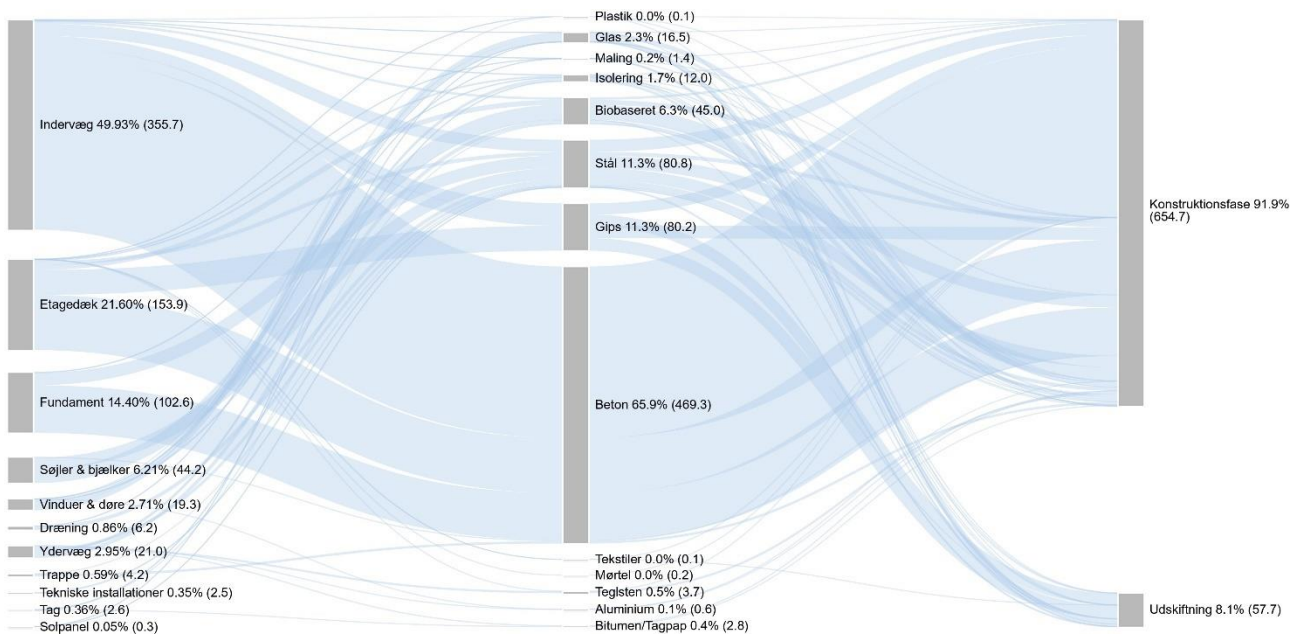
Kontorbygninger



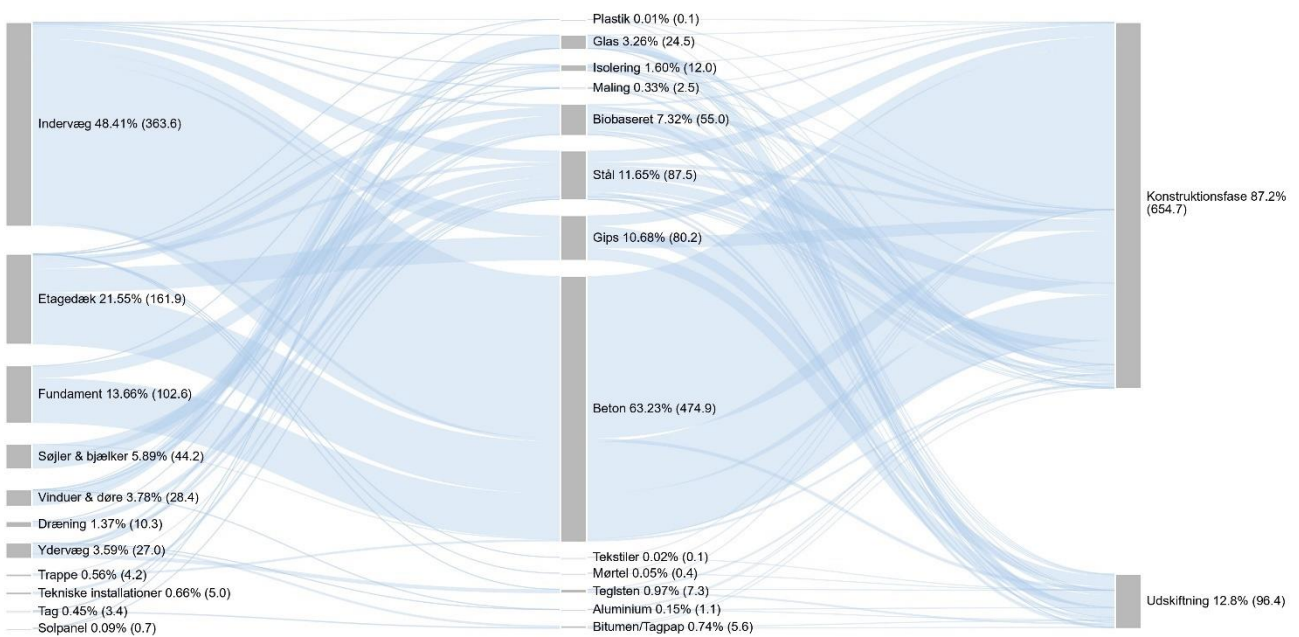
FIGUR 73. Materiale-mængder for kontorbygning 1 for træbaseret byggeskik (K_r01) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



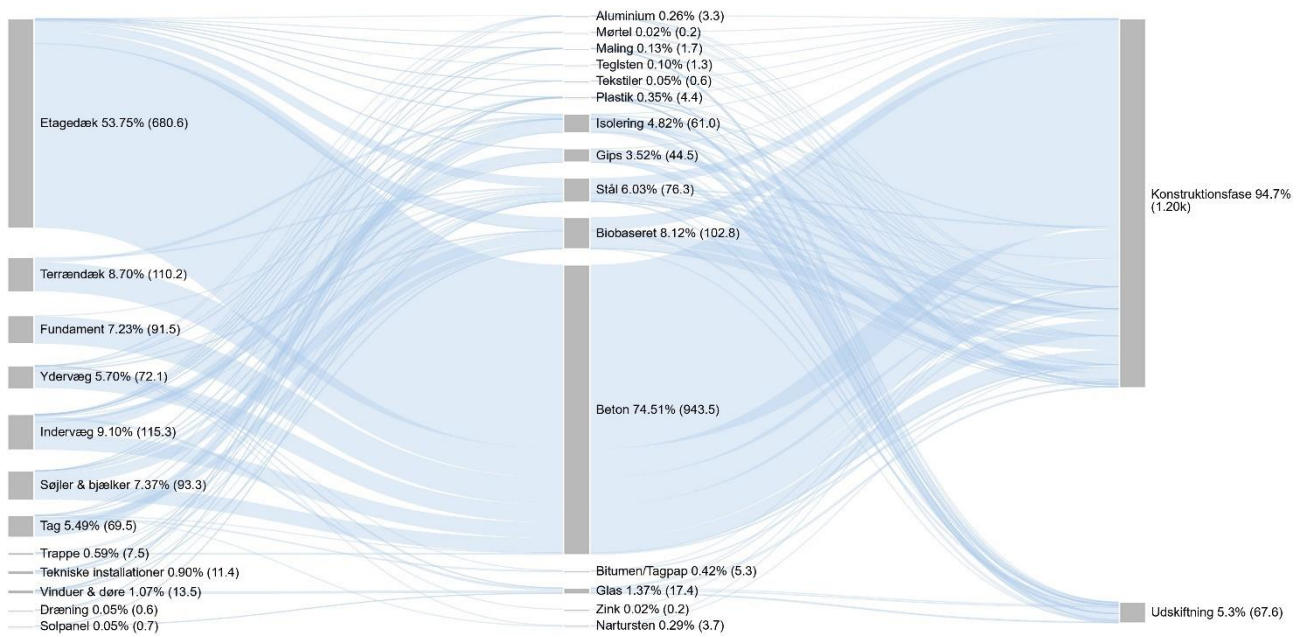
FIGUR 74. Materiale-mængder for kontorbygning 1 for træbaseret byggeskik (K_r01) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



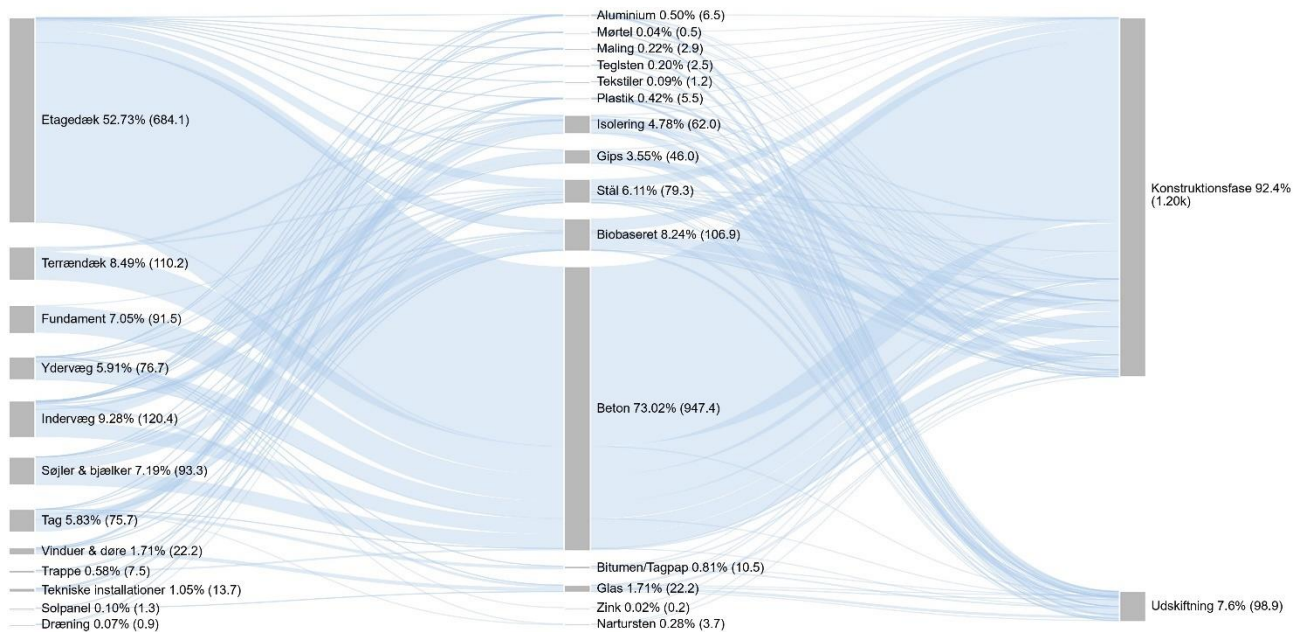
FIGUR 75. Materiale-mængder for kontorbygning 2 for træbaseret byggeskik (K_T02) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



FIGUR 76. Materiale-mængder for kontorbygning 2 for træbaseret byggeskik (K_T02) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



FIGUR 77. Materiale-mængder for kontorbygning 3 for træbaseret byggeskik (K_T03) med en 60-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.



FIGUR 78. Materiale-mængder for kontorbygning 3 for træbaseret byggeskik (K_T03) med en 100-årig betragtningsperiode for produktionsfasen og udskiftninger.

BILAG 2 – LIVSCYKLUS-INVENTORY FOR MATERIALEMÆNGDER FOR DE GENNENSNITLIGE CASESTUDIER

Konventionel byggeskik

TABEL 13. Inventory med mængder for et gennemsnitligt enfamiliehus baseret på de tre casestudier for konventionel byggeskik i kg/m².

Bygningsdele	Materialer	Livscyklusmodul	Mængde (kg/m ²)
Dræning	Plastik	Produktionsfase, A1-A3	0,238090239
Etagedæk	Beton		6,705882353
	Biobaseret		3,860571078
Fundament	Beton		230,2019519
	Isolering		0,673208303
	Mørtel		0,152360718
	Stål		1,539355433
Indervæg	Beton		5,881053613
	Biobaseret		1,304753763
	Gips		15,80780817
	Isolering		1,219132062
	Maling		0,49350521
	Mørtel		0,380714224
	Plastik		0,070143646
	Stål		0,670536721
	Teglsten		13,32102156
Søjler & bjælker	Biobaseret		0,787167587
	Stål		0,527097606
Tag	Biobaseret		26,94662279
	Bitumen/Tagpap		6,282436356
	Gips		7,184622468
	Isolering		11,42406424
	Maling		0,163809392
	Plastik		0,132863978
	Stål		0,05747698
	Teglsten		70,16069651
Tekniske installationer	Isolering		0,038408229
	Plastik	0,969459064	
	Stål	1,613560535	
Terrændæk	Beton	247,4331715	
	Biobaseret	8,237267735	
	Bitumen/Tagpap	1,166666667	
	Isolering	9,290391816	
	Mørtel	0,17917241	
	Naturlige aggregater	182,4136876	

	Plastik		0,170333117	
	Stål		1,967231323	
	Teglsten		30,4656154	
Vinduer & døre	Aluminium		0,837733827	
	Biobaseret		2,068169663	
	Glas		4,411535553	
	Maling		0,006723041	
	Plastik		0,04221174	
	Stål		0,018805709	
Ydervæg	Beton		154,8680673	
	Biobaseret		0,62346011	
	Gips		8,85738544	
	Isolering		4,091109981	
	Maling		0,342519662	
	Mørtel		23,62318414	
	Plastik		0,078730203	
	Stål		8,372212436	
	Teglsten		158,1868404	
Dræning	Plastik		0,238090239	
Fundament	Isolering		0,673208303	
Indervæg	Gips		15,80780817	
	Isolering		1,219132062	
	Maling		1,480515629	
Tag	Gips		7,184622468	
	Isolering		11,36946111	
	Maling		0,491428177	
Tekniske installationer	Isolering	Udskiftning, B4 (for en 60-årig betragtningsperiode)	0,038408229	
	Plastik		0,969459064	
	Stål		1,657262887	
Terrændæk	Isolering		9,290391816	
Vinduer & døre	Biobaseret		1,259524175	
	Glas		4,411535553	
	Maling		0,020169123	
	Plastik		0,04221174	
Ydervæg	Gips		8,85738544	
	Isolering		4,091109981	
	Maling		1,027558985	
Drainage	Plastik			0,476180479
Etagedæk	Biobaseret			3,860571078
Fundament	Beton			26,87452644
	Isolering			0,673208303
	Mørtel		0,129806077	
Indervæg	Beton	Udskiftning, B4 (for en 100-årig betragtningsperiode)	0,61077737	
	Biobaseret		0,368283607	
	Gips		15,80780817	
	Isolering		1,219132062	
	Maling		2,961031259	
	Mørtel		0,380714224	

	Teglsten		2,247492146
Tag	Biobaseret		3,402885328
	Bitumen/Tagpap		6,282436356
	Gips		7,184622468
	Isolering		11,42406424
	Maling		0,982856354
	Teglsten		70,16069651
Tekniske installationer	Isolering		0,038408229
	Plastik		1,938918128
	Stål		3,903417998
Terrændæk	Biobaseret		7,846953179
	Bitumen/Tagpap		1,166666667
	Isolering		9,290391816
	Mørtel		0,17917241
	Teglsten		30,4656154
Vinduer & døre	Aluminium		0,837733827
	Biobaseret		1,259524175
	Glas		7,064492674
	Maling		0,040338246
	Plastik		0,04221174
	Stål		0,018805709
Ydervæg	Beton		22,57570458
	Gips		11,31616997
	Isolering		4,091109981
	Maling		2,055117971
	Mørtel		23,62318414
	Teglsten		0,254143646

TABEL 14. Inventory med mængder for en gennemsnitlig etagebolig baseret på de tre casestudier for konventionel byggeskik i kg/m².

Bygningsdele	Materialer	Livscyklusmodul	Mængde (kg/m ²)
Balkon	Beton	Produktionsfase, A1-A3	16,00178265
	Biobaseret		0,576583567
	Stål		1,464044772
Dræning	Plastik		0,033568785
	Stål		4,96018E-06
Etagedæk	Beton		416,0250538
	Biobaseret		4,057909732
	Gips		0,619670533
	Isolering		4,806840149
	Maling		0,035592016
	Mørtel		0,049698847
	Naturlige aggregater		0,15363739
	Plastik		4,62642E-05
	Stål		44,03806141
	Teglsten		3,953736575
Fundament	Beton		274,9675964
	Fundament		5,299039128
Indervæg	Beton		252,7118133
	Biobaseret		0,010008884
	Gips		1,444821635
	Glas	0,041428031	
	Isolering	0,215389141	
	Maling	0,343017377	
	Mørtel	0,240195843	
	Plastik	0,125487809	
	Stål	4,073088786	
	Teglsten	40,52495327	
Solpanel	Glas	0,084779061	
	Stål	0,021287573	
Trappe	Beton	16,28610856	
	Biobaseret	0,08989313	
	Gips	0,012515036	
	Stål	0,946588299	
Søjler & bjælker	Beton	10,54942005	
	Stål	1,413884207	
Tag	Beton	54,80340853	
	Biobaseret	0,217796928	
	Bitumen/Tagpap	2,02956671	
	Isolering	5,473312253	
	Plastik	0,158338694	
	Stål	1,648272768	
	Teglsten	0,540629854	
Tekniske installationer	Isolering	0,006378601	
	Plastik	0,917108468	
	Stål	2,985907428	
Terrændæk	Beton	71,6820661	

	Isolering		0,639116024
	Naturlige aggregater		7,642929511
	Plastik		0,009675159
	Stål		7,522243702
Vinduer & døre	Aluminium		2,407178863
	Biobaseret		1,649072121
	Glas		4,921104768
	Isolering		0,000602116
	Stål		0,257240623
	Maling		0,020773799
Ydervæg	Aluminium		0,003033608
	Beton		422,6678341
	Bitumen/Tagpap		0,281635755
	Gips		16,38401799
	Isolering		8,517142979
	Maling		0,066749703
	Mørtel		7,045780792
	Plastik		0,036408929
	Stål		3,298916507
	Teglsten		81,88365599
Dræning	Plastik		0,033568785
Etagedæk	Gips		0,619670533
	Isolering		4,806840149
	Maling		0,106776048
Indervæg	Gips		1,444821635
	Glas		0,041428031
	Isolering		0,215389141
	Maling		1,02905213
Solpanel	Plastik		0,376463426
	Glas		0,084779061
Stair	Stål		0,021287573
Stair	Gips		0,012515036
Tag	Isolering	Udskiftning, B4 (for en 60-årig betragtningsperiode)	5,473312253
Tekniske installationer	Isolering		0,006378601
	Plastik		0,917108468
	Stål		5,172719909
Terrændæk	Isolering		0,639116024
Vinduer & døre	Biobaseret		0,464455359
	Glas		4,921104768
	Isolering		0,000602116
	Maling		0,062321396
Ydervæg	Gips		16,38401799
	Isolering		8,517142979
	Maling		0,200249109
	Plastik		0,109226787
Balkon	Biobaseret	Udskiftning, B4 (for en 100-årig betragtningsperiode)	0,053233442
	Beton		0,109807343
Dræning	Plastik		0,06713757

	Stål		4,96018E-06
Etagedæk	Beton		0,154252801
	Biobaseret		1,511359106
	Gips		0,619670533
	Isolering		4,806840149
	Maling		0,213552097
	Mørtel		0,049698847
	Teglsten		0,333234939
Indervæg	Beton		1,800911687
	Biobaseret		0,010008884
	Gips		1,444821635
	Glas		0,051627748
	Isolering		0,215389141
	Maling		2,05810426
	Mørtel		0,240195843
	Plastik	Udskiftning, B4 (for en 100-årig betragtningsperiode)	0,752926852
	Teglsten		40,52495327
Solpanel	Glas		0,254337182
	Stål		0,06386272
Tag	Bitumen/Tagpap		2,02956671
	Isolering		5,473312253
	Teglsten		0,540629854
Tekniske installationer	Isolering		0,006378601
	Plastik		1,834216935
	Stål		7,875941742
Terrændæk	Beton		11,13181983
	Isolering		0,639116024
Trappe	Gips		0,012515036
Vinduer & døre	Aluminium		2,407178863
	Biobaseret		0,464455359
	Glas		9,842209537
	Isolering		0,000602116
	Maling		0,124642792
	Stål		0,257240623

TABEL 15. Inventory med mængder for en gennemsnitlig kontorbygning baseret på de tre casestudier for konventionel byggeskik i kg/m².

Bygningsdele	Materialer	Livscyklusmodul	Mængde (kg/m ²)
Etagedæk	Beton	Produktionsfase, A1-A3	584,2916
	Biobaseret		1,414948
	Isolering		2,273864
	Mørtel		8,90905
	Natursten		0,229725
	Plastik		0,978325
	Teglsten		0,561583
	Stål		17,55234
Fundament	Beton		49,73041
	Stål		0,692879
Indervæg	Aluminium		0,121399
	Beton		85,10908
	Biobaseret		1,042372
	Gips		7,312114
	Glas		2,775759
	Isolering		0,565496
	Maling		0,066056
	Stål		2,327145
Solpanel	Glas		0,283097
	Kobber		0,279447
	Stål		0,180714
Søjler & bjælker	Beton		29,32341
	Isolering		0,658436
	Stål		2,465609
Tag	Beton		169,9582
	Biobaseret		0,187891
	Bitumen/Tagpap		2,638261
	Isolering		10,79227
	Stål		2,70082
	Plastik		0,186008
	Zink		0,028021
Tekniske installationer	Isolering		0,007901
	Stål		0,76084
	Plastik		0,66047
Terrændæk	Beton		110,317
	Isolering		0,22795
	Stål		2,287275
	Naturlige aggregater		2,592593
	Teglsten		7,051629
Trappe	Beton		5,705163
	Glas		0,000464
	Stål		0,41711
Vinduer & døre	Aluminium		1,991694
	Biobaseret		2,438731
	Glas		5,36119

	Isolering		0,003375	
	Maling		0,004296	
	Stål		0,098824	
	Plastik		0,000745	
Ydervæg	Beton		246,2763	
	Biobaseret		0,743981	
	Bitumen/Tagpap		0,000823	
	Gips		0,833457	
	Isolering		3,463844	
	Mørtel		4,04193	
	Teglsten		30,8829	
	Stål		5,373685	
Etagedæk	Isolering		2,273864	
	Mørtel		2,360296	
	Plastik		0,978325	
	Tekstiler		0,370264	
Indervæg	Gips		7,312114	
	Glas		2,775759	
	Isolering		0,565496	
	Maling		0,198169	
Solpanel	Glas		0,283097	
	Kobber		0,279447	
	Stål		0,180714	
Søjler & bjælker	Isolering	Udskiftning, B4 (for en 60-årig betragtningsperiode)	0,658436	
Tag	Isolering		10,79227	
Tekniske installationer	Isolering		0,007901	
Tekniske installationer	Stål		0,964701	
Tekniske installationer	Plastik		0,66047	
Terrændæk	Isolering		0,22795	
Trappe	Glas		0,000464	
Vinduer & døre	Biobaseret			0,543895
	Glas			5,36119
	Isolering			0,003375
	Maling			0,012888
Ydervæg	Gips			0,833457
	Isolering			3,463844
Etagedæk	Beton			0,067331
	Biobaseret	0,41178		
	Isolering	2,273864		
	Mørtel	8,90905		
	Plastik	2,896249		
	Teglsten	1,302111		
Indervæg	Aluminium	Udskiftning, B4 (for en 100-årig betragtningsperiode)	0,121399	
	Gips		7,312114	
	Glas		5,434251	
	Isolering		0,565496	
	Maling		0,396338	

Solpanel	Glas	Udskiftning, B4 (for en 100-årig betragtningsperiode)	0,849291
	Kobber		0,838341
	Stål		0,542141
Søjler & bjælker	Isolering		0,658436
Tag	Bitumen/Tagpap		2,638261
	Isolering		10,79227
Tekniske installationer	Isolering		0,007901
	Plastik		1,32094
	Stål		1,748587
Terrændæk	Isolering		0,22795
Trappe	Glas		0,000929
Vinduer & døre	Aluminium		1,991694
	Biobaseret		0,940438
	Glas		8,513984
	Maling		0,025775
	Isolering		0,003375
Ydervæg	Bitumen/Tagpap		0,000823
	Gips		0,833457
	Isolering		3,463844
	Mørtel		4,04193

Træbaseret byggeskik

TABEL 16. Inventory med mængdemængder for et gennemsnitligt enfamiliehus baseret på de tre casestudier for træbaseret byggeskik i kg/m².

Bygningsdele	Materialer	Livscyklusmodul	Mængde (kg/m ²)
Dræning	Aluminium	Produktionsfase, A1-A3	0,020709
	Beton		0,009751
	Biobaseret		2,850884
	Plastik		0,350706
	Stål		0,093272
	Zink		0,020709
Etagedæk	Beton		3,758142
	Biobaseret		30,5018
	Isolering		5,243996
	Maling		0,038806
	Mørtel		0,089176
	Plastik		0,300625
	Stål		0,147778
	Teglsten		0,458621
Fundament	Beton		90,34838
	Biobaseret		2,971489
	Isolering		0,397478
	Stål		4,916976
Indervæg	Biobaseret		8,692871
Indervæg	Gips		6,90682
	Ler	36,28092	
	Maling	0,096828	
	Plastik	0,020398	
	Stål	0,045241	
Søjler & bjælker	Biobaseret	2,387403	
	Stål	0,129025	
Tag	Biobaseret	101,2016	
	Bitumen/Tagpap	14,98458	
	Gips	3,101068	
	Isolering	19,51441	
	Maling	0,176761	
	Plastik	0,461684	
	Stål	1,816327	
	Tekstiler	0,656658	
Tekniske installationer	Plastik	0,603865	
	Stål	1,723894	
Terrændæk	Beton	63,84835	
	Biobaseret	13,58408	
	Gips	4,972211	
	Isolering	1,99263	
	Ler	36,80217	
	Mørtel	0,343084	
	Plastik	0,067609	

	Stål	Produktionsfase, A1-A3	4,334311
	Teglsten		1,959184
Trappe	Stål		0,009195
	Biobaseret		0,641192
Vinduer & døre	Aluminium		0,376218
	Biobaseret		3,906969
	Glas		5,939493
	Maling		0,010843
	Plastik		0,120166
	Stål		0,05202
Ydervæg	Biobaseret		108,9311
	Bitumen/Tagpap		2,928327
	Isolering		2,430839
	Ler		140,0346
	Maling		0,005376
	Plastik		0,189484
	Stål		0,10495
	Tekstiler		0,00525
	Zink		0,108705
Dræning	Plastik	Udskiftning, B4 (for en 60-årig betragtningsperiode)	0,350706
Etagedæk	Isolering		4,44581
	Plastik		0,300625
	Maling		0,116417
Fundament	Isolering		0,397478
Indervæg	Biobaseret		3,824554
	Gips		6,90682
	Ler		36,28092
	Maling		0,290483
Tag	Biobaseret		34,62047
	Isolering		17,57337
	Maling		0,530283
	Tekstiler		0,650153
Tekniske installationer	Plastik		0,603865
	Stål		1,791922
Terrændæk	Biobaseret		6,524287
	Gips		4,972211
	Isolering		1,99263
	Ler		36,80217
Vinduer & døre	Aluminium		0,127111
	Biobaseret	1,398745	
	Glas	5,939493	
	Maling	0,032528	
	Plastik	0,046671	
Ydervæg	Biobaseret	79,58569	
	Isolering	2,430839	
	Ler	140,0346	
	Maling	0,016127	
	Plastik	0,137009	

	Tekstiler		0,00525
Dræning	Aluminium		0,020709
	Plastik		0,701412
	Stål		0,093272
Etagedæk	Biobaseret		4,18279
	Isolering		5,243996
	Maling		0,232833
	Mørtel		0,089176
	Stål		0,147778
	Teglsten		0,458621
	Plastik		0,901874
Fundament	Beton		15,98639
	Biobaseret		0,802407
	Isolering		0,397478
Indervæg	Biobaseret		3,824554
	Gips		10,98845
	Ler		64,58024
	Maling		0,580967
Tag	Biobaseret		56,30715
	Bitumen/Tagpap		14,98458
	Gips		3,101068
	Isolering		19,51441
	Maling		1,060565
	Tekstiler	Udskiftning, B4 (for en 100-årig betragtningsperiode)	1,95046
Tekniske installationer	Plastik		1,20773
	Stål		4,271316
Terrændæk	Beton		5,664223
	Biobaseret		13,41506
	Gips		9,944421
	Isolering		1,99263
	Ler		73,60434
	Mørtel		0,343084
	Teglsten		1,959184
Vinduer & døre	Aluminium		0,376218
	Biobaseret		2,351128
	Glas		10,53205
	Maling		0,065057
	Plastik		0,046671
Ydervæg	Biobaseret		95,13949
	Bitumen/Tagpap		2,928327
	Isolering		2,430839
	Ler		273,3345
	Maling		0,032254
	Plastik		0,411027
	Tekstiler		0,00525

TABEL 17. Inventory med mængder for en gennemsnitlig etagebolig baseret på de tre casestudier for træbaseret byggeskik i kg/m².

Bygningsdele	Materialer	Livscyklusmodul	Mængde (kg/m ²)
Andet	Beton	Produktionsfase, A1-A3	4,99063
	Biobaseret		3,268133
	Bitumen/Tagpap		1,799371
	Glas		0,194884
	Stål		0,170505
Dræning	Biobaseret		0,072645
	Bitumen/Tagpap		1,666667
	Isolering		0,044347
	Stål		0,254301
	Zink		0,100422
Etagedæk	Beton		49,5113
	Biobaseret		32,83512
	Gips		17,24351
	Isolering		2,482151
	Maling		0,306393
	Mørtel		0,20697
	Plastik		1,164147
	Stål		0,388064
	Teglsten		0,686599
Fundament	Beton		162,8674
	Biobaseret	0,253189	
	Bitumen/Tagpap	0,120707	
	Isolering	0,192585	
	Mørtel	0,630118	
	Naturlige aggregater	5,618258	
	Plastik	0,011566	
	Stål	3,997098	
Indervæg	Beton	42,99986	
	Biobaseret	4,371163	
	Gips	30,68705	
	Isolering	3,154589	
	Maling	0,220979	
	Mørtel	0,368079	
	Plastik	0,04476	
	Stål	1,338772	
	Teglsten	0,904544	
Solpanel	Glas	0,183248	
	Stål	0,046012	
Søjler & bjælker	Biobaseret	3,500158	
	Gips	0,000591	
	Isolering	0,004182	
	Stål	9,806405	
Tag	Aluminium	0,036193	
	Biobaseret	4,659181	
	Bitumen/Tagpap	4,97523	
	Gips	0,868299	

	Isolering	Produktionsfase, A1-A3	5,207187
	Maling		0,027951
	Plastik		0,01809
	Stål		0,726112
Tekniske installationer	Aluminium		0,037952
	Beton		8,91407
	Isolering		0,027031
	Plastik		0,034008
	Stål		3,292798
Terrændæk	Beton		135,9554
	Biobaseret		1,750599
	Isolering		3,876262
	Plastik		0,101213
	Stål	4,860085	
Trappe	Aluminium	0,022944	
Trappe	Beton	5,365596	
	Biobaseret	0,151218	
	Stål	1,929026	
Vinduer & døre	Aluminium	1,276195	
	Biobaseret	4,395139	
	Glas	4,81024	
	Maling	0,018434	
	Plastik	0,125074	
	Stål	0,039668	
Ydervæg	Aluminium	0,096658	
	Beton	3,249526	
	Biobaseret	15,68542	
	Gips	9,459016	
	Isolering	5,171863	
	Maling	0,348091	
	Nartursten	5,802009	
	Plastik	0,129656	
	Stål	0,503271	
	Teglsten	2,664448	
Andet	Glas	0,194884	
Dræning	Isolering	0,044347	
Etagedæk	Gips	17,24351	
	Isolering	2,482151	
	Maling	0,910911	
	Plastik	1	
Fundament	Isolering	0,192585	
	Plastik	0,00881	
Indervæg	Gips	30,68705	
	Isolering	3,154589	
	Maling	0,662937	
	Plastik	0,04476	
Solpanel	Glas	0,183248	
	Stål	0,046012	

Søjler & bjælker	Gips	Udskiftning, B4 (for en 60-årig betragtningsperiode)	0,000591
	Isolering		0,004182
Tag	Gips		0,868299
	Isolering		5,207187
	Maling		0,083853
Tekniske installationer	Isolering		0,027031
	Plastik		0,034008
	Stål		2,029429
Terrændæk	Biobaseret		0,193953
	Isolering		3,876262
	Plastik		0,062551
Vinduer & døre	Biobaseret		1,360483
	Glas		4,81024
	Maling		0,055301
Ydervæg	Gips		9,459016
	Isolering		5,171863
	Maling		1,044272
Andet	Beton		0,042348
	Glas		0,194884
	Biobaseret		0,900592
	Bitumen/Tagpap		1,799371
Dræning	Biobaseret		0,072645
	Isolering		0,044347
	Bitumen/Tagpap		1,666667
Etagedæk	Biobaseret		11,39286
	Gips		17,24351
	Isolering		2,482151
	Maling		1,777392
	Mørtel		0,20697
	Plastik		3
	Teglsten		0,686599
Fundament	Beton		9,643197
	Bitumen/Tagpap		0,120707
	Isolering	0,192585	
	Mørtel	0,630118	
	Plastik	0,029168	
Indervæg	Biobaseret	0,016031	
	Gips	30,68705	
	Isolering	3,154589	
	Maling	1,325875	
	Mørtel	0,368079	
	Plastik	0,13428	
	Teglsten	0,904544	
Solpanel	Glas	0,549743	
	Stål	0,138037	
Søjler & bjælker	Gips	0,000591	
	Isolering	0,004182	
Tag	Aluminium	0,036193	

	Biobaseret	Udskiftning, B4 (for en 100-årig betragtningsperiode)	2,153813
	Bitumen/Tagpap		4,97523
	Gips		0,868299
	Isolering		5,207187
	Maling		0,167707
Tekniske installationer	Aluminium		0,037952
	Isolering		0,027031
	Plastik		0,068017
	Stål		4,0689
Terrændæk	Biobaseret		1,843697
	Isolering		3,876262
	Plastik		0,208792
Trappe	Aluminium		0,022944
Vinduer & døre	Aluminium		1,276195
	Biobaseret		3,879532
	Glas		9,601152
	Maling		0,110602
	Stål		0,0022
Ydervæg	Aluminium		0,096658
	Beton		3,249526
	Biobaseret	3,921099	
	Gips	9,459016	
	Isolering	5,171863	
	Maling	2,088543	
	Teglsten	2,664448	

TABEL 18. Inventory med materialemængder for en gennemsnitlig kontorbygning baseret på de tre casestudier for træbaseret byggeskik i kg/m².

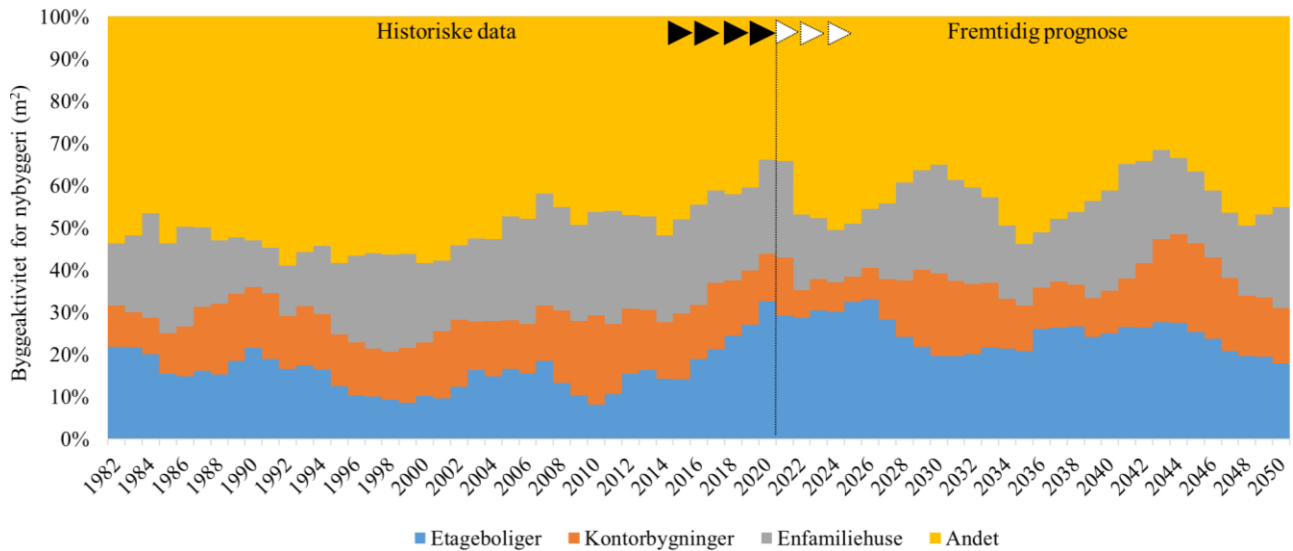
Bygningsdele	Materialer	Livscyklusmodul	Mængde (kg/m ²)
Andet	Biobaseret	Produktionsfase	0,490625
Dræning	Glas		0,047498
	Plastik		0,102147
	Stål		1,983135
Etagedæk	Aluminium		0,00954
Etagedæk	Beton		230,9281
	Biobaseret		18,08906
	Gips		9,0797
	Isolering		0,991618
	Maling		0,042833
	Mørtel		0,138565
	Plastik		1,047564
	Stål		12,0179
	Teglsten		0,532383
Fundament	Beton		237,3842
	Isolering		0,226382
	Naturlige aggregater		8,416695
	Stål		7,930129
Indervæg	Aluminium		0,200096
	Beton		113,6679
	Biobaseret		15,86173
	Gips		12,97228
	Glas		1,490892
	Isolering		0,984476
	Maling		0,206542
	Mørtel		0,052751
	Plastik		0,082313
	Stål		9,957601
	Teglsten		0,302158
Solpanel	Glas		0,133183
	Stål	0,033442	
Søjler & bjælker	Beton	16,32434	
	Biobaseret	18,92281	
	Gips	0,051803	
	Isolering	0,016254	
	Maling	0,000984	
	Stål	10,44287	
Tag	Aluminium	0,014632	
	Beton	4,115448	
	Biobaseret	19,88974	
	Bitumen/Tagpap	3,511692	
	Isolering	11,28778	
	Nartursten	0,004337	
	Plastik	0,082196	
	Stål	6,074615	
Tekniske installationer	Isolering	0,543271	

	Plastik		0,144956
	Stål		1,990316
Terrændæk	Beton		107,2971
	Isolering		2,986343
	Plastik		0,289379
	Stål		6,150929
Trappe	Beton		3,3365
	Biobaseret		0,245792
	Stål		0,309768
Vinduer & døre	Aluminium		0,932361
	Biobaseret		2,445582
	Glas		5,186752
	Isolering		0,000151
	Maling		0,010258
	Plastik		0,135849
	Stål		-
Ydervæg	Aluminium		0,257895
	Beton		27,07257
	Biobaseret		12,82425
	Bitumen/Tagpap		0,651352
	Gips		3,661735
	Glas		0,006558
	Isolering		3,281725
	Maling		0,212666
	Mørtel		0,218898
	Nartursten		1,228139
	Plastik		0,035046
	Stål		2,923202
	Teglsten		2,064434
	Zink		0,06851
Dræning	Plastik		0,102147
	Glas		0,047498
Etagedæk	Biobaseret		0,040068
	Gips		9,0797
	Isolering		0,991618
	Maling		0,128499
	Plastik		0,346155
	Tekstiler		0,107228
Fundament	Isolering	Udskiftning (for en 60 årig betragtningsperiode)	0,226382
Indervæg	Gips		12,97228
	Glas		1,479138
	Isolering		0,984476
	Maling		0,619625
	Plastik		0,023504
	Stål		0,001578
	Tekstiler		0,000722
Solpanel	Stål		0,033442
	Glas		0,133183

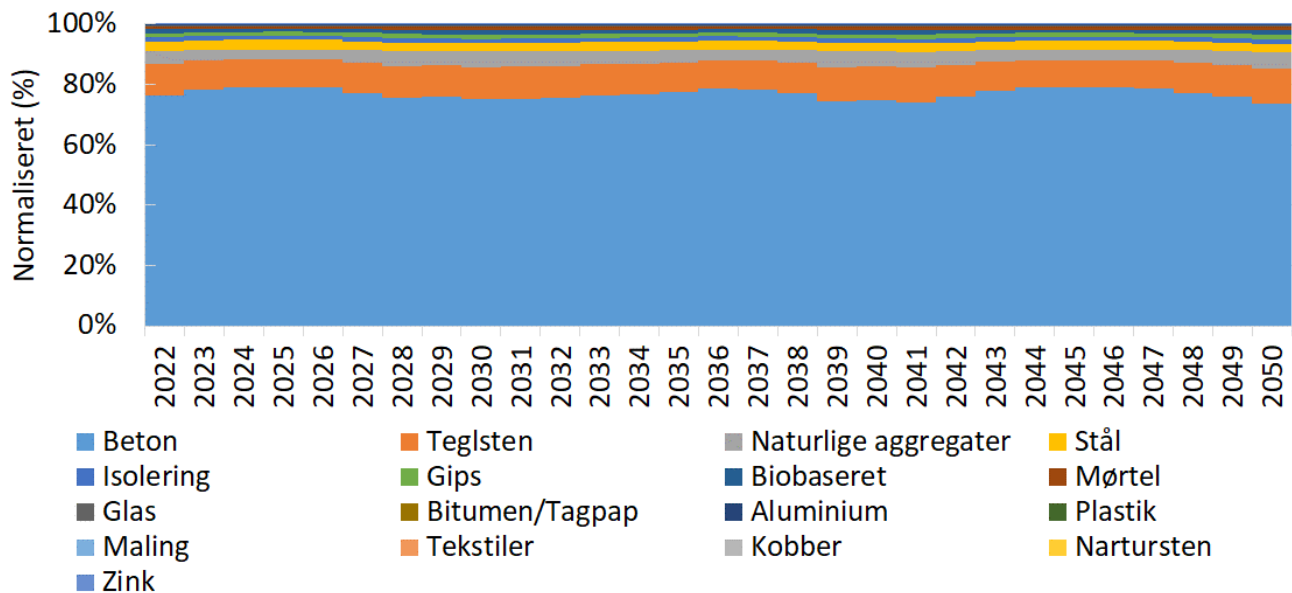
Søjler & bjælker	Gips	Udskiftning (for en 100 årig betragtningsperiode)	0,051803
	Isolering		0,016254
	Maling		0,002953
Tag	Isolering		11,25768
	Plastik		0,023078
Tekniske installationer	Isolering		0,543271
	Plastik		0,144956
	Stål		1,271517
Terrændæk	Isolering		2,986343
	Plastik		0,289379
Vinduer & døre	Biobaseret		0,667311
	Glas		5,186752
	Isolering		0,000151
	Maling		0,030774
Ydervæg	Biobaseret		0,100483
	Gips		3,661735
	Glas		0,006558
	Isolering		2,930554
	Maling		0,637998
Dræning	Glas		0,047498
	Plastik		0,204293
	Stål		1,38406
Etagedæk	Aluminium		0,00954
	Beton		0,614437
	Biobaseret		3,782706
	Gips		9,0797
	Isolering		0,991618
	Maling		0,256999
	Mørtel		0,138565
	Plastik		1,106203
	Teglsten		0,425156
	Tekstiler		0,321683
	Fundament		Isolering
Beton			3,060521
Indervæg	Aluminium		0,179289
	Beton		1,878217
	Biobaseret		0,773607
	Gips		13,47332
	Glas		1,490892
	Isolering	0,984476	
	Maling	1,23925	
	Mørtel	0,052751	
	Plastik	0,028477	
	Stål	0,001578	
Teglsten	0,303601		
Solpanel	Stål	0,100325	
	Glas	0,39955	
Søjler & bjælker	Gips	0,051803	

	Isolering		0,016254
	Maling		0,005906
Tag	Aluminium		0,014632
	Beton		0,045318
	Biobaseret		3,916976
	Bitumen/Tagpap		3,511692
	Isolering		11,28778
	Plastik		0,069233
Tekniske installationer	Isolering		0,543271
	Plastik		0,289913
	Stål		2,699464
Terrændæk	Isolering		2,986343
	Plastik		0,868137
Trappe	Biobaseret	Udskiftning (for en 100 årig betragtningsperiode)	0,000185
Vinduer & døre	Aluminium		0,932361
	Biobaseret		1,866488
	Glas		10,3715
	Isolering		0,000151
	Maling		0,061547
	Stål		0,334071
Ydervæg	Aluminium		0,257895
	Beton		8,785897
	Biobaseret		1,695615
	Bitumen/Tagpap		0,651352
	Gips		3,661735
	Glas		0,013117
	Isolering		3,231605
	Maling		1,275997
	Mørtel		0,218898
	Stål		0,006406
	Teglsten		2,064434

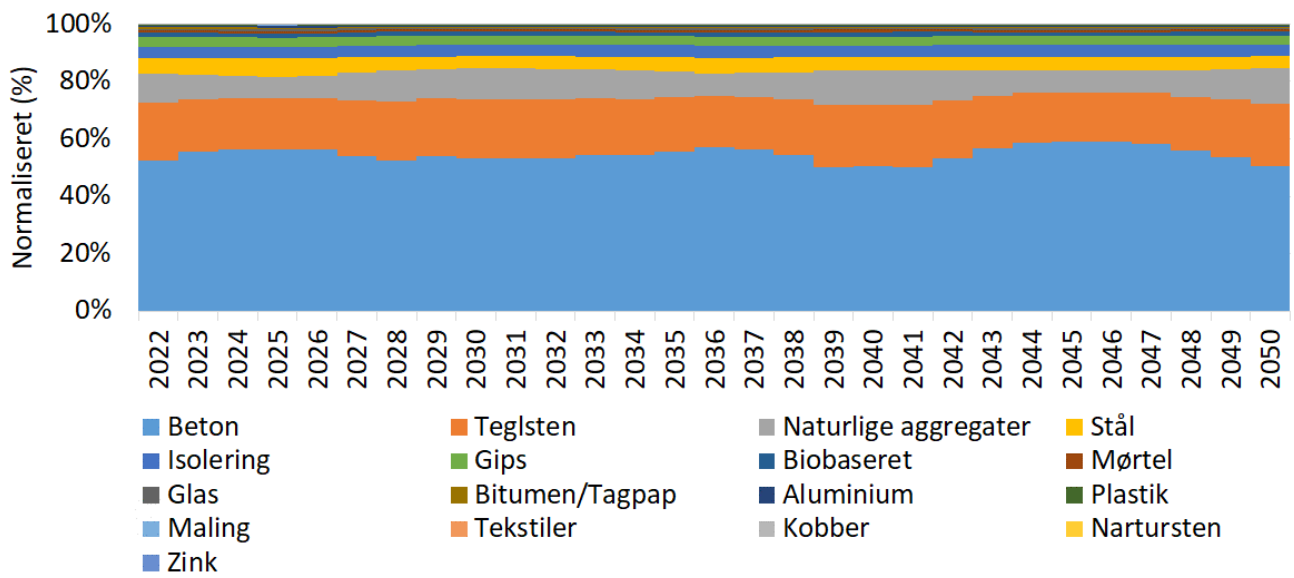
BILAG 3 – MATERIALESTRØMME FOR MO- DUL A1-A3 I PROCENTANDEL



FIGUR 79. Historisk udvikling (1982-2021) (Danmarks Statistik, 2023) og fremtidig prognose (2021-2050) baseret på Danmarks Statistik tabel BYGV01 for arealandel (%) for enfamiliehuse, etageboliger og kontorbygninger og en kategori for resterende byggerier.

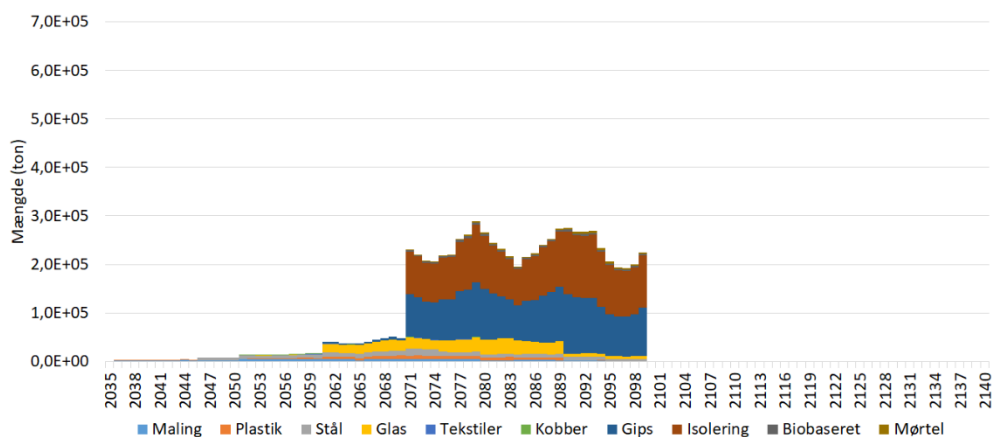


FIGUR 80. Fremtidig prognose (2022-2050) for andel (%) af materialekategorier for opførselsfasen ved konventionelt byggeri. Beregninger er baseret på Danmarks Statistik tabel BYGV01 (2023).

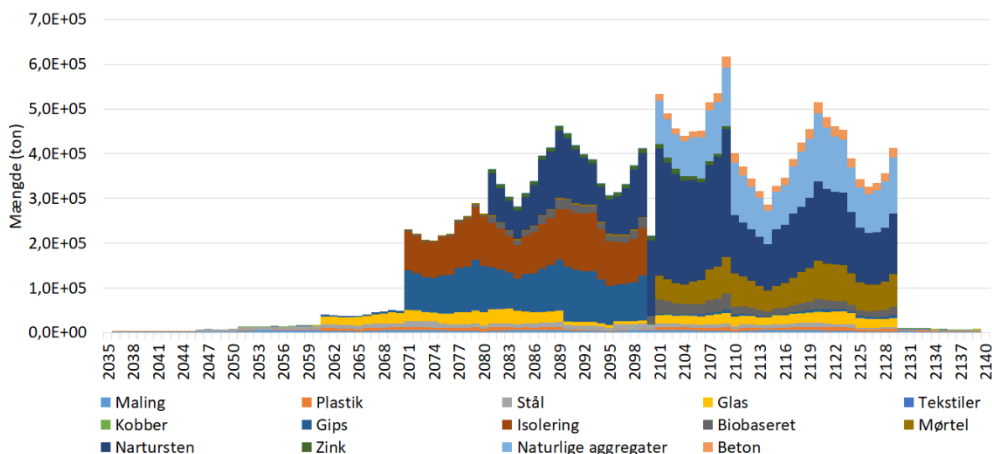


FIGUR 81. Fremtidig prognose (2022-2050) for andel (%) af materialekategorier for opførselsfasen ved træbyggeri. Beregninger er baseret på Danmarks Statistik tabel BYGV01 (2023).

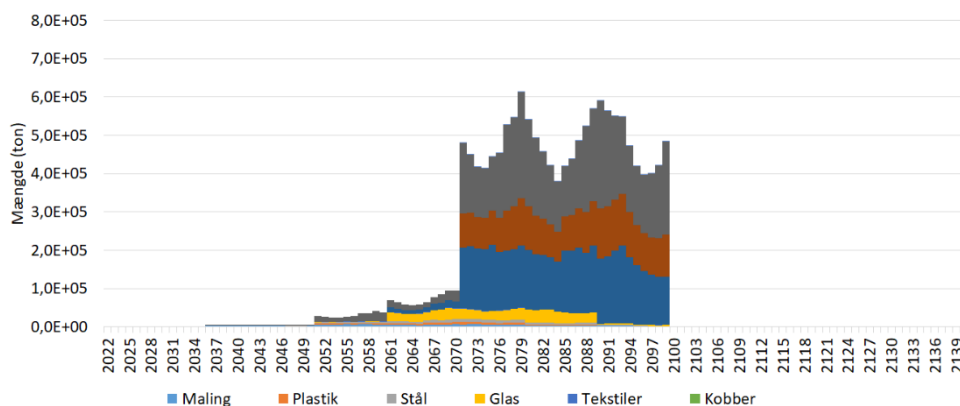
BILAG 4 – FREMTIDIGE MATERIALE-STRØMME VED UDSKIFTNINGER, MODUL B4



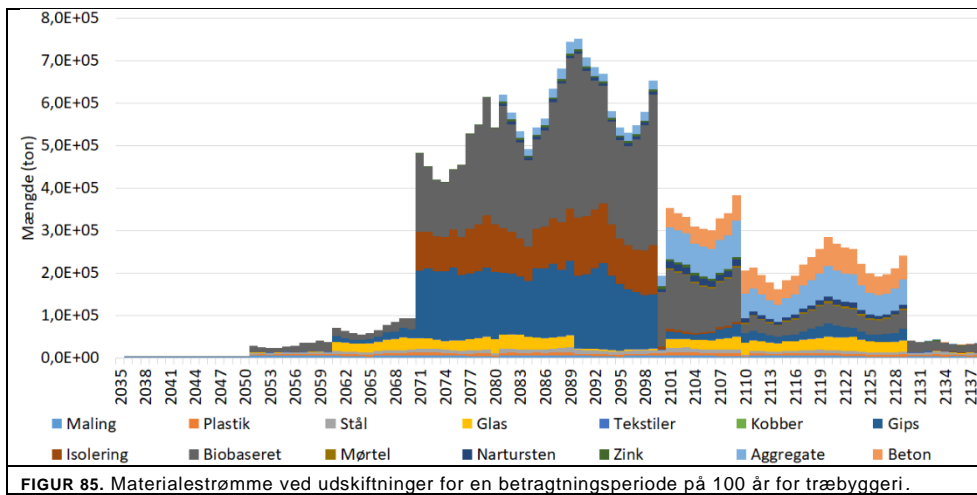
FIGUR 82. Materialestrømme ved udskiftninger for en betragtningsperiode på 60 år for konventionelt byggeri.



FIGUR 83. Materialestrømme ved udskiftninger for en betragtningsperiode på 100 år for konventionelt byggeri.



FIGUR 84. Materialestrømme ved udskiftninger for en betragtningsperiode på 60 år for træbyggeri.



FIGUR 85. Materialestrømme ved udskiftninger for en betragtningsperiode på 100 år for træbyggeri.

BILAG 5 – LIVSCYKLUS-INVENTORY FOR MODELLERING AF MATERIALER I EXIOBASE

Dette bilag indeholder detaljeret information om LCA-modelleringen. Derfor vises nedenfor relevante LCI-tabeller, hvori den specifikke modellering illustreres.

Nedenfor i tabel 19 ses en oversigt over links til de relevante sektorer i baggrundsdata-basen, EXIOBASE, for hvert byggemateriale. Den overordnede materialetype ligger til grunde for modelleringen set nedenfor, mens underopdelinger indenfor materialetyper ikke er modelleret. Da EXIOBASE er i tørvægt er følgende konverteringsfaktorer benyttet: 0.87 for træ (Ceylan, 2010) og 0.55 for maling (Flügger, nd).

TABEL 19. EXIOBASE links anvendt til de forskellige materialer.

Materiale	EXIOBASE link
Tilslag	_32 Quarrying of stone
Aluminium	_76 Aluminium production
Biobaseret	Modificeret version af: _18 Forestry, logging and related service activities samt _50 Manufacture of wood. Baseret på erstatningsår. Se tabel 22 og tabel 23
Bitumen	_34 Mining of chemical and fertilizer minerals, production of salt
Kobber	_80 Copper production
Ler	_33 Quarrying of sand and clay
Beton	Hybridproces. Se tabel 20.
Teglsten	_68 Manufacture of bricks, tiles and construction products, in baked clay
Glas	_65 Manufacture of glass and glass products
Isolering	_71 Manufacture of other non-metallic mineral products n.e.c.
Mørtel	Hybridproces. Se tabel 21.
Natursten	_32 Quarrying of stone
Maling	_63 Chemicals nec
Gips	_69 Manufacture of cement, lime and plaster
Plastik	_59 Plastics, basic
Stål	_72 Manufacture of basic iron and steel and of ferro-alloys and first products thereof
Tekstil	_47 Manufacture of textiles
Zink	_78 Lead, zinc and tin production

I tabel 20 nedenfor ses hybrid-modelleringen af beton. Inputs er baseret på Ecoinvent databasen.

TABEL 20. Modellering af beton baseret på Ecoinvent (2019) med anvendte EXIOBASE links.

Flows	Enhed	EXIOBASE link	
Output: Referenceprodukt			
Beton	kg	1	
Inputs			
Cement	kg	0.12	_69 Manufacture of cement, lime and plaster
Grus	kg	0.46	_33 Quarrying of sand and clay
Sand	kg	0.31	_33 Quarrying of sand and clay
Vand	kg	0.11	113 Collection, purification and distribution of water
Elektricitet	kWh	0.001	Electricity mix {DK}

I tabel 21 nedenfor ses hybrid-modelleringen af mørtel. Inputs er baseret på Ecoinvent databasen.

TABEL 21. Modellering af mørtel baseret på Ecoinvent (2019) med anvendte EXIOBASE links.

Flows	Enhed	EXIOBASE link	
Output: Referenceprodukt			
Mørtel	kg	1	
Inputs			
Cement	kg	0.34	_69 Manufacture of cement, lime and plaster
Ler	kg	0.44	_33 Quarrying of sand and clay
Sand	kg	0.19	_33 Quarrying of sand and clay
Kalksten	kg	0.03	_32 Quarrying of stone
Andet (kemikalier)	kg	0.0008	_63 chemicals nec
Elektricitet	kWh	0.001	Electricity mix {DK}

Nedenfor i tabel 22 ses modelleringen af træ benyttet i byggeriet. Første tabel viser produktionen af industrielt træ fra et savværk. Modelleringen er baseret på Schmidt & Dalgaard (2016). Det observeres, at der skal bruges 2.14 kg træ fra skoven for 1 kg træ til industriel brug. Derfor vil der være 1.14 kg restprodukter i form af bark, savsmuld osv. Denne rest-biomasse antages i dette studie at substituere alternativ biomasse til uspecificeret brug (cellulosetræ). Som tidligere nævnt, er dette cellulosetræ modelleret som en mere intensiv dyrkning af samme svenske skov, hvor den halve rotationstid benyttes (44 år). Processen for savværk i EXIOBASE benyttes for at sikre kompletthed i modelleringen, men for at undgå double-counting er inputtet af træ til savværket fjernet.

TABEL 22. Modellering af træ baseret på Schmidt & Dalgaard (2016) med anvendte EXIOBASE links.

Flows	Enhed		EXIOBASE link
Output: Referenceprodukt			
Industrielt træ	kg	1	
Inputs			
Svensk nåletræ	kg	2.14	Se TABEL 23. Modellering af svensk nåletræ.
Savværk-biprodukter (undgået cellulosetræ)	kg	-1.14	_33 Quarrying of sand and clay
Savværk-inputs	kg	0.19	Modificeret version af: _50 Manufacture of wood

tabel 23 nedenfor viser modellering af svensk nåletræ.

TABEL 23. Modellering af svensk nåletræ.

Flows	Enhed		EXIOBASE link
Output: Referenceprodukt			
Svensk nåletræ (år 0)	kg	1	
Inputs			
Skovindustri-inputs	kg	1	_18 Forestry, logging and related service activities
CO ₂ -eq opgørelse fra skovmodel	kg	-0.58	

Som beskrevet i afsnit 2.2.1, udregnes et nyt resultat fra skovmodellen for hvert relevant år, hvor træ erstattes i byggeriet (se resultater i tabel 24). Her benyttes samme 100-årige begrænsning grundet den 100-årige GWP₁₀₀-tidshorisont. Med andre ord vil f.eks. træ benyttet i år 15, modelleres som at påvirke plantningen af det næste træ i år 15. Da rotationstiden er 88 år vil ikke hele rotationstiden være inden for den 100-årige tidshorisont. Af denne grund vil der være markante afvigelser i skovmodellens resultat, når skovene bliver plantet i senere år. Det skal understreges, at tallene her ikke inkluderer frigivelsen af den lagrede CO₂ i træet. Denne medregnes ved bortskaffelse af træet i stedet. Derfor viser tallene i tabellen resultatet for skoven, når 1 kg træ forlader skoven.

TABEL 24. Oversigt over kg CO₂-eq påvirkninger per kg træ for skovmodellen i de forskellige år for nåletræ.

Erstatningsår	Skovmodel-resultat (kg CO ₂ -eq / kg træ)
Træ, år 0	-0.578
Træ, år 15	-0.297
Træ, år 30	0.038
Træ, år 40	0.263
Træ, år 45	0.364
Træ, år 50	0.447
Træ, år 60	0.523
Træ, år 75	0.365
Træ, år 80	0.268
Træ, år 90	0.083

tabel 25 viser samme oversigt for skovmodellens resultater for cellulosetræ.

TABEL 25. Oversigt over kg CO₂-eq påvirkninger per kg træ for skovmodellen i de forskellige år for cellulosetræ.

Erstatningsår	Skovmodel-resultat (kg CO ₂ -eq / kg træ)
Cellulosetræ, år 0	-1.484
Cellulosetræ, år 15	-1.265
Cellulosetræ, år 30	-1.016
Cellulosetræ, år 40	-0.836
Cellulosetræ, år 45	-0.740
Cellulosetræ, år 50	-0.639
Cellulosetræ, år 60	-0.412
Cellulosetræ, år 75	-0.018
Cellulosetræ, år 80	0.071
Cellulosetræ, år 90	0.144

tabel 26 nedenfor viser bidragsanalysen for klimapåvirkning for 1 kg træ til byggeriet i år 0

Som set på tabellen har skovmodellen stor indflydelse på resultaterne. Det observeres, at det fortrængte cellulosetræ bidrager mest til klimaaftrykket, efterfulgt af brug af land (iLUC) og sekundære inputs i både skoven og savværket. Skovmodellens reduktion af klimapåvirkning for svensk nåletræ er -1,08 kg CO₂-eq, og det er derfor ikke nok til at modvirke cellulosetræet, der grundet dennes skovmodel har et andet kg CO₂-eq påvirkning. Desuden fremgår det, at klimapåvirkningen fra træ er næsten halveret (0.59 kg CO₂-eq), når skovmodellens tal er taget ud (når "Svensk nåletræ – skovmodel" og " Fortrængt cellulosetræ - skovmodel" ikke medregnes).

TABEL 26. Bidragsanalyse for træ anvendt i byggeriet i år 0, opførselsfasen, for både svensk nåletræ og fortrængt cellulosetræ som kg CO₂-eq/kg træ.

Stadie	Bidrag	Kg CO ₂ -eq / kg træ
Svensk nåletræ		
	Svensk nåletræ - skovmodel	-1,08
	Land (iLUC) og andre sekundære inputs	0,46
	Total: Svensk nåletræ	-0,62
Savværk		
	Fortrængt cellulosetræ - skovmodel	1,47
	Fortrængt cellulosetræ – land (iLUC) og andre sekundære inputs	-0,28
	Sekundære inputs - savværk	0,41
	Total: Savværk	1,60
Alle stadier		
Total		0,98

I tabel 27 nedenfor ses modelleringen af materialehåndtering ved endt levetid for hvert materiale i dette studie.

TABEL 27. Oversigt over håndtering af materialer ved endt levetid.

Materiale	Genanvendelse	Forbrænding	Deponi	Kilde
Tilslag			100%	Antaget
Aluminium	90%		10%	Antagelse for metaller. Baseret på Miljøstyrelsen (2020)
Biobaseret	90%	10%		Som: Schmidt & Dalgaard (2016)
Bitumen	90%		10%	Baseret på Miljøstyrelsen (2020)
Kobber	90%		10%	Antagelse for metaller. Baseret på Miljøstyrelsen (2020)
Ler	90%		10%	Baseret på Miljøstyrelsen (2020)
Beton	100%			Baseret på Miljøstyrelsen (2020)
Teglsten	90%		10%	Baseret på Miljøstyrelsen (2020)
Glas	70%		30%	Antaget 70/30. Baseret på bygcirculært (nd)
Isolering			100%	Som glasuld i Miljøstyrelsen (2020)
Mørtel	100%			Antaget som beton
Natsten	100%			Antaget som beton
Maling		100%		Antaget sendt til forbrænding
Gips	90%		10%	Antagelse baseret på Miljøstyrelsen (2020)
Plastik	50%	50%		Baseret på McKinsey (2019)
Stål	90%		10%	Antagelse for metaller. Baseret på Miljøstyrelsen (2020)
Tekstil		100%		Antagelse for tekstiler. Baseret på Miljøstyrelsen (2020)
Zink	90%		10%	Antagelse for metaller. Baseret på Miljøstyrelsen (2020)

Til modelleringen af bortskaffelse benyttes relevante EXIOBASE-kategorier. En oversigt ses nedenfor i **TABEL 28**:

TABEL 28. Oversigt over anvendte EXIOBASE-kategorier ifm. modellering af endt levetid af materialer.

Materiale	Genanvendelse	Forbrænding	Deponi
Tilslag			157 Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
Aluminium	77 Re-processing of secondary aluminium into new aluminium		157 Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
Biobaseret	_51 Re-processing of secondary wood material – med modificeret substitution	145 Incineration of waste: Wood – med modificeret CO2 emission fra skovmodel.	
Bitumen	115 Re-processing of secondary construction material into aggregates		
Kobber	_81 Re-processing of secondary copper into new copper		157 Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
Ler	115 Re-processing of secondary construction material into aggregates		157 Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
Beton	115 Re-processing of secondary construction material into aggregates		
Teglsten	115 Re-processing of secondary construction material into aggregates		157 Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
Glas	_66 Re-processing of secondary glass into new glass		157 Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
Isolering			157 Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
Mørtel	115 Re-processing of secondary construction material into aggregates		
Natursten	115 Re-processing of secondary construction material into aggregates		
Maling		146 Incineration of waste: Oil/Hazardous waste	
Gips	115 Re-processing of secondary construction material into aggregates		157 Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
Plastik	_60 Re-processing of secondary plastic into new plastic	142 Incineration of waste: Plastic	
Stål	_73 Re-processing of secondary steel into new steel		157 Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
Tekstil		144 Incineration of waste: Textiles	
Zink	_79 Re-processing of secondary lead into new lead		157 Landfill of waste: Inert/metal/hazardous

BILAG 6 – FØLSOMHEDSANALYSE - SCENARIER

Som nævnt i rapporten er følgende scenarier vurderet i forhold til følsomhed:

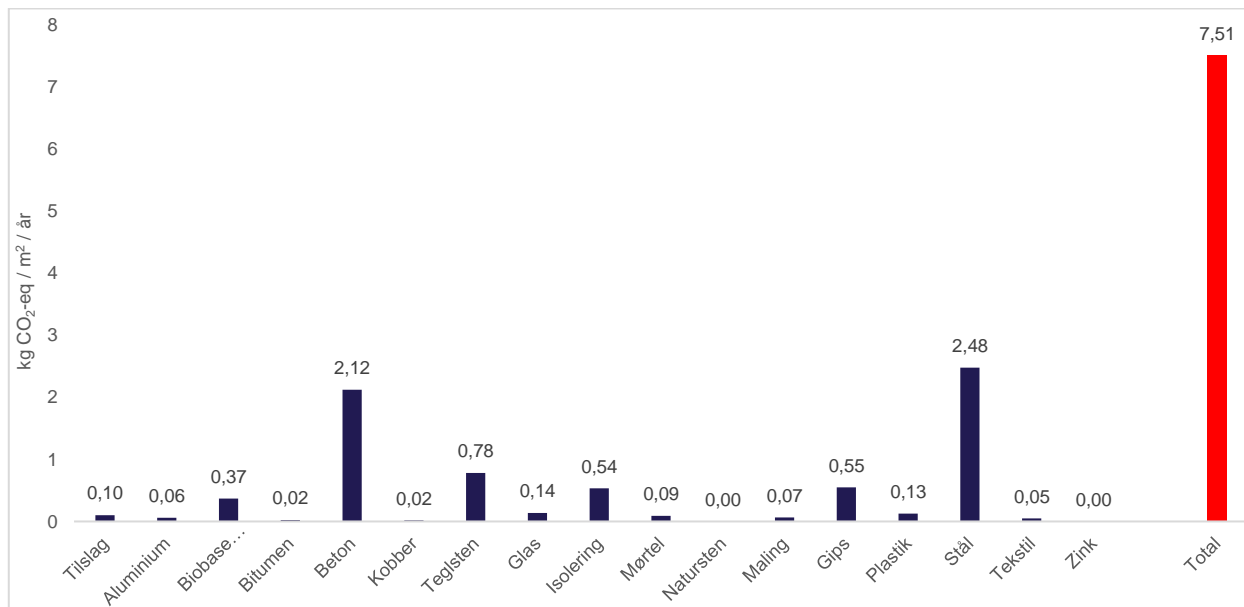
- Den marginale leverandør af cement ændres fra Danmark til Tyskland
- Den marginale leverandør af stål ændres fra Kina til Tyskland
- Rotationstiden i skovmodellen øges med 10 år

Dermed undersøges disse parameter i forhold til, hvordan de påvirker resultaterne for klimapåvirkning.

Scenarie med tysk cement

Klimapåvirkningen for scenarieret med tysk cement vises kun for det konventionelle scenarie, da det stadig antages at reduktioner i efterspørgsel på beton i Danmark ved et skift til byggeskik i træ vil medføre reduktion i dansk cementproduktion. Derfor vil resultatet for scenarieret for et skift til træ vise samme forskel som det konventionelle scenarie.

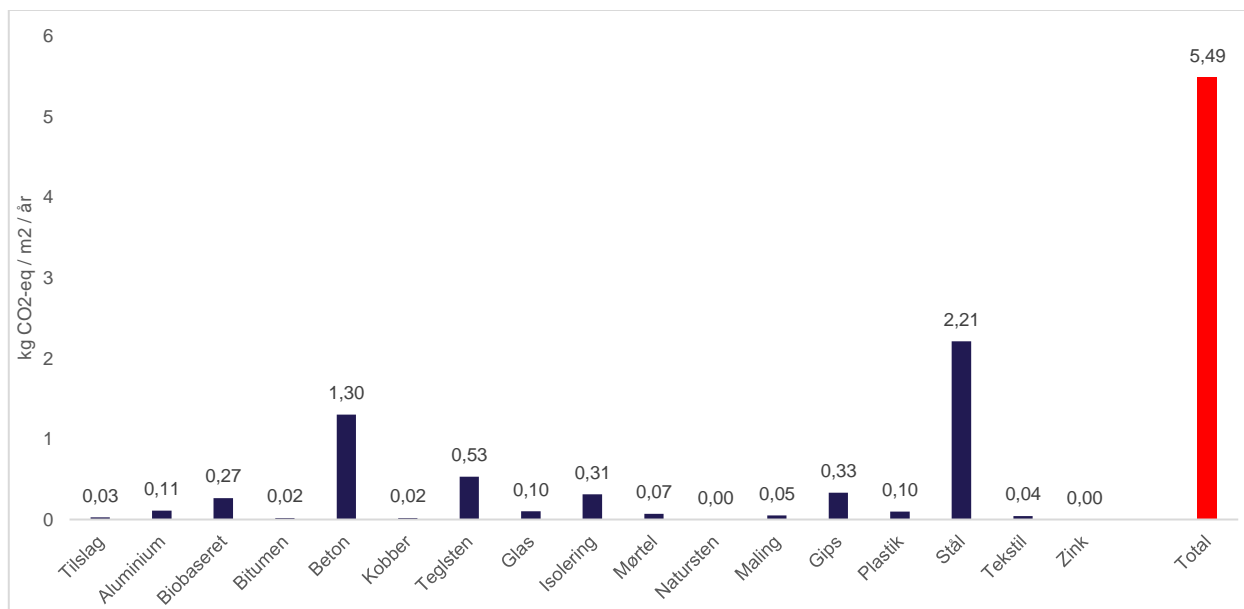
På figur 86 ses resultatet for det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 60 år, hvor det antages, at dansk efterspørgsel på cement vil medføre tysk produktion. Det observeres, at resultatet er 0,15 kg CO₂-eq lavere per kvadratmeter per år i forhold til det primære resultat.



FIGUR 86. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 60 år ved et scenarie med Tyskland som marginal leverandør af cement.

På figur 87 ses resultatet for det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 100 år, hvor det antages, at dansk efterspørgsel på cement vil medføre tysk produktion. Det observeres, at resultatet er 0,09 kg CO₂-eq lavere per kvadratmeter per år ift. scenariet med dansk cement.

Scenariet med tysk cement viser derfor, at resultaterne for klimapåvirkning er en smule lavere, da den tyske cement har et lavere aftryk end den danske. Forskellen er dog ikke stor, hvorfor det indikerer, at denne parameter ikke har en høj vigtighed.

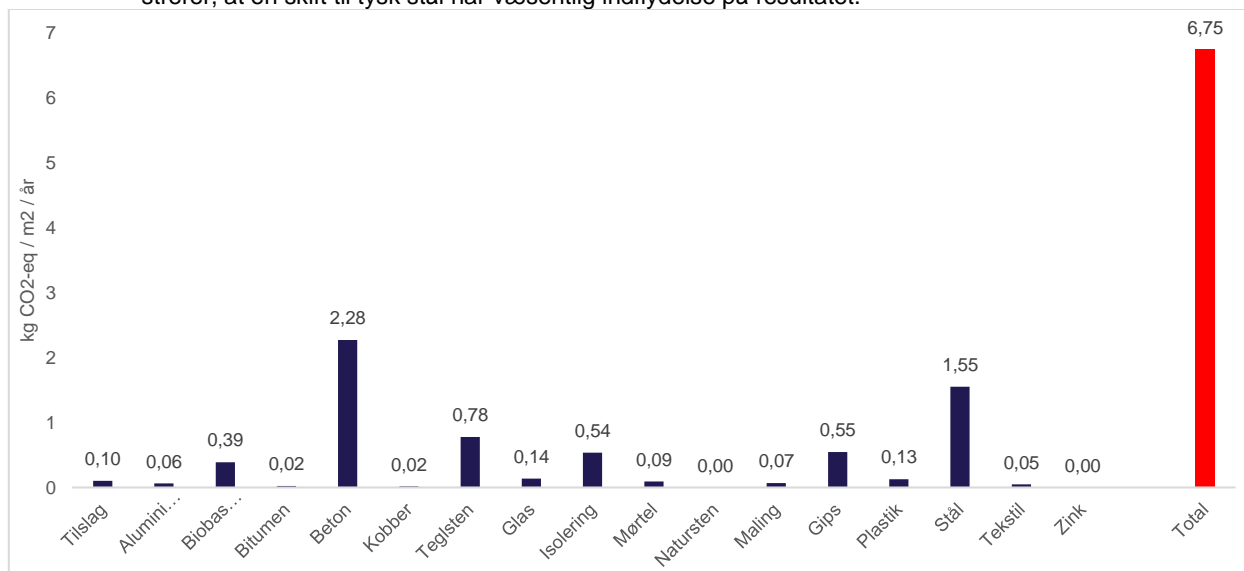


FIGUR 87. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 100 år ved et scenarie med Tyskland som marginal leverandør af cement.

Scenarie med tysk stål

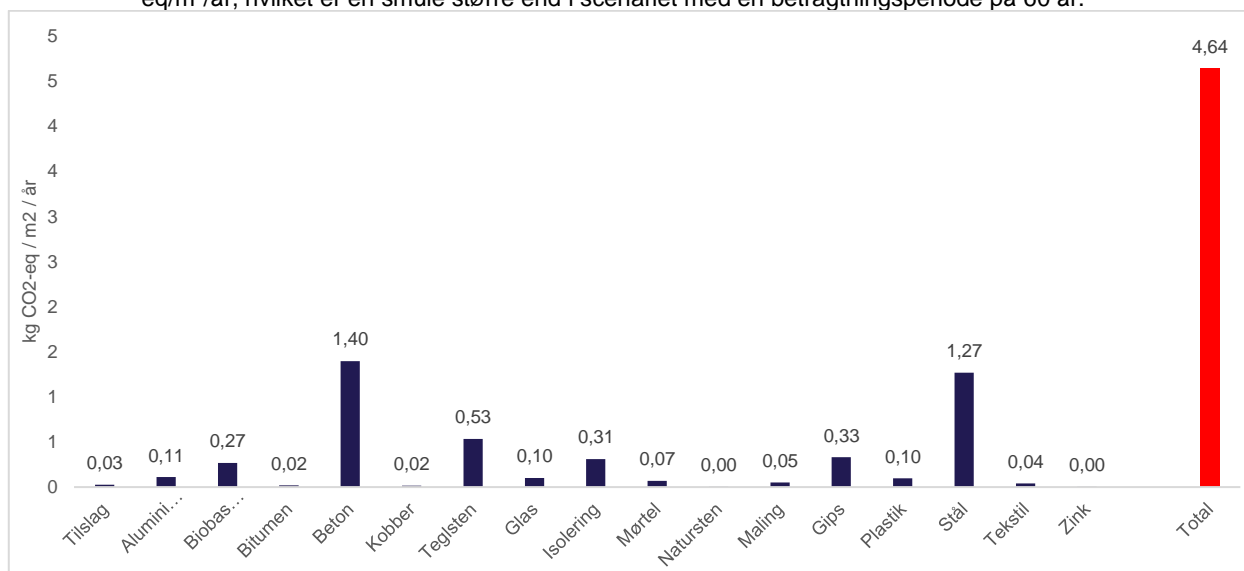
Som tidligere nævnt inkluderer klimapåvirkningerne et scenarie, hvor tysk stål antages at være den faktisk påvirkede leverandør i stedet for Kina. Dette scenarie kan være realistisk i en situation, hvor Danmark er villige til at betale mere for stål fra Europa, hvorigennem en business case for stål i Europa kan gendannes.

På figur 88 ses resultatet for det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 60 år. Det observeres, at klimapåvirkningen aftager med 0,91 kg CO₂-eq/m²/år, hvilket illustrerer, at en skift til tysk stål har væsentlig indflydelse på resultatet.



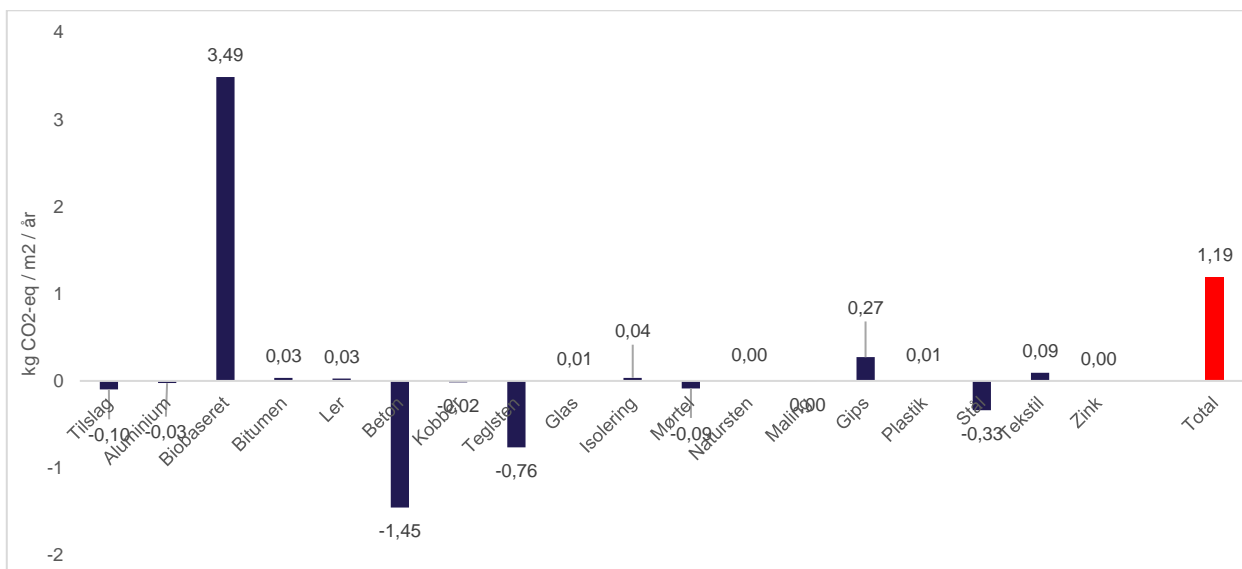
FIGUR 88. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 60 år ved et scenarie med Tyskland som den påvirkede leverandør af stål.

På figur 89 ses klimapåvirkningerne for det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 100 år. Det observeres, at det absolutte fald i klimapåvirkning er 0,94 kg CO₂-eq/m²/år, hvilket er en smule større end i scenariet med en betragtningsperiode på 60 år.



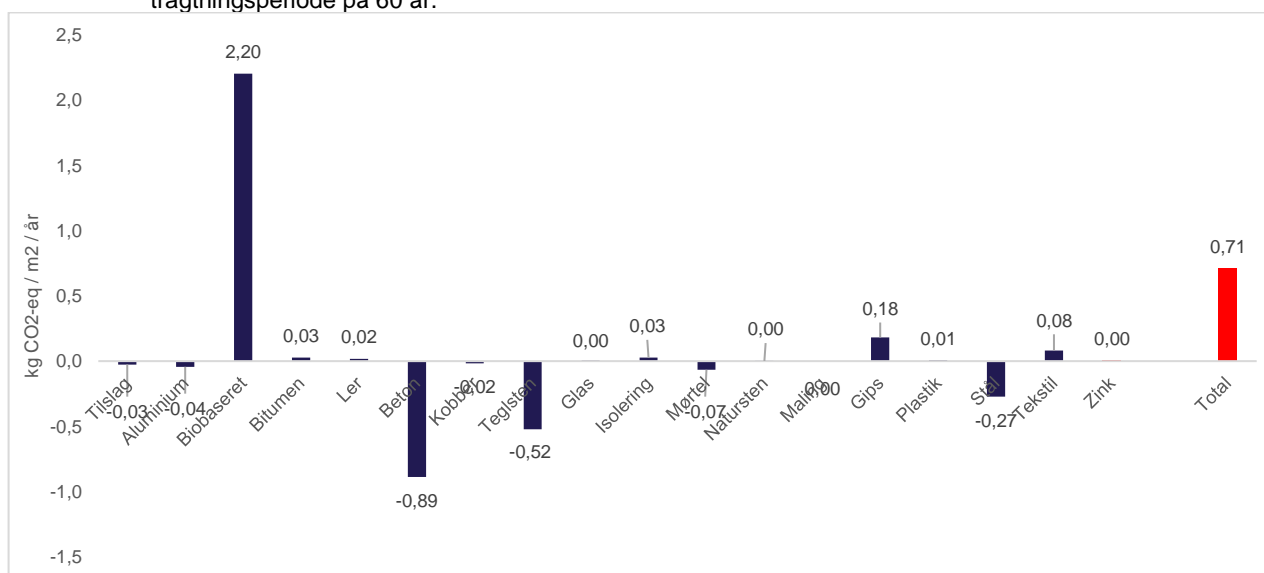
FIGUR 89. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 100 år ved et scenarie med Tyskland som den påvirkede leverandør af stål.

På figur 90 ses klimapåvirkningerne for et skift til træ med en betragtningsperiode på 60 år med Tyskland som påvirket leverandør af stål. Det observeres, at skiftet til træ medfører et yderligere klimaaftryk på 0,38 kg CO₂-eq/m²/år end det primære resultat med Kina som påvirket leverandør. Dette baserer sig på, at det undgåede stål nu har mindre betydning, da brugen af stål har en lavere klimapåvirkning, når det er fra Tyskland.



FIGUR 90. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 60 år ved et scenarie med Tyskland som den påvirkede leverandør af stål.

På figur 91 ses klimapåvirkningerne for et skift til træ med en bygningslevetid på 100 år ved tysk stål. Her ses igen en yderligere stigning i klimapåvirkningen, nu på 0,24 kg CO₂-eq/m²/år. Den absolutte forskel i klimapåvirkningen er mindre end for scenariet med en betragtningsperiode på 60 år.



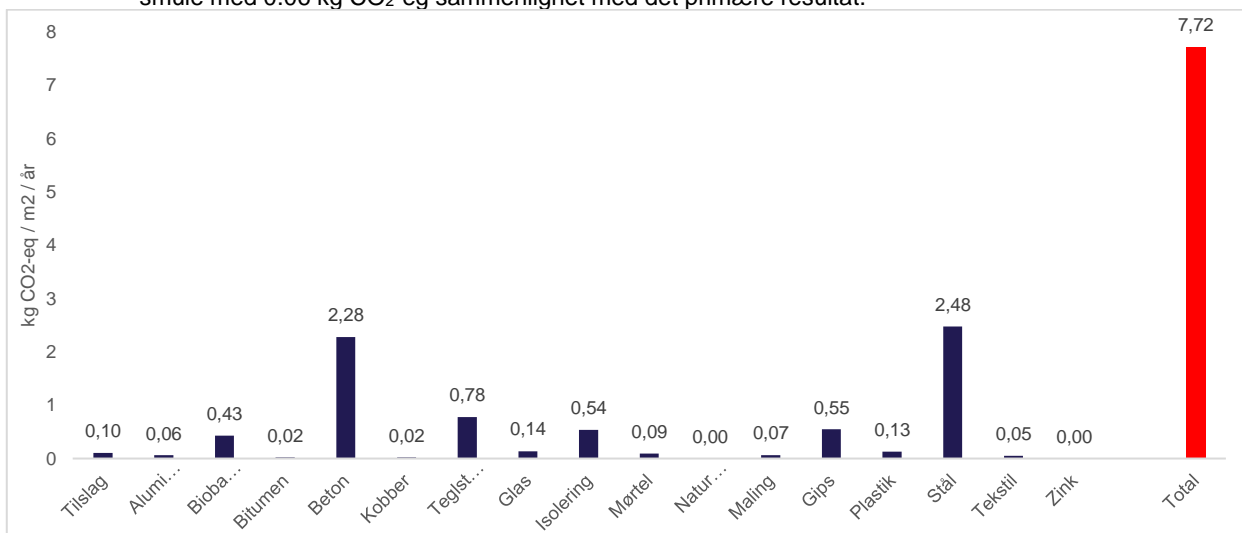
FIGUR 91. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 100 år ved et scenarie med Tyskland som den påvirkede leverandør af stål.

Baseret på alle resultaterne for tysk stål er det tydeligt, at denne ændring har stor indflydelse på resultaterne. Basisscenaariets resultater for klimapåvirkninger er markant lavere, hvilket også medfører en større forskel i forhold til scenariet med et skift til træ.

Scenarie med 10 år længere rotationstid i skovbrug

Dette scenarie har til formål at undersøge følsomheden for rotationstiden i skov i den tidligere nævnte skovmodel præsenteret i De Rosa et al. (2016b). Rotationstiden for skoven har implikationer for tidskorrigeringen af CO₂-optag og udledning, da både mængden af optaget CO₂ og mængden af skovrester, der nedbrydes, påvirkes af denne parameter. Rotationstiden ændres i modellen for træ i hvert erstatningsår. Nedenfor præsenteres resultaterne for klimapåvirkning ved dette scenarie.

På figur 92 ses klimapåvirkningerne for det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 60 år, med en øget rotationstid. Det observeres, at klimapåvirkningen er øget en smule med 0.06 kg CO₂-eq sammenlignet med det primære resultat.



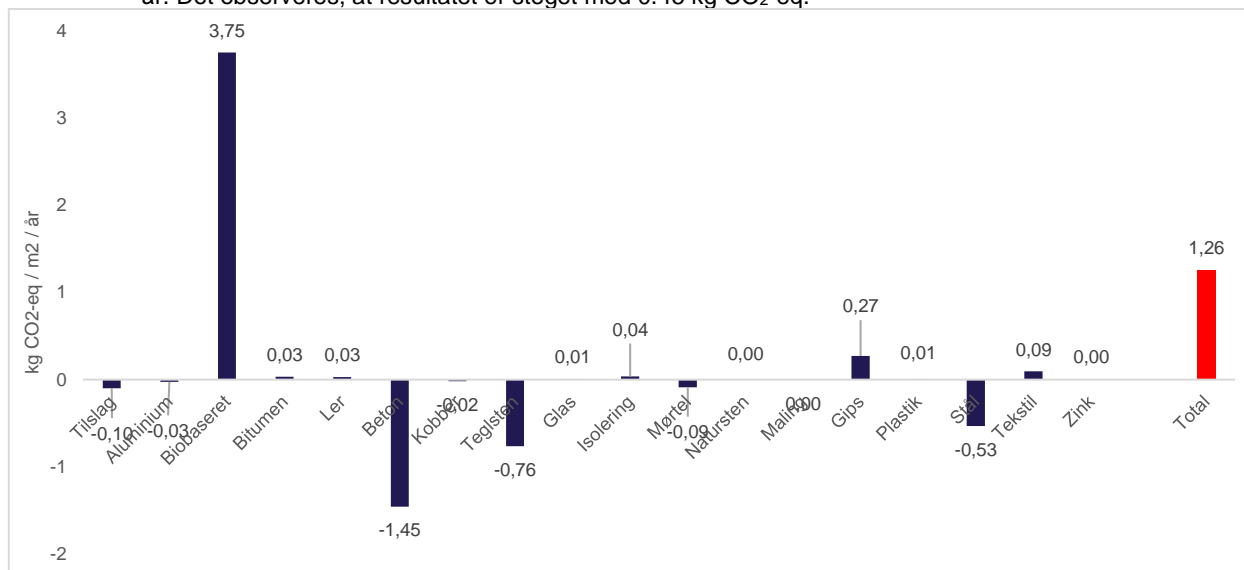
FIGUR 92. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 60 år ved et scenarie med 10 år længere rotationstid for skovbrug.

På figur 93 ses klimapåvirkningerne for det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 100 år, med en øget rotationstid i skoven. Det observeres igen, at klimapåvirkningen er øget en smule med 0.05 kg CO₂-eq sammenlignet med det primære resultat.



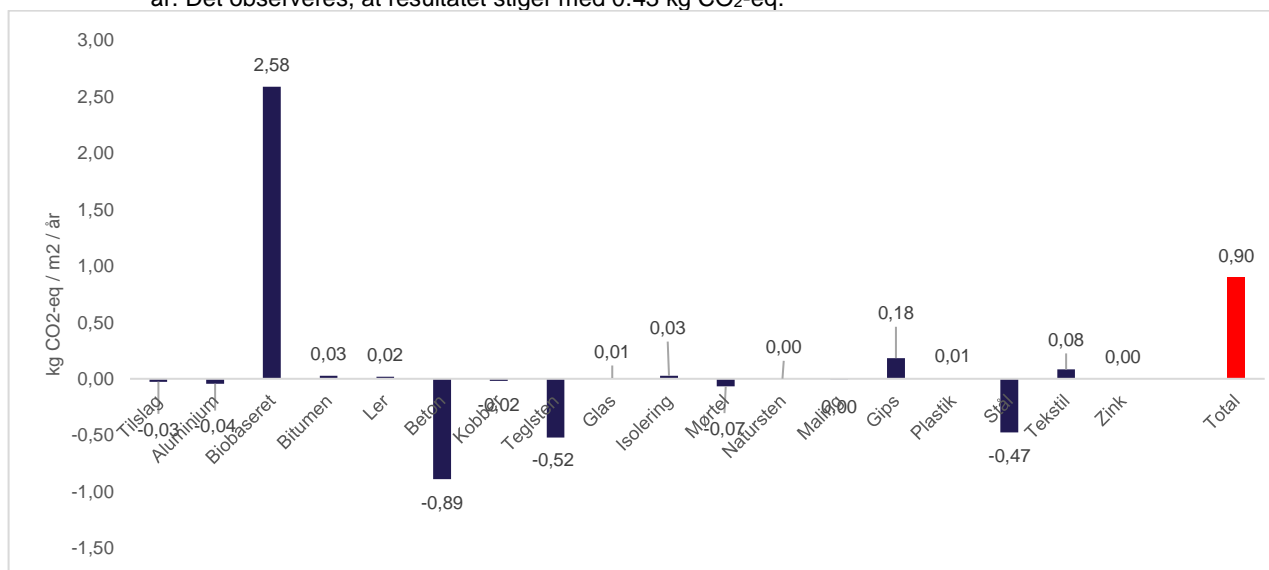
FIGUR 93. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 100 år ved et scenarie med 10 år længere rotationstid for skovbrug.

På figur 94 ses klimapåvirkningerne for et skift til træ med en betragtningsperiode på 60 år. Det observeres, at resultatet er steget med 0.45 kg CO₂-eq.



FIGUR 94. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 60 år ved et scenarie med 10 år længere rotationstid for skovbrug.

På figur 95 ses klimapåvirkningerne for et skift til træ med en betragtningsperiode på 100 år. Det observeres, at resultatet stiger med 0.43 kg CO₂-eq.



FIGUR 95. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 100 år ved et scenarie med 10 år længere rotationstid for skovbrug.

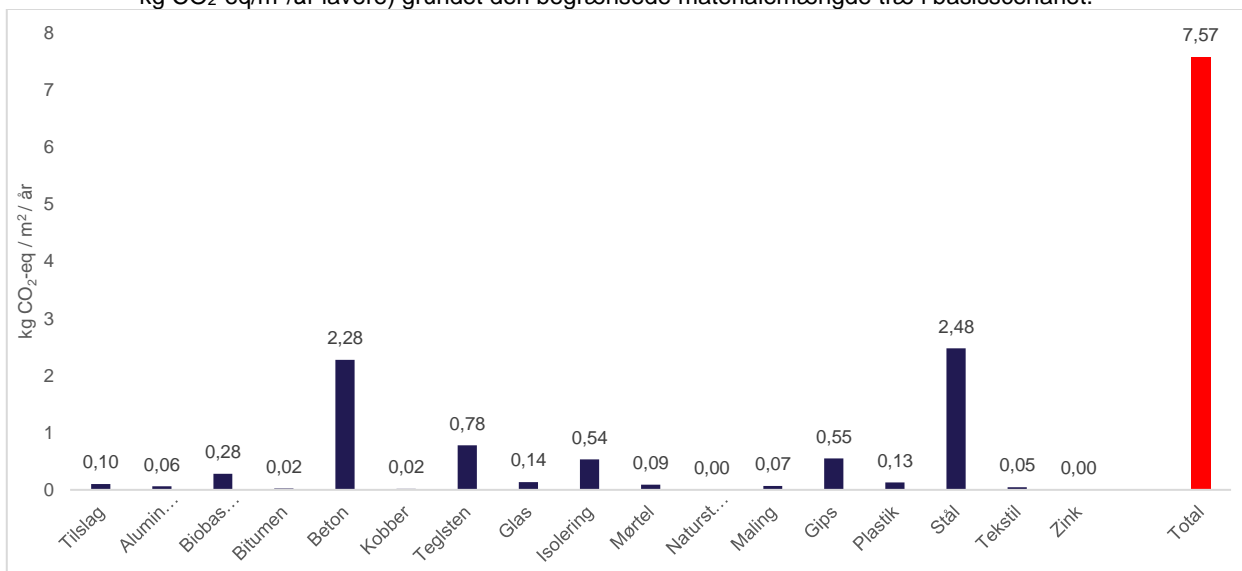
Det fremgår generelt af resultaterne, at en øgning af rotationstiden har en indflydelse på klimapåvirkningerne, da klimaaftrykket fra træ bliver en smule højere. Derfor ses den største forskel også i scenariet for et skift til træ, hvor forskellen fra basisscenariet er steget. For konventionel byggeskik er klimapåvirkningerne ved 10 års mere rotationstid nærmest uændret ift. basisscenariet.

Ændringen i klimapåvirkninger er ikke ubetydelig, hvilket indikerer, at inputs i skovmodellen har betydelig indflydelse på resultaterne. Dette illustrerer kompleksiteten i modellering af træs klimaaftryk, hvorfor resultater skal forstås i kontekst af disse inputs.

Scenarie uden skovmodel

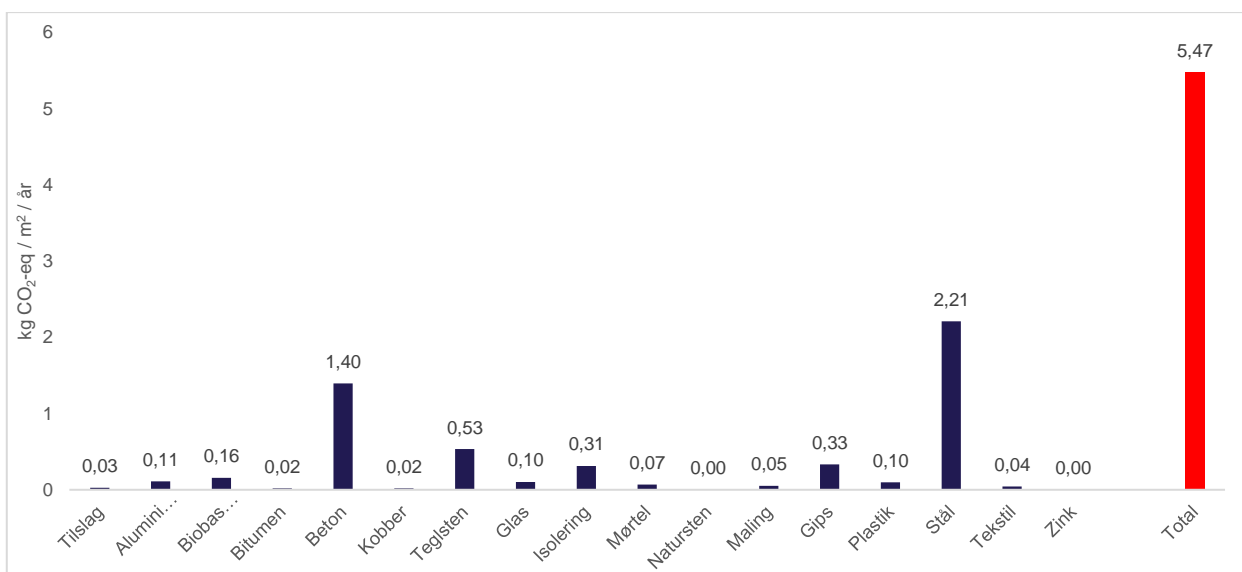
Dette scenarie har til formål at undersøge følsomheden for inklusion af skovmodel til at tidskorrigere CO₂-udledninger og optag i skoven. Dermed illustrerer disse resultater et scenarie, hvor resultatet for skoven er regnet som 0, hvilket gælder for både skoven til træ i byggeriet samt den modellerede skov for undgået cellulosestrø.

På figur 96 vises resultatet for den gennemsnitlige m² i basisscenariet uden skovmodel med en betragtningsperiode på 60 år. Det observeres, at resultatet er næsten identisk (0,09 kg CO₂-eq/m²/år lavere) grundet den begrænsede mængde træ i basisscenariet.



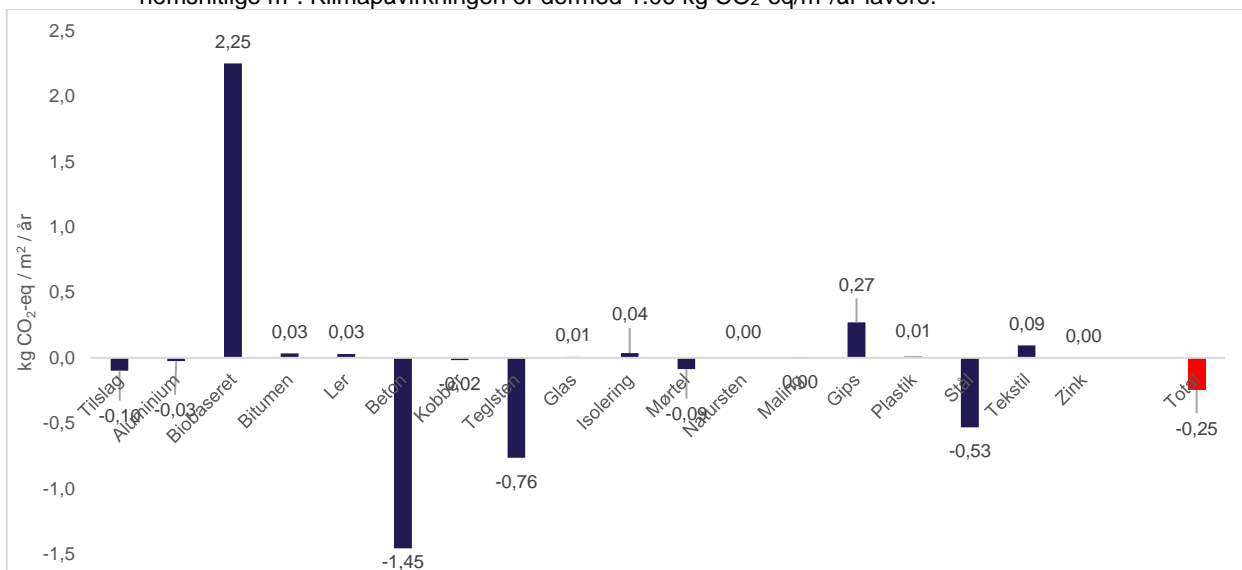
FIGUR 96. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 60 år ved et scenarie uden anvendelse af skovmodel.

På figur 97 vises samme resultat for basisscenariet med en betragtningsperiode på 100 år. Det observeres igen, at resultatet nærmest ikke har ændret sig (0,11 kg CO₂-eq/m²/år lavere), da træ kun udgør en lille del af bygningsmaterialerne i dette scenarie.



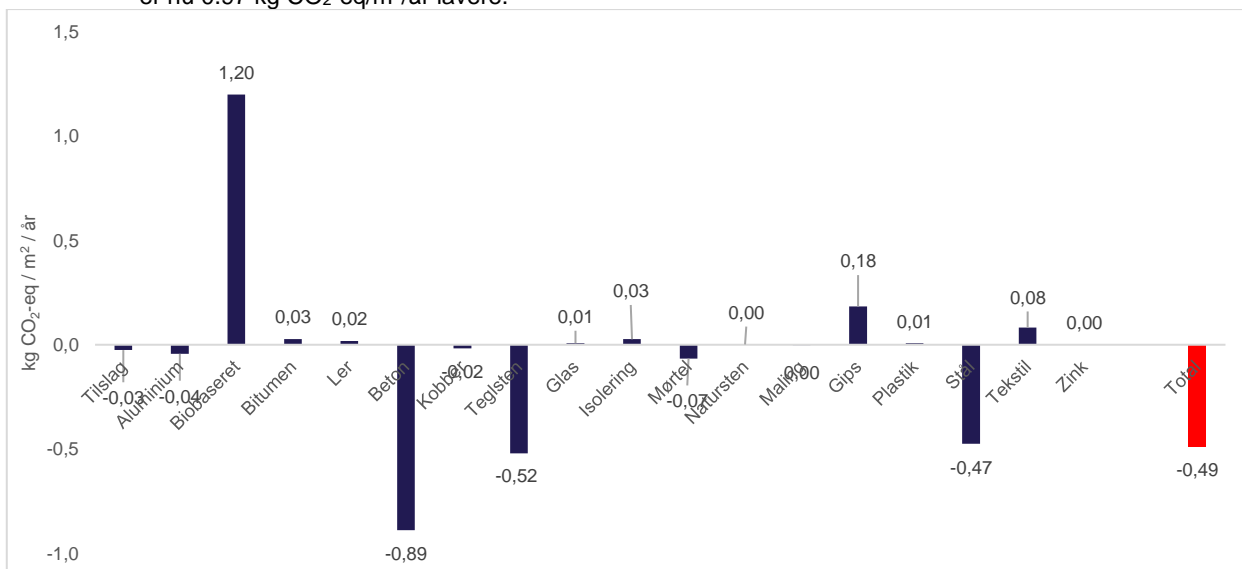
FIGUR 97. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 100 år ved et scenarie uden anvendelse af skovmodel.

På figur 98 ses klimapåvirkningerne for et skift til træ for den gennemsnitlige m² med en betragtningsperiode på 60 år. Det observeres, at der nu ses en mindre reduktion i den samlede klimapåvirkning ved et skift til træ, når skovmodellen ikke er anvendt. Dette er modsat klimapåvirkningen inkl. skovmodel, hvor træ medfører en øget klimapåvirkning for den gennemsnitlige m². Klimapåvirkningen er dermed 1.06 kg CO₂-eq/m²/år lavere.



FIGUR 98. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 60 år ved et scenarie uden anvendelse af skovmodel.

På figur 99 ses klimapåvirkningen for et skift til træ med en betragtningsperiode på 100 år. Det observeres, at der igen er en reduktion i klimapåvirkning, hvor et skift til træ viser en endnu lavere klimapåvirkning end ved 60 år, når skovmodellen ikke inkluderes. Klimapåvirkningen er nu 0.97 kg CO₂-eq/m²/år lavere.



FIGUR 99. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 100 år ved et scenarie uden anvendelse af skovmodel.

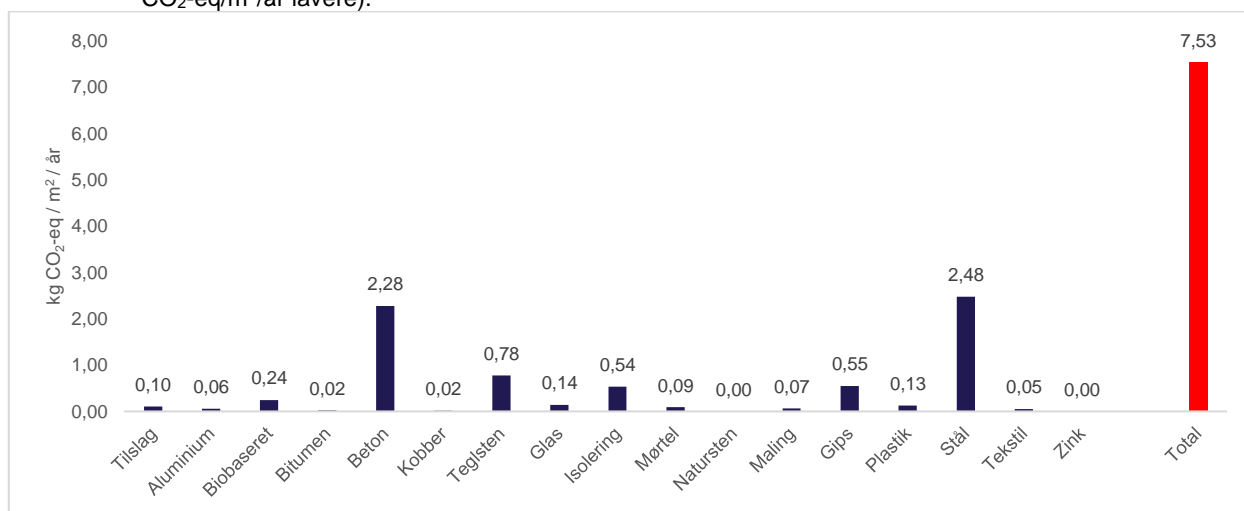
Det står derfor klart, at skovmodellens inklusion har store implikationer for resultaterne. Grunden til, at resultaterne skifter til en klimapåvirkningsreduktion ved skift til træ er, at inklusionen af skovmodellen medførte betydelige klimapåvirkninger gennem undgået cellulosetræ, da dette cellulosetræ havde et negativt klimaaftryk. Derfor vil biprodukterne fra savværket, som substituerer cellulosetræ, medføre yderligere klimapåvirkning ved inklusion af

skovmodellen. Den lavere rotationstid for cellulosetræet sammenlignet med træ til byggeriet medfører, at den negative (reducerende) påvirkning fra den originale skov til tømmer ikke var nok til at udligne denne forskel. Resultaterne uden skovmodellen viser, hvor central denne parameter er, når klimaaftrykket for træ skal beregnes. Det må derfor stå klart, at et yderligere fokus på detaljeret modellering af skove er en vital del livscyklusvurderinger, der ligger til grunde for beslutningstagere.

Scenarie uden skovmodel og uden indirekte arealanvendelse (iLUC)

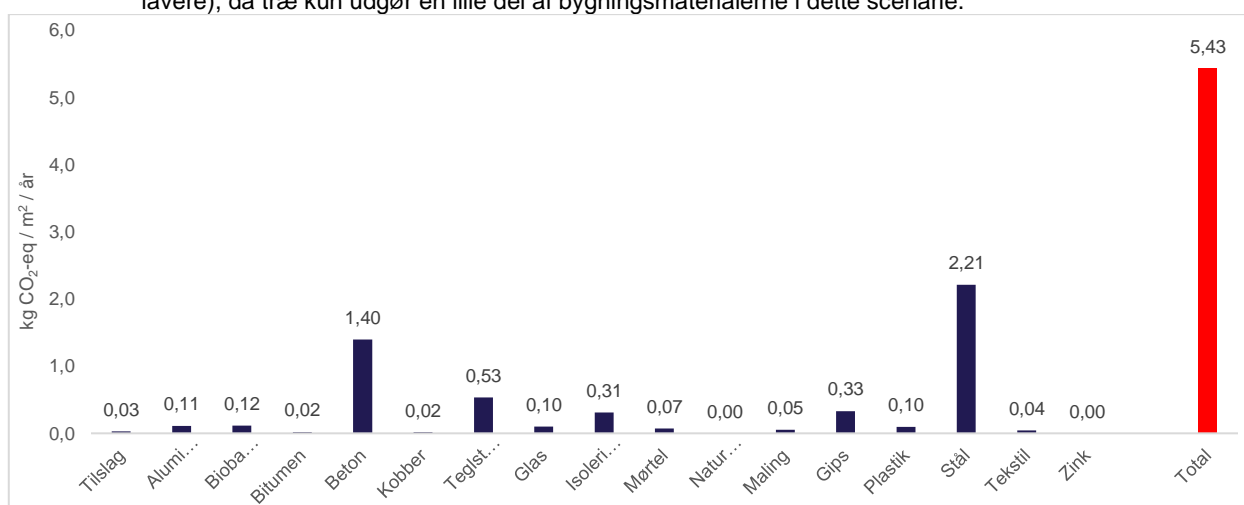
Dette scenarie har til formål at undersøge følsomheden for inklusion af skovmodel til tidskorrigering af CO₂-udledninger og optag i skoven samt følsomheden af inklusion af indirekte arealanvendelse (iLUC) ifm. efterspørgsel på land ved forbrug af træ i byggeriet. Dermed illustrerer disse resultater et scenarie, hvor resultatet for skoven og iLUC er regnet som 0, hvilket gælder for både skoven til træ i byggeriet samt den modellerede skov for undgået cellulose-træ.

Figur 100 viser resultatet for den gennemsnitlige m² i det konventionelle scenarie uden skovmodel og iLUC med en betragtningsperiode på 60 år. Det observeres, at resultatet er næsten identisk grundet den begrænsede mængde træ i basisscenariet sig (0,13 kg CO₂-eq/m²/år lavere).



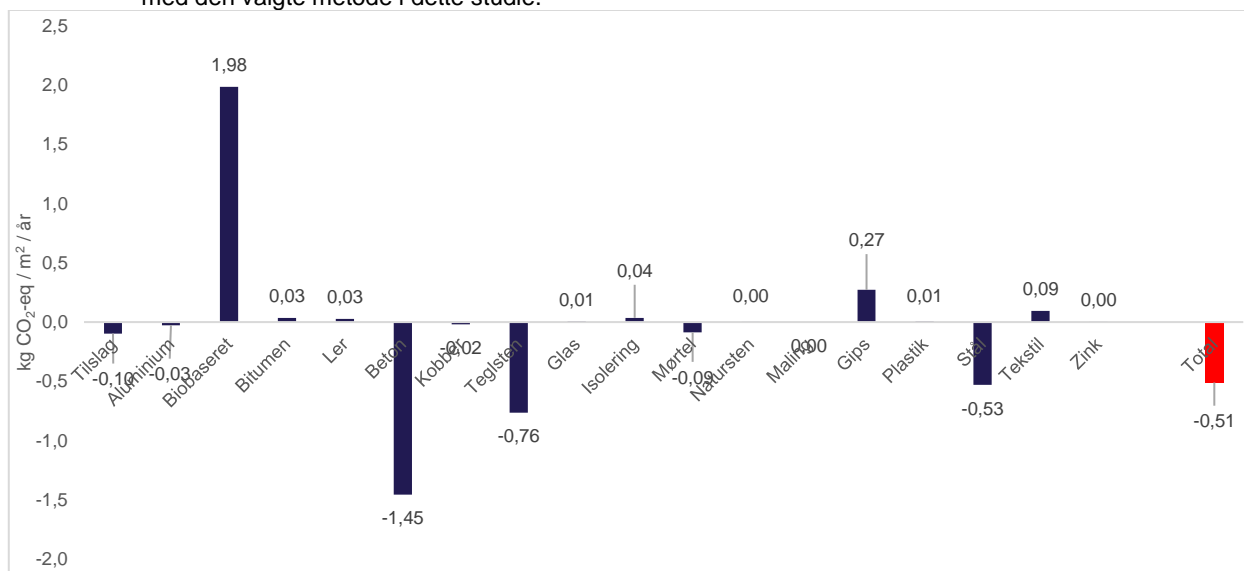
FIGUR 100. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 60 år ved et scenarie uden anvendelse af skovmodel og uden indirekte arealanvendelse (iLUC).

Figur 101 viser resultatet for det konventionelle scenarie med en betragtningsperiode på 100 år. Det observeres igen, at resultatet nærmest ikke har ændret sig (0,15 kg CO₂-eq/m²/år lavere), da træ kun udgør en lille del af bygningsmaterialerne i dette scenarie.



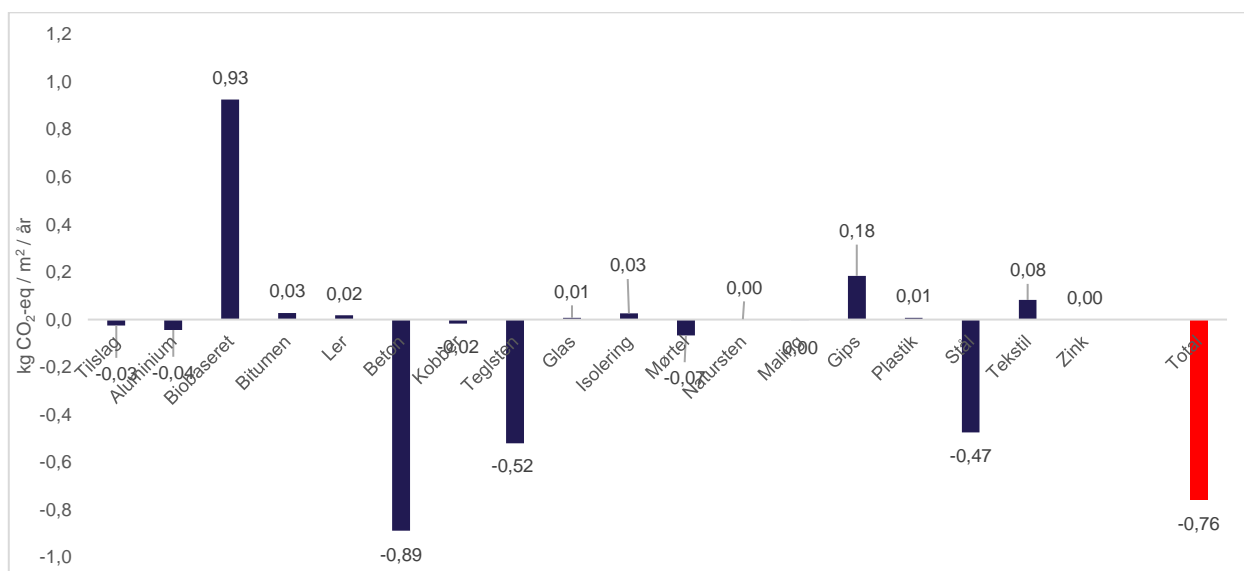
FIGUR 101. Årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelt byggeri for en betragtningsperiode på 100 år ved et scenarie uden anvendelse af skovmodel og uden indirekte arealanvendelse (iLUC).

På Figur 102 ses klimapåvirkningerne for et skift til træ for den gennemsnitlige m² med en betragtningsperiode på 60 år. Det observeres, at der nu ses en mindre reduktion i den samlede klimapåvirkning ved et skift til træ, når skovmodellen og iLUC ikke er anvendt. Dette er modsat klimapåvirkningen inkl. skovmodel og iLUC for et skift til træbyggeri, hvor træ medfører en øget klimapåvirkning for den gennemsnitlige m². Forskellen ift. inkl. skovmodel og iLUC er 1.30 kg CO₂-eq/m²/år lavere. Ift. et skift til træbyggeri, hvor skovmodellen ikke er inkluderet, er klimapåvirkningen 0.26 kg CO₂-eq/m²/år lavere, hvilket effekten af ikke at medregne iLUC med den valgte metode i dette studie.



FIGUR 102. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 60 år ved et scenarie uden anvendelse af skovmodel og uden indirekte arealanvendelse (iLUC).

På Figur 103 ses klimapåvirkningerne for et skift til træ for den gennemsnitlige m² med en betragtningsperiode på 100 år. Det observeres, at der nu ses en ikke ubetydelig reduktion i den samlede klimapåvirkning ved et skift til træ, når skovmodellen og iLUC ikke anvendes i vurderingen. Dette er modsat klimapåvirkningen inkl. skovmodel og iLUC for et skift til træbyggeri, hvor træ medfører en øget klimapåvirkning for den gennemsnitlige m². Forskellen ift. at inkludere skovmodel og iLUC er 1.23 kg CO₂-eq/m²/år lavere. Ift. et skift til træbyggeri, hvor skovmodellen ikke er inkluderet, er klimapåvirkningen 0.27 kg CO₂-eq/m²/år lavere, hvilket dermed svarer til påvirkningen fra iLUC.



FIGUR 103. Forskellen (ændring) i årlig GWP₁₀₀-påvirkning for en gennemsnitlig m² (kg CO₂-eq/m²/år) ved et skift til træbyggeri for en betragtningsperiode på 60 år ved et scenarie uden anvendelse af skovmodel og uden indirekte arealanvendelse (iLUC).

Dermed viser følsomhedsanalysen at det konventionelle scenarie ikke påvirkes i større grad ved at undlade skovmodellen og iLUC, da træ ikke indgår i store mængder, men klimapåvirkningen reduceres dog stadig en smule.

Til gengæld har eksklusionen af skovmodellen og iLUC en betydelig indflydelse på klimapåvirkningen ved et skift til træ, eftersom konklusionen ændres sammenlignet med scenariet, hvor disse er inkluderet, når der ses på den gennemsnitlige m². Det fremgår også, at iLUC har en mindre indflydelse på klimapåvirkningen fra et skift til træ ift. skovmodellen. Hvis skovmodellen inkluderes og iLUC ekskluderes vil iLUC alene ikke ændre den samlede konklusion, men eksklusionen vil dog stadig reducere træs klimapåvirkning til en vis grad.

BILAG 7 – FORKLARING AF MILJØPÅVIRKNINGSKATEGORIER

Dette bilag giver en oversigt over miljøpåvirkningskategorierne i den anvendte LCIA-metode: Stepwise 2006. Metoden er nærmere beskrevet i Weidema et al (2008) og i Weidema (Weidema, 2009). Følgende miljøpåvirkningskategorier er ikke vist i resultaterne, da resultatet var nul: *Ionizing radiation* og *Ozone layer depletion*.

TABEL 29. Beskrivelse af miljøpåvirkningskategorierne i Stepwise 2006.

Impact category	Unit	Original source		Explanation
		EDIP 2003	Impact 2002+	
Global warming	kg CO ₂ -eq	x		The unit is GWP ₁₀₀ (kg CO ₂ equivalents) based on the IPCC status reports.
Nature occupation	m ² agr land		x	The unit 'm ² -equivalents arable land', represents the impact from the occupation of one m ² of arable land during one year. Impact 2002+ (Jolliet <i>et al.</i> , 2003) have obtained the method for LCIA from Ecolndicator (Goedkoop and Spriensma, 2001) where the impact is assessed on the basis of the duration of area occupied (m ² *years) multiplied with a severity score, representing the potentially disappeared fraction (PDF) of species on that area during the specified time. In order to include the impacts from transformation, the Stepwise method introduces an additional severity of 0.88 to represent the secondary impacts from this transformation (deforestation), calculated as the nature occupation during the later relaxation from deforestation.
Acidification	m ² UES	x		The unit expresses the area of ecosystem within the full deposition area (in Europe) which is brought to exceed the critical load of acidification as a consequence of the emission (area of unprotected ecosystem = m ² UES). The impact indicator is based on modelling of deposition in Europe (Potting and Hauschild, 2005, p47).
Eutrophication, aquatic	kg NO ₃ -eq	x		The aquatic eutrophication potentials of a nutrient emission express the maximum exposure of aquatic systems that it can cause. The aquatic eutrophication potentials are expressed as N- or P-equivalents (Potting and Hauschild, 2005, p73-74).
Eutrophication, terrestrial	m ² UES	x		Same as for acidification.
Photochemical ozone, vegetat.	m ² *ppm*h	x		The impact is expressed as the accumulated exposure (duration times exceedance of threshold) above the threshold of 40 ppb times the area that is exposed as a consequence of the emission. The threshold of 40 ppb is chosen as an exposure level below which no or only small effects occur. The unit for vegetation exposure is m ² *ppm*hours (Potting and Hauschild, 2005, p93).

Respiratory inorganics	kg PM _{2.5} -eq		x	The impact on human health related to respiratory inorganics is expressed as equivalents of particles (PM _{2.5}).
Respiratory organics	pers*ppm*h	x		The category covers the impact on human health from photochemical ozone formation. The impact is expressed as the accumulated exposure above the threshold of 60 ppb times the number of persons which are exposed as a consequence of the emission. No threshold for chronic exposure of humans to ozone has been established. Instead, the threshold of 60 ppb is chosen as the long-term environmental objective for the EU ozone strategy proposed by the World Health Organisation, WHO. The unit for human exposure is pers*ppm*hours (Potting and Hauschild, 2005, p93).
Human toxicity, carcinogens	kg C ₂ H ₃ Cl-eq		x	The impact on human health related to carcinogens is expressed as equivalents of chloroethylene (C ₂ H ₃ Cl). The Impact2002+ method determines the damage on human health in terms of DALY (disability adjusted life years). Since there is no real mid-point for human toxicity, the Impact2002+ method has chosen C ₂ H ₃ Cl-eq. as a reference substance (Jolliet <i>et al.</i> , 2003).
Human toxicity, non-carc.	kg C ₂ H ₃ Cl-eq		x	Same as for human toxicity, carcinogens
Ecotoxicity, aquatic	kg TEG-eq w		x	The impact on ecosystems related to ecotoxicity is expressed as equivalents of triethylene glycol (TEG) into water. The Impact2002+ method determines the damage on ecosystems in terms of PAF (potentially affected fraction). Since there is no real mid-point for ecotoxicity, the Impact2002+ method has chosen TEG-eq. into water as a reference (Jolliet <i>et al.</i> , 2003).
Ecotoxicity, terrestrial	kg TEG-eq s		x	Same as for ecotoxicity, aquatic
Ozone layer depletion	kg CFC ₁₁ -eq		x	The unit is equivalents of CFC ₁₁ which is an important contributor to ozone layer depletion.
Non-renewable energy	MJ primary		x	Total use of primary non-renewable energy resources measured in MJ.
Mineral extraction	MJ extra		x	This is the expected increase in extraction energy per kg extracted material. The reasoning is based on the fact that extraction of minerals exploits the ores with the highest concentrates (most accessible) resources first. (Goedkoop and Spriensma, 2001, p14).

TABEL 30. Oversættelse af miljøpåvirkningskategorier fra engelsk til dansk.

Miljøpåvirkningskategori, engelsk	Miljøpåvirkningskategori, dansk
Global warming	Globalt opvarmningspotentiale
Respiratory inorganics	Respiratoriske uorganiske stoffer
Ecotoxicity, aquatic	Økotoxicitet, akvatisk
Ecotoxicity, terrestrial	Økotoxicitet, terrestrisk
Nature occupation	Naturbeslaglæggelse
Acidification	Forsuring
Eutrophication, aquatic	Eutrofiering, akvatisk
Eutrophication, terrestrial	Eutrofiering, terrestrisk
Respiratory organics	Respiratoriske organiske stoffer
Photochemical ozone, vegetat.	Fotokemisk ozondannelse, vegetation.
Non-renewable energy	Ikke-fornybar energi

BILAG 8 – EKSTERNT REVIEW: FEEDBACK OG DERTILHØRENDE SVAR

Oversigt over kommentarer fra det eksterne review og dertilhørende svar, samt hvilket afsnit den pågældende kommentar relaterer sig til.

TABEL 31. Kommentarer og feedback fra eksternt review med dertilhørende svar, samt hvilket afsnit i rapporten det relaterer sig til. Kursiv tekst i parentes er udsnittet fra teksten som den pågældende review-kommentar omhandler, hvis det ikke fremgår eksplicit tydeligt i selve review-kommentaren.

Afsnit	Review-kommentar	Svar til kommentar
Sammenfatning	Det er ikke klart hvad sæsonvariation-komponenter henfører til og hvad der menes med deres "format".	Tilføjet beskrivelse: Sæsonvariation-komponenten tager højde for sæsonvariationer såsom årstider, administrationspraksis, ferie højtider. "Format" er ændret til "sæsonvariation-komponentens data"
Sammenfatning	Det ville være nærliggende at studere cases fra nabolande hvor træbyggeri er mere udviklet som inspiration til, hvordan fremtidens danske træbyggeri kunne udvikle sig og til validering af resultaterne fra de danske cases	Pointen er tilføjet til diskussionen.
Sammenfatning	Anvendes der mere stål i træbygninger end i konventionelle (beton-baserede) bygninger? Hvordan modelleres end of life af bygningerne – tages der højde for stålets større egnethed til genanvendelse og funktionsbevarende recycling end beton's?	En af de specifikke cases for kontor indeholder meget stål. End-of-life er baseret på Exiobase-baggrundsprocesser. Der er ikke gået mere i detalje end baggrundsprocessen for "Recycling of steel".
Sammenfatning	Hvis dette (<i>begrænset anvendelse af stål i træbyggeri vil medføre reduceret klimapåvirkning</i>) er en usikker antagelse, bør det undersøges i en følsomhedsanalyse.	Det er omformuleret en smule, da det ikke er en usikkerhed. Det kan derimod observeres at stål har størst betydning for de anvendte kontor-casestudier i denne analyse.
Sammenfatning	Det (<i>modelleringen af skovens kulstof-dynamikker en har væsentlig indflydelse generelt set, når træ er involveret</i>) er vel ikke nogen overraskelse! Hvilke aspekter eller parametre i skovmodelleringen er det, der har en væsentlig indflydelse og samtidig er usikre eller repræsenterer valg, der kan diskuteres?	Dette er beskrevet i flere detaljer i slutningen af diskussionen.
2.1.1	Hvad er tidsmæssige scope – handler det om byggeri der opføres i dag eller det kommende årti? Dette er afgørende for anbefalingernes karakter og det er afgørende for hvad der er (vil være) de marginale leverandører og substituerede materialer for materialefasen. Det bør derfor fremgå eksplicit.	Det er en god pointe. Rapporten baserer sig på markedsanalyser i dag - men det er klart, at de bliver mere og mere usikre i fremtiden (fx hvis der efterspørges erstatningsstål om 80 år). Det er ikke inkluderet i denne analyse, men det er bestemt relevant at diskutere. Pointen er også nævnt i diskussionen

	Hver gang en antagelse præsenteres i modelleringen, vil det være godt med en kommentar om, hvor meget denne antagelse vil kunne påvirke resultatet af sammenligningen mellem de to byggeskikke (baseret på en følsomhedsanalyse).	
2.2.1	Ikke klart, at denne (<i>effekten af at efterspørge træ vil være, at CO₂ langsomt udledes af restprodukterne fra det første træ</i>) udledning er additional i forhold til hvad der ville være sket ved andre anvendelser af træet. Hvis det i stedet for at blive høstet blev stående, ville denne udledning ikke finde sted, til gengæld ville CO ₂ fikseringen påvirkes i takt med at træets tilvækst aftager. Tages der højde for dette i modelleringen – modelleres CO ₂ -fiksering pr. hektar dynamisk som funktion af træets årlige tilvækstrate (og evt. den stigende CO ₂ -koncentration i atmosfæren)?	<p>Consequential-logikken er her, at beslutningen for at fælde træet (og plante det næste) sker som konsekvens af en efterspørgsel på træ. Træ er ikke constrained, hvorfor en øget efterspørgsel på træ kan mødes med højere produktion fra skovene. Dermed har efterspørgslen på træ en direkte påvirkning på hvor meget naturskov, der omlægges til produktiv skov.</p> <p>I counter-factual scenariet (hvor man ikke efterspørger yderligere træ), så vil byggesektoren ikke medføre yderligere produktion af træ. Måske en anden sektor vil bruge mere træ, men det vil i så fald være et andet spørgsmål.</p> <p>Hvis dette specifikke træ fik lov at blive stående, så ville et andet træ fx i en anden skov i Sverige blot blive fældet i stedet. Her er mere tale om det generelle marked end det individuelle træ.</p> <p>Ift. om CO₂-fiksering modelleres pr. hektar dynamisk som funktion af træets årlige tilvækstrate. Det gør det. Det kører efter en sigmoid-funktion som er nærmere beskrevet i kilden De Rosa et al.(2016b).</p> <p>Teksten er justeret en smule for at gøre ovenstående mere klart.</p>
2.2.1	Det bør forklares, hvorfor denne tidskorrektion (<i>af CO₂ i skoven</i>) betragtes som relevant, når man skal vurdere den fremtidige klimapåvirkning fra dansk byggeri.	Mere tekst om tidskorrigeringsrelevans er tilføjet.
2.3.1 Beton	Ikke overbevisende (<i>figur 5</i>) – helt afhængigt af 2020-produktionstallet. Ville måske styrkes, hvis man så på tendensen over en længere tidsserie?	Den er ikke helt overbevisende, men i følsomhedsanalysen blev det klargjort, at selv et skift til tysk cement nærmest ingen indflydelse har på resultaterne.
2.3.1 Beton	Er resultaterne følsomme for denne antagelse (<i>Dog vil resultaterne for scenariet med et skift til træ stadig antage et fald i dansk produktion af cement</i>)? Man kunne også forestille sig en øget eksport eftersom Aalborg Portland allerede eksporterer en stor del af sin produktion?	<p>Resultaterne er ikke følsomme for denne antagelse, da forskellen på tysk og dansk cement er meget lille i EXIOBASE.</p> <p>Denne tekst er i øvrigt også tilføjet.</p>
2.3.1 Beton	Men dette (<i>der er ikke tegn på at Danmark mangler sand og grus</i>) forudsiges ikke desto mindre snart at blive tilfældet af centrale aktører indenfor branchen? Er denne antagelse vigtig for konklusionerne?	<p>EXIOBASE-processen for "quarrying of sand and clay" har generelt en lav klimapåvirkning, så det forventes ikke at have stor indflydelse på resultaterne.</p> <p>Tekst er tilføjet i afsnittet.</p>

4.1	Konventionel byggeskik er ret velkendt og formodentlig også ret stabil i et fremtidsperspektiv. Dette kan ikke siges om træbaseret byggeri, der næppe har udviklet en stabil byggeskik repræsenteret ved de udvalgte eksisterende cases. Det ville være relevant at komplementere casestudierne med et studie af byggeskik i nabolande hvor træbyggeri er det konventionelle for at se om der er praksisser der, man med rimelighed kunne forvente vil inspirere danske praksis hvis vi fremover går til en øget grad af træbaseret byggeri.	Det er en vigtig pointe. Vi har beskrevet i afsnit 5.3, hvad det vil kræve at sammenligne ift. tilgængelighed til casestudier fra andre lande, og at en materiale- eller komponentsammenligning vil kræve en del ressourcer at udføre. Men at det vil være vigtigt at undersøge fremadrettet til at forbedre repræsentationen af fremtidigt træbyggeri. Hvilket også er tilføjet i diskussionen.
4.3.1	Vil dette (<i>ler er det mest anvendte materiale i enfamiliehuse i træ</i>) repræsentere en træbaseret byggeskik for enfamiliehuse fremover?	Det er tilføjet at ler er et mindre gængs materiale. I diskussionen er det tilføjet, at det vil være væsentligt at undersøge yderligere. Samtidig er der en uddybende forklaring afsnit 5.3. på, hvad det kræver af dataindsamling og ressourcer ift. at sammenligne med andre lande.
5.3	Her kunne det være interessant med en kommentar på, hvordan det ser ud for træbyggeri i Norge og Sverige, hvor det er en veletableret praksis?	Der er tilføjet en kommentar at det ville være vigtigt, men at det også er ressourcekrævende samt i første omgang kræver adgang til casestudierne.
6.1	Jeg savner en diskussion af Exiobase-inventory data's relevans ift. disse miljøpåvirkningskategorier: - hvor mange af de elementærflows, der potentielt er relevante for miljøpåvirkningskategorien er repræsenteret i konverteringen fra monetære flows til emissioner? - hvordan påvirker heterogeniteten af sektorerne i Exiobase præcisionen af konverteringen til disse emissioner (mønsteret vil ofte være et andet end for CO ₂)? Jeg savner også en diskussion af usikkerhederne på resultaterne som basis for en vurdering af hvilke forskelle i Tabel 6-11 der kan betragtes som statistisk signifikante. Vigtige kilder til usikkerheder er ovenstående konvertering fra økonomiske til fysiske emissionsflows, heterogeniteten af visse sektorer (hvis betydning varierer mellem miljøpåvirkningskategorierne) og ikke mindst usikkerheder på karakteriseringsfaktorerne, der især er store for økotoksicitetskategorierne. Mange af de rapporterede forskelle i tabellerne er næppe statistisk signifikante.	Vi er enige i at forskellene er små nok til at være inden for margin af usikkerheder. Ift. flows: Der sker ingen konvertering af emissioner fra monetære flows til fysiske enheder. Exiobase baserer sig på årlige opgørelser over sektorers emissioner i fysiske enheder. Det relateres til fysisk produktionsdata (fx 1 ton stål) via omdannelsen i Exiobase fra monetary til hybrid IO-database. Mere tekst om Exiobase er tilføjet til diskussionen.
6.2	Hvorledes er der vægtet? (<i>miljøpåvirkninger for den gennemsnitlige kvadratmeter på tværs af bygningstypologier</i>).	Kort beskrivelse er tilføjet. Det kan også ses i Bilag 3.
6.3	Et sted bør det diskuteres, at CO ₂ -udledninger for beton er netto CO ₂ bidrag til atmosfæren (fra	I forhold til dette kan man sige, at de menneskelige aktiviteter også medfører den yderligere

	CaCO ₃ og fossile brændsler, dvs. C der ikke ville kunne nå atmosfæren uden gennem vores aktiviteter). I sammenligning hermed repræsenterer C-flows for træ interne flows i det geo-biofysiske C-kredsløb, og her er det deres opholdstid i kredsløbets forskellige compartments, der påvirkes og leder til ændringer i CO ₂ koncentrationen i atmosfæren, men der er ikke tale om netto-bidrag.	<p>klimapåvirkning, når det gælder træ. Eksempelvis gennem iLUC-effekten, hvor det større pres på markedet for land (areal) medfører fremskyndelse af afskovning og ekstra intensivning via mere gødning.</p> <p>Mere tekst er tilføjet om denne pointe i diskussionen.</p>
7.1	Afhænger også af end-of-life scenarie (<i>ligeledes skal det bemærkes at udledning af biogent kulstof for træ ved endt levetid er influeret af betragtningsperioden</i>): bruges træet til andre konstruktionsformål, brændes det af med energigenvinding og i så fald hvad substitueres, ...	Mere tekst om træ til genanvendelse og forbrænding er tilføjet afsnittet.
7.1.1	Og evt. belyses med indsigter i hvordan træbaseret byggeskik ser ud i lande, hvor den er den konventionelle.	Det er tilføjet i afsnittet, at der i fremtidige studier bør kigges på andre lande, hvor der er større tradition eller en mere udviklet anvendelse af træ i byggeriet.
7.1.3	Gips bør have væsentligt lavere klimapåvirkning end cement, da det er et papindpakket affaldsprodukt fra røggasrensning eller alternativt fra gipsminer men uden cementens indbyggede CO ₂ udledning (fra brænding af kalken) og store termiske energiforbrug til produktionen. Hvis gips bruges væsentligt mere i træbygninger, kan dette være en væsentlig bias som bør undersøges.	<p>Tilføjet tekst om overestimering og påvirkning på det samlede resultat.</p> <p>Teksten er desuden udbygget med en bredere diskussion om input-output data og vedrørende fordele and ulemper.</p>
7.1.4	Hvorledes repræsenteres den lagring over lang tid af kulstof i bygningstømmeret, der ikke ville finde sted, ved andre anvendelser af træet?	<p>Andre anvendelser af træet vil være et andet spørgsmål. Da træ ikke er begrænset (fx som affald er) kan man altid gro mere til andre formål. Det ville være mere relevant at gå ind i debatten om den bedste anvendelse af træ, hvis det var en begrænset ressource. Eksempelvis er det en meget relevant debat for restprodukter fra landbrug, men ikke så meget for unconstrained produktioner, der er fleksible i deres produktionsoutputs.</p> <p>I en skovmodel for fx biomasse til energi, så havde udledning af dette kulstof i samme år været inkluderet. Det er klart, at det vil have markant anderledes resultater, men det er som sagt et andet spørgsmål.</p>
	Det virker sandsynligt, at dette marked (<i>markedet for cellulosetræ</i>) kan ændre sig markant i de kommende år som følge af en voksende fokus på cellulosetræ som energikilde – se tidligere kommentar.	<p>Det er bestemt en relevant at diskutere, hvordan markedet for cellulosetræ kan ændre sig, da det er påvist at have stor indflydelse på resultaterne.</p> <p>Det er præcis derfor vi understreger dette som et fokuspunkt for yderligere forskning på området.</p>

		<p>lft constraints, da cellulose træ ikke er constrained vil det kunne imødekomme en stigende generel efterspørgsel på biomasse til forskellige anvendelser.</p>
<p>Bilag 5 TABEL 27</p>	<p>Hvor fremgår det, hvilke materialer der substitueres af det genanvendte materiale?</p>	<p>De anvendte EXIOBASE EoL processer er tilføjet i en separat tabel nemlig Tabel 28.</p>

Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik

Der er en forøget interesse for at anvende træ som byggemateriale, blandt andet fordi en del af det CO₂ som træ optager gennem fotosyntesen kan lagres midlertidigt, når træet bruges i bygninger. Der er dog flere komplekse aspekter ved at analysere klimapåvirkninger fra træ herunder, hvor længe træmaterialet er i bygningen, tiden det tager for et nyt træ at nå modenhed (rotationstid), kulstofstrømme og -mekanismer i skoven samt behandling af biprodukter i forhold til hvilke andre produkter de forventes at erstatte på markedet. Dette studie vurderer derfor et bredere spektrum af miljøpåvirkninger, men har et særligt fokus på klimapåvirkninger forbundet med drivhusgasemissioner. Studiet undersøger følgende miljøpåvirkninger udover klimapåvirkning: Organiske og uorganiske respiratoriske stoffer, akvatisk og terrestrisk økotoksicitet, naturbeslaglæggelse, forsurening, akvatisk og terrestrisk eutrofiering, fotokemisk ozondannelse (vegetation) og ikke-fornybar energi.