



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik

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

Hansen, Rasmus Nøddegaard; Andersen, Camilla Marlene Ernst; Hoxha, Endrit; Birgisdottir, Harpa

Creative Commons License
Ikke-specificeret

Publication date:
2024

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Hansen, R. N., Andersen, C. M. E., Hoxha, E., & Birgisdottir, H. (2024). *Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik: Udvidet 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 2024 Nr. 14

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

2024:14

Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik

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

Rasmus Nøddegaard Hansen, Camilla Marlene Ernst Andersen, Harpa Birgisdóttir & Endrit Hoxha



MILJØMÆSSIGE KONSEKVENSER VED ÆNDRING AF BYGGESKIK

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

Rasmus Nøddegaard Hansen, Camilla Marlene Ernst Andersen, Endrit Hoxha, Harpa Bir-
gisdóttir

TITEL	Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik
UNDERTITEL	Udvidet studie af miljøpåvirkninger ved fortsættelse af nuværende konventionel byggeskik og ved en ændring til øget brug af træ
SERIETITEL	build rapport 2024:14
FORMAT	Digital
UDGIVELSEÅR	2024
UDGIVET DIGITALT	December 2024
FORFATTER	Rasmus Nøddegaard Hansen, Camilla Marlene Ernst Ander- sen, Harpa Birgisdóttir & Endrit Hoxha.
SPROG	Dansk
SIDETAL	113
LITTERATURHENVISNINGER	Side 68
ISBN	978-87-94561-26-6
LAYOUT	BUILD
OMSLAGSILLUSTRATION	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.build.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

INDHOLD

FORORD	5
SUMMARY	7
SAMMENFATNING	13
1 INDLEDNING	19
1.1 Baggrund	19
1.2 Livscyklusvurderinger i byggeriet	19
1.3 Læsevejledning	20
2 CASEBYGNINGER	21
2.1 Kriterier til vurdering af repræsentativitet	21
2.2 Casebygninger og repræsentativitet	23
3 MATERIALESTRØMME	29
3.1 Konventionel byggeskik	30
3.2 Træbaseret byggeskik	37
4 EVALUERING AF SKOVMODEL	47
5 KONSEKVENSLCA	51
5.1 Formål og afgrænsning	51
5.2 Modellering af klimapåvirkninger fra træ	53
5.3 Mulighed for detaljering af data for byggematerialer	54
6 MILJØMÆSSIGE KONSEKVENSER VED ÆNDRING AF BYGGESKIK	56
6.1 Enfamiliehuse	56
6.2 Etageboliger	58
6.3 Kontorer	60
6.4 Klimapåvirkning: Materialebidrag	62
7 DISKUSSION AF OG KONKLUDERING PÅ RESULTATER	68
7.1 Casebygninger	68
7.2 LCA-metoder og -tilgang	70
7.3 Perspektivering til BUILD Rapport 2023:22	71
7.4 Anbefalinger til at forbedre studiets robusthed	72
REFERENCER	74
BILAG 1 – LIVSCYKLUS-INVENTORY FOR MATERIALEMÆNGDER FOR DE GENNEMSNITLIGE CASEBYGNINGER	77
Konventionel byggeskik	77
Træbaseret byggeskik	92

BILAG 2 – LIVSCYKLUS-INVENTORY FOR MODELLERING AF MATERIALER I EXIOBASE	109
BILAG 3 – FORKLARING AF MILJØPÅVIRKNINGSKATEGORIER	116
BILAG 4 – BILAGSREFERENCER	118

FORORD

De miljømæssige påvirkninger fra det byggede miljø har fået stigende opmærksomhed som følge af nationale og internationale krav til reduktion af klima- og miljøpåvirkninger. I 2023 blev der i Danmark indført grænseværdier for klimaaftrykket på bygningsniveau, hvilket gør brugen af livscyklusvurderinger (LCA) til et centralt redskab. LCA giver mulighed for en helhedsorienteret vurdering af en bygnings miljø- og klimapåvirkninger gennem hele dens livscyklus – fra fremstilling af materialer og brug til bortskaffelse ved endt levetid.

I takt med det øgede fokus på byggeriets klima- og miljøpåvirkninger er der sket et skift fra en konventionel byggeskik, som i Danmark typisk baseres på materialer som beton, stål og tegl, til en mere biobaseret byggeskik, der fokuserer på anvendelsen af fornybare materialer som træ, træfiber og andre biobaserede produkter. De miljømæssige konsekvenser af et sådant skift i byggeskikken blev undersøgt i 2023 i rapporten Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik (BUILD Rapport 2023:22, (Hansen et al., 2023a)) for Social- og Boligstyrelsen (SBST). Rapporten identificerede en række scenarier, som viste både potentielle forøgelser og reduktioner af miljøpåvirkninger ved et skift i byggeskikken, men afdækkede samtidig betydelige usikkerheder, som kræver nærmere analyse.

Som opfølgning på BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a) har SBST bedt BUILD – Institut for Byggeri, By og Miljø ved Aalborg Universitet om at undersøge disse usikkerheder nærmere. Formålet er at afklare, hvordan de kan påvirke vurderingen af miljøpåvirkninger ved et skift i byggeskikken og dermed bidrage til en mere solid forståelse af de miljømæssige konsekvenser ved øget anvendelse af biobaserede byggematerialer i Danmark.

BUILD – Institut for Byggeri, By, og Miljø, Aalborg Universitet København
Sektionen for Bæredygtighed, Energi og Indeklima
December 2024

Harpa Birgisdóttir
Sektionsleder

SUMMARY

Climate change and the transgression of several other planetary boundaries have a growing focus in recent years, due to increased pressure from anthropogenically induced activities and consumption. Climate impacts with their global effects are central to the transition towards a more sustainable world. This is particularly emphasized by the international ratification of the 2015 Paris Agreement's goal of limiting the global temperature increase to 1.5°C compared to the pre-industrial period, and the development of Denmark's national climate reduction target of 70% by 2030 compared to 1990. The construction industry is essential in reducing the climate impact in Denmark, as construction and infrastructure account for approximately 30% of greenhouse gas emissions (Regeringens klimapartnerskaber, 2020).

In Denmark, the construction industry has been focused on and successful in reducing energy consumption and its climate impact for decades. However, this has meant that the climate impact of the materials used in construction, the embodied climate impacts, have not undergone the same reductions in greenhouse gas emissions. This has led to a strong focus on embodied climate impacts, with wood and bio-based materials emerging as a potential means for reductions. Biogenic materials are renewable, if they are not overused, and they absorb carbon from the atmosphere as they grow. The carbon can then be stored temporarily in buildings, as long as the biogenic materials remain in the given building.

In 2023, climate limit values were introduced in the Danish building regulation for new buildings over 1000 m², which sits at 12 kg CO₂ equivalents (eq)/m²/year during a 50-year reference study period (RSP). The limit values must be approached by a life cycle assessment (LCA), which is the method used to assess the climate and environmental impacts of buildings. The LCA and climate requirement thus pushes for increased industry focus on climate-reducing levers in buildings, directing increased focus on wood. The Danish Authority of Social Services and Housing (SBST) wanted to assess the climate and environmental impacts of a shift from conventional construction practice to an increased use of timber in buildings for the Danish sector. This initially resulted in a preliminary study in BUILD Report 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a).

This first study modeled several complex aspects of the climate impact of timber in construction such as the growth time of a tree from planting to maturity (rotation period), handling of residues from timber production, carbon flows and forestry-related activities. In addition to the complexity of several methodological aspects, it was concluded that building-related characteristics and variations of architecture and design as well as construction principles and material selection have a significant influence on the climate impact of changing construction practice.

With this report, SBST wants to develop the insights from the first study by using more case buildings and acquire an understanding of the influence of the applied forest model on climate impact assessment. As in the first study, the aim is to investigate the environmental consequences of a shift from conventional construction practice to an increased use of timber with a special focus on the climate impact using consequential LCA. In addition, this study analyzes the representativeness of the applied case buildings for current construction practices and detail the original grouping of bio-based materials into wood and other biogenic materials, respectively. The report is carried out by BUILD - Department of Built Environment at Aalborg University. Besides climate impact, the following environmental impacts are ana-

lyzed: Organic and inorganic respiratory substances, aquatic and terrestrial ecotoxicity, acidification, aquatic and terrestrial eutrophication, photochemical ozone creation (vegetation) and non-renewable energy.

Case buildings and representativeness

The study examines a shift from conventional to timber construction for single-family houses, multifamily houses, and offices. For single-family and multifamily houses, six case buildings per building type are used for each of the two construction practices. For offices four case buildings are used for each construction practice. It results in 16 case buildings for each construction practice and 32 in total. The representativeness of the residential buildings is defined based on an area and material criterion on a cardinal scale from 1-5, weighted equally. The material criterion varies for conventional and wood-based construction practice. For offices, only the material criterion is included, as an area criterion cannot be determined in the same way as the size of a residential unit. The material criterion for offices also varies depending on the construction practice.

The representativeness of conventional single-family houses is at the higher end of the scale with relatively little difference between them. This contrasts with single-family houses of timber, which are at the medium to low end of the scale and with a greater variation among the case buildings. Conventional single-family houses are about in the middle of the scale with a few individual case buildings slightly above the scale's middle value. Timber multifamily houses do not diverge much from this with a few case buildings just below the middle of the scale. Conventional offices have a high representativeness of 4-5, while the timber ones are on average just below the middle of the scale but fluctuate between levels of 2-4. Offices can generally be expected to have a greater variation in design regardless of construction practice, and as timber offices are a new approach to this building type in Denmark, it can be expected that they will evolve in the future in contrary to current construction principles.

Consequential LCA

This report assesses the climate and environmental impacts of a change in material demand in the two construction practice scenarios. Consequential LCA is relevant for this, and it is a different approach than attributional LCA, which is typically used in construction. Attributional LCA models the suppliers and generic data that are directly linked to the buildings being analyzed. Consequential LCA, on the other hand, models the suppliers who are expected to increase or decrease their production due to a change in demand caused by the decision to build one or more buildings.

The consequential LCA thereby identifies the suppliers at the country level who are expected to respond to a change in demand regarding the two construction practices. This includes suppliers that have the competitive capacity to increase their production, which means that constrained suppliers for political or resource availability reasons are excluded. Unlike the allocation approach that attributional LCA often applies to model co-products and recycling activities, the consequential LCA uses system expansion. This means that co-products and recycled materials substitute similar functions in the market, bringing the avoided function into the system boundary of the consequential LCA. This might often result in an avoided climate or environmental impact from the system expansion part of the LCA, though it cannot be said to always be the circumstance.

The three most contributing main materials to climate impact across case buildings and construction practices are concrete, steel and wood. Their impacted suppliers are modeled specifically in this study as Denmark, China and Sweden, respectively, in the background database EXIOBASE. In addition, timber production yields co-products, identified to be 53% of a harvested roundwood, which is expected to replace pulp wood and its production in the

market. The affected suppliers of the remaining materials are modelled by the relevant sectors for Denmark in EXIOBASE.

EXIOBASE is an input-output database, which, in principle, means it covers all countries' trade with each other. It thus includes production, imports and exports for different sectors, to which it assigns sector-specific environmental impact factors. In this way, it attempts to have a more complete system boundary for modeling climate and environmental impacts than process-based LCA databases. The limitation so far is a higher aggregation of some material categories, thus, also the associated climate and environmental data. This means that insulation materials of wood fiber, paper wool, straw and eelgrass are modeled as mineral wool, which is considered most disadvantageous for the climate impact of the straw and eelgrass insulation. Gypsum is modeled with the same sector as cement, which may also have some implications for buildings with large amounts of gypsum (see detailed discussion in section 7.1).

The consequential LCA is combined with dynamic time correction of greenhouse gas emissions, meaning emissions early in the life cycle are weighted higher than those occurring later. A global warming potential (GWP_{100}) time horizon of 100 years is used here. With the dynamic approach, the effect of temporary storage of biogenic carbon in wood materials in buildings can be assessed. A forest model is also used to model biogenic carbon flows from forestry. Here it is assumed that when a tree is harvested, a new one is planted, where the modeling considers the carbon uptake of the replanted tree and the emissions from its decaying branches and foliage in the system boundary. The rotation period for the replanted tree is set to 88 years. The carbon absorption is also time-corrected to provide a holistic analysis of biogenic carbon uptake, storage and release. Additionally, this study's evaluation of two forest models appraised that it is not the specific forest model that has the greatest influence on the climate impact of timber construction. It is rather the inputs to a specific forest model that show greater influence, which is important to keep in mind.

As the demand for timber increases, so does the need for land use for forestry. This puts more pressure on arable land, which is a global market. As land is a constrained resource, this means that land use is increased in another part of the world by converting primary forest, often by indirectly displacing food production. The conversion from primary forest to other production results in greenhouse gas emissions known as indirect land use change (iLUC). There is no consensus on the modeling approach for iLUC, so other approaches to modelling than this study may lead to different results. Thus, the total climate impact is shown with and without iLUC modelling.

Environmental impacts of a change from conventional to timber construction

Single-family houses show the biggest difference in climate impact when changing from conventional to timber construction, as shown in table 1. The wood scenario for an average single-family house shows the largest climate impact compared to a conventional average single-family house. In this result, insulation has a significantly larger contribution to the climate impact of timber single-family houses than it does for the conventional ones, which is because insulation of straw and eelgrass is modeled as mineral wool. Straw and eelgrass insulation is used in half of the single-family houses and is appraised to have a lower climate impact than mineral wool in a more detailed modeling, which will likely bring the climate impact of timber single-family houses closer to that of the conventional scenario. This climate impact is likely to be within a difference that is not significant enough to draw general conclusions about the most climate friendly construction practice, which will require improved robustness of the analysis. The other environmental impacts of single-family houses follow the trend of climate impact.

Conventional multifamily houses have a slightly lower climate impact than the timber scenario during a 50-year RSP and moderate lower during a 60- and 100-year RSP. It is mainly concrete and metals that make up the climate impact of conventional multifamily houses. For timber multifamily houses, wood materials, gypsum and metals are the most climate impacting products. As described, gypsum is modeled with the same background data as cement. Since gypsum has the second largest contribution to the climate impact of the timber scenario, it should be modeled with specific gypsum data before general conclusions can be drawn about the most climate-reducing building practice for apartment buildings. Contrarily, the other environmental impacts are reduced by shifting to multifamily houses of timber, so a holistic perspective considering all environmental impacts does not provide a clear conclusion.

Conventional offices have a slightly lower climate impact than the wood scenario. It should be noted that by excluding iLUC wood offices have a slightly lower climate impact at the 60- and 100-year RSP. Concrete and metals contribute the most to the climate impact of conventional offices, while it is wood and metals for timber offices. Offices thus have the smallest difference in climate impact, so there is a need to improve the robustness of the analyses. With the exception of aquatic ecotoxicity, the impact on the other environmental indicators is reduced by shifting to timber offices. Hence, the analysis does not reduce the diverging trends in the conclusion about the most environmentally mitigating construction practice for offices.

TABLE 1. Climate impact including iLUC of single-family houses, multifamily houses and offices of a change from conventional to timber construction for the 50-, 60- and 100-year reference study periods. The last column shows the difference that timber constructions are larger (+) or smaller (-) compared to conventional construction practices. Values in brackets show the climate impact excluding iLUC (indirect land use change).

Building type	Reference study period	Konventionel, (baseline)	Træbaseret byggeskik	Forskel ved ændring fra konventionel byggeskik 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
Single-family house	50 år	6,55 (6,39)	9,52 (8,83)	+2,97 (+2,44)
	60 år	6,13 (5,97)	9,23 (8,53)	+3,10 (+2,57)
	100 år	4,05 (3,87)	6,37 (5,97)	+2,31 (+1,70)
Multifamily house	50 år	6,12 (6,06)	6,79 (6,38)	+0,67 (+0,32)
	60 år	5,43 (5,37)	7,09 (6,68)	+1,66 (+1,30)
	100 år	3,34 (3,28)	4,69 (4,22)	+1,35 (+0,94)
Office	50 år	6,80 (6,78)	7,44 (7,10)	+0,65 (+0,31)
	60 år	6,03 (6,01)	6,20 (5,91)	+0,17 (-0,10)
	100 år	3,70 (3,68)	3,72 (3,55)	+0,03 (-0,13)

Another observation, that is not building type specific, is that the climate impact is noticeably reduced when the RSP is extended from 50 and 60 years to 100 years. A 100-year RSP results in more replacements for all three building types, which is however balanced by the combination of more years to distribute the climate impact on to, and the fact that end-of-life greenhouse gas emissions at a 100-year RSP are weighted as zero in the dynamic approach used in this study.

Interpretation of results and study limitations

The expansion in the number of case buildings has shown that the overall results for relative and absolute climate impact for the three building types change significantly compared to BUILD report 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a). However, the conclusion is still that case build-

ings and their quality in inventories as well as LCA methods and their modeling choices mutually have a major impact on the climate impact, especially for multifamily houses and offices, as they see major changes compared to BUILD report 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a).

For conventional construction practice, the applied case buildings potentially have less importance for the climate impact compared to the timber buildings, as the representativeness of the material criterion is at the upper end of the 1-5 cardinal scale. However, the quality of the bill of quantities in the conventional case buildings may be important, especially for steel quantities, as they vary considerably compared to BUILD report 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a). This can possibly be attributed to the fact that reinforcing steel is not always calculated separately from (reinforced) concrete.

Timber case buildings generally had a lower representativeness being in the low to medium part of the cardinal scale of 1-5. Compared to the conventional construction practices, architecture, structural principles and material selection thus have a notable influence on the final climate impacts of the timber scenario. Therefore, the 16 case studies for timber construction must still be considered a small population, which also applies to the total of 32 case buildings. In addition, the analyses are only as good as the available case buildings allow and the quality of their material quantity data.

Metals are one of the most climate impacting materials, and it shows for both construction practices. The quantification of metals can be inadequate as, for example, reinforcement steel in concrete is not always accounted for separately in the material inventories. Another limitation is the lack of detailing of wood materials, which are assumed to come from trees with the same rotation period regardless of material quality and type, which is a conservative estimate. Similarly, there is the previously mentioned limitation in the background data for gypsum and fast-growing bio-based insulation materials, which must be kept in mind.

In the consequential LCA, co-products from timber manufacturing have a major influence on the climate impact of wooden materials. This is because it replaces pulp wood on the market, which have a rotation period of 44 years, half of the 88 years of roundwood for timber. It results in pulp wood having a higher carbon uptake, which is then replaced by the lower carbon uptake of the co-products from timber production. Therefore, both the identification of pulp wood as the substituted product function from timber co-products and the assigned 53% share it has of the timber production have a major influence on the climate impact of wood materials. To increase robustness, it should therefore be modeled in more detail through various scenarios.

Another important aspect of the climate impact of wood materials is the combination of forest modelling and dynamic correction of greenhouse gas emissions. The inputs to the forest model that are relevant in this context are the rotation period, and biomass growth and decomposition functions. The rotation period of trees in a dynamic analysis influences the analyzed biogenic carbon uptake in the LCA in that the shorter the rotation is modeled, the higher the carbon uptake is weighted and vice versa for longer rotation times. The S-shaped sigmoid curve used for biomass growth in this study means a relatively higher carbon uptake in the second half of the tree's rotation period, where the climate reducing effect of carbon uptake is weighted lower. A more linear growth curve, on the other hand, will have greater uptake earlier in the rotation period compared to the S-curve, which is where the climate reducing effect of uptake is weighted higher by the dynamic approach. So, there are several methodological aspects that are important for the climate impact of wood materials. The curve length and shape of decomposition of residues in the forest model will also influence the climate effect of biomass decay. Approaches and ways to minimize this follow below, along with other recommendations.

On the building-related aspects, a deeper investigation of the individual case buildings will provide important insights into when a construction practice has its greatest climate reducing

effect and the determinants behind this. Another approach would be to use significantly more case buildings so that uncertainties in individual programming, design and materials are significantly reduced compared to an actual representative Danish building of both construction practices. In both situations, it will be relevant to detail climate and environmental data for gypsum and insulation of fast-growing bio-based materials, and to detail wood materials to a greater extent in terms of quality and function-based application. Similarly, data quality for metals inventory should see a review for any simplifications and limitations.

In terms of method-based uncertainties and limitations, scenario development should take place. This should include scenarios for the type of substituted production from timber co-products including variations in the share of co-products coming from timber production. Scenarios should also be included for the affected suppliers of metals, especially steel, as the affected steel producer at country level was identified in the first study to have a considerable effect on the climate impact of buildings with a larger share of steel. Scenarios for relevant rotation periods and biomass growth curves will also be important to understand the range of outcomes of a shift from conventional to timber construction practices.

SAMMENFATNING

Klimaforandringer samt overskridelse af flere andre planetære grænser har et voksende fokus i disse år, grundet øget pres fra menneskeskabte aktiviteter og forbrug. Klimapåvirkninger med deres globale effekter er centrale i transitionen mod en mere bæredygtig verden. Det fremhæves særligt ved de internationale ratificeringer af Paris Aftalens mål fra 2015 om at begrænse den globale temperaturstigning til 1.5 °C sammenlignet med den præindustrielle periode, og udformningen af Danmarks nationale klimareduktionsmål på 70% i 2030 i forhold til 1990. Byggebranchen er essentiel i målet om reduceret klimapåvirkning i Danmark, da byggeri, veje og broer står for ca. 30% af drivhusgasudledningerne (Regeringens klimapartnerskaber, 2020).

I Danmark har byggebranchen haft fokus på og succes med at reducere energiforbruget og dets klimapåvirkning i årtier. Det har imidlertid betydet, at klimapåvirkning fra materialerne der bygges med og de indlejrede påvirkninger, ikke har gennemgået de samme reduktioner i drivhusgasudledning. Det har afstedkommet stort fokus på de indlejrede klimapåvirkninger, hvor træ og biobaserede materialer er kommet frem som et potentielt middel til reduktioner. Biogene materialer er fornybare, hvis de ikke overforbruges, og de optager kulstof fra atmosfæren, når de vokser. Kulstoffet kan herefter lagres midlertidigt ved brug i bygninger, så længe de biogene materialer vedbliver at være i den givne bygning.

I 2023 kom et klimakrav i det danske bygningsreglement for nybyggeri over 1000 m² som lyder på 12 kg CO₂-ækvivalenter/m²/år over en 50-årig betragtningsperiode. Det skal modelles og beregnes ved en livscyklusvurdering (LCA), som er den anvendte metode til vurdering af klima- og miljøpåvirkninger fra byggeri. LCA og klimakravet skubber dermed på øget branchefokus på klimareducerende tiltag i bygninger, herunder også træ. Dermed har Social- og Boligstyresen (SBST) ønsket at få vurderet klima- og miljøeffekten af et skift til mere træbaseret byggeri for den danske byggebranche. Det udmøntede sig i første omgang i et indledende studie i BUILD Rapport 2023:22 (Hansen et al., 2023a).

Dette studie modellerede flere komplekse aspekter ved, at vurderingen af klimapåvirkningen fra træ i byggeri som væksttiden af et træ fra plantning til modenhed (rotationsperiode), håndtering af restprodukter fra tømmerproduktion, kulstofstrømme og skovbrugsrelaterede aktiviteter. Udover kompleksiteten ved flere metodemæssige aspekter blev det konkluderet, at bygningsrelaterede egenskaber og variationer fra arkitektur og formgivning samt konstruktionsprincipper og materialevalg har betydelig indflydelse på klimapåvirkningen ved et skift i byggeskik.

SBST ønsker derfor med denne rapport at udvikle indsigterne fra det førnævnte studie ved at anvende flere casebygninger samt få en forståelse af den anvendte skovmodels betydning for klimapåvirkningen. Formålet er stadig at undersøge de miljømæssige konsekvenser ved et skift fra konventionel til mere træbaseret byggeskik med særligt fokus på klimapåvirkningen ved brug af konsekvens-LCA. Derudover foretages en analyse af de anvendte casebygningers repræsentativitet for nuværende byggeskik, og en separering af biobaserede materialer på træ- og andet biogent materiale. Rapporten er udført af BUILD – Institut for Byggeri, By og Miljø på Aalborg Universitet. Udover klimapåvirkning analyseres følgende miljøpåvirkninger: Organiske og uorganiske respiratoriske stoffer, akvatisk og terrestrisk økotoksicitet, forsurening, akvatisk og terrestrisk eutrofiering, fotokemisk ozondannelse (vegetation) og ikke-fornybar energi.

Casebygninger og repræsentativitet

Studiet undersøger et skift fra konventionel til træbaseret byggeskik for enfamiliehuse, etageboliger og kontorer. For enfamiliehuse og etageboliger anvendes seks casebygninger per bygningstype for hver byggeskik, mens for kontorer anvendes fire for hver byggeskik, hvilket dermed er 16 casebygninger for hver byggeskik og 32 i alt. Boligernes repræsentativitet er defineret ud fra et areal- og materialekriterie på en ordinalskala fra 1-5, der vægtes ligeligt. Materialekriteriet varierer for henholdsvis konventionel og træbaseret byggeskik. For kontorer indgår kun materialekriteriet, da et arealkriterie ikke kan bestemmes på samme måde som størrelsen af en boligenhed. Materialekriteriet for kontorer varierer også afhængigt af byggeskik.

Konventionelle enfamiliehusets repræsentativitet ligger i den højere ende af skalaen med relativ lille indbyrdes forskel. Det er i kontrast til træbaserede enfamiliehuse i den medium til lave ende og med større interne forskelle imellem casebygningerne. Etageboliger ved konventionel byggeskik er omkring midten af skalaen med et par enkelte casebygninger lidt over middel repræsentativitet. Etageboliger i træ divergerer ikke meget fra dette blot med et par casebygninger lige under midten af skalaen. Konventionelle kontorer ligger med en høj repræsentativitet på 4-5, mens de træbaserede i gennemsnit ligger lige under middel men fluktuierer indbyrdes imellem skalatrin 2-4. Kontorer kan generelt forventes at have en større variation i udformning uanset byggeskik, og da trækontor er ny tilgang til denne bygningstype må det forventes, at de fremtidigt udvikler sig i forhold til nuværende byggeprincipper.

Konsekvens-LCA

Denne rapport vurderer klima- og miljøpåvirkningerne fra en ændring i materialeefterspørgsel i de to byggeskikke. Konsekvens-LCA er relevant for dette, og det er en anden tilgang end attributiv LCA, der typisk anvendes ved byggeri. Attributiv LCA modellerer leverandører og generiske data, der direkte relaterer sig til bygningerne, som ønskes undersøgt. Konsekvens-LCA modellerer derimod de leverandører, som forventes at øge eller reducere deres produktion ved en ændret efterspørgsel forårsaget af beslutningen om at bygge en eller flere bygninger.

I konsekvens-LCA'en identificeres derved de leverandører på landeniveau, som forventes at respondere på en ændret efterspørgsel ved de to byggeskikke. Dermed inkluderes leverandører, der har konkurrencemæssig kapacitet til at øge sin produktion, hvilket betyder begrænsede leverandører af fx politiske eller ressourceilgængelighedsårsager ikke medtages. Til forskel fra allokeringstilgangen som attributiv LCA oftest benytter til modellering af biprodukter og genanvendelsesaktiviteter, anvender konsekvens-LCA'en systemudvidelse. Det indebærer, at biprodukter og genanvendte materialer erstatter lignende funktioner på markedet, hvormed den undgåede funktion indgår i systemafgrænsningen. Det giver ofte en undgået klima- eller miljøpåvirkning fra den del af LCA'en, men det er ikke altid tilfældet.

De tre generelt mest bidragende hovedmaterialer til klimapåvirkning på tværs af casebygninger og byggeskikke er beton, stål og træ. Deres påvirkede leverandører er modelleret specifikt i studiet som henholdsvis Danmark, Kina og Sverige i baggrundsdatabase EXIOBASE. Derudover forekommer biprodukter ved produktion af tømmer, bestemt til 53% af fældet rundtræ, hvilket forventes at erstatte cellulosetræ og dets produktion på markedet. Til de resterende materials påvirkede leverandører anvendes de relevante sektorer i EXIOBASE for Danmark.

EXIOBASE er en input-outputdatabase, hvilket betyder den rent principielt omfatter alle landes handel med hinanden. Den inkluderer dermed produktion, import og eksport for forskellige sektorer, hvorpå sektorspecifikke miljøpåvirkningsfaktorer tilknyttes. Derved forsøger den at have en mere komplet systemafgrænsning til modellering af klima- og miljøpåvirkninger end procesbaserede LCA-databaser. Begrænsningen indtil videre er til gengæld en højere

aggregering af nogle materialekategorier og dermed også deres klima- og miljødata. Det betyder blandt andet, at isoleringsmaterialer af træfiber, papiruld, halm og ålegræs modelleres som mineraluld, hvilket vurderes at være mest ufordelagtig for klimapåvirkningen fra halm- og ålegræsisoleringen. Gips modelleres med samme sektor som cement, hvilket også kan have en vis betydning for bygninger med stor gipsmængde (se uddybende diskussion i afsnit 7.1).

Konsekvens-LCA'en kombineres med dynamisk korrigerende af drivhusgasemissioner, hvor udledninger tidligt i livscyklussen vægtes højere end dem senere. Her anvendes en tidshorison for globalt opvarmningspotentiale (GWP_{100} , efter engelsk global warming potential) på 100 år. Ved den dynamiske tilgang kan effekten af midlertidig lagring af biogent kulstof i træmaterialer i bygningerne dermed vurderes. Der anvendes også en skovmodel til modellering af biogene kulstofstrømme fra skovbrug. Her antages, at når et træ fælles til tømmer, så plantes et nyt, hvormed det nye træs kulstofoptag modelleres samt de udledninger, der vil være ved henfald af nedfaldne grene og kviste. Rotationsperioden for det genplantede træ er identificeret til 88 år. Kulstofoptaget tidkorrigeres ligeledes, for at give en helhedsanalyse af optag, lagring og udledning af biogent kulstof. Dette studies evaluering af to skovmodeller fandt, at det ikke er den specifikke skovmodel, der har størst betydning for træbyggeris klimapåvirkning. Derimod har inputs til skovmodellen større betydning, hvilket er vigtigt at have for øje.

I forbindelse med større efterspørgsel på træ, øges behovet for arealanvendelse til skovbrug. Det medfører større pres på dyrkbart land, hvilket er et globalt marked. Da areal samtidig er en begrænset ressource, medfører det, at arealanvendelsen øges i en anden del af verden ved omdannelse af primærskov, oftest ved indirekte forflytning af fødevarerproduktion. Omdannelsen fra primærskov til anden produktion afstedkommer drivhusgasemissioner, der betegnes indirekte arealanvendelse (iLUC, fra engelsk indirect land use change). Der er ikke konsensus om modelleringstilgangen for iLUC, så derfor kan andre måder at modellere det på end i dette betyde anderledes resultater. Dermed vises den samlede klimapåvirkning i dette studie med og uden iLUC-beregning.

Miljøpåvirkninger ved en ændring fra konventionel til træbaseret byggeskik

Enfamiliehuse viser den største forskel i klimapåvirkning ved et skift fra konventionel til træbaseret byggeskik, som det fremgår af tabel 2. Træscenariet for et gennemsnitsenfamiliehus viser den største klimapåvirkning sammenlignet med et konventionelt gennemsnitsenfamiliehus. I det resultat har isolering et betydeligt større bidrag til træbaserede enfamiliehusenes klimapåvirkning, end det har ved konventionelle, hvilket skyldes at halm- og ålegræsisolering modelleres som mineraluld. Halm- og ålegræsisolering indgår i halvdelen af enfamiliehusene og vurderes at ville have en lavere klimapåvirkning end mineraluld ved en mere detaljeret modellering, hvilket sandsynligvis vil bringe træbaserede enfamiliehusenes klimapåvirkning tættere på de konventionelles. Det vil sandsynligvis være inden for en forskel i klimapåvirkning, der ikke er betydelig nok til at udlede generelle konklusioner om den mest klimavenlige byggeskik, hvilket derfor vil kræve forbedret robusthed af analysen. De andre miljøpåvirkninger følger tendensen for klimapåvirkningen.

Etageboliger ved konventionel byggeskik har en smule lavere klimapåvirkning end træbaserede ved en 50-årig betragtningsperiode og moderat lavere ved 60 og 100 år. Det er hovedsageligt beton og metaller, der udgør konventionelle etageboligers klimapåvirkning. For etageboliger i træ er træmaterialer, gips og metaller de mest klimapåvirkende produkter. Som beskrevet er gips modelleret med samme baggrundsdata som cement. Da gips har det næststørste bidrag til træscenariets klimapåvirkning, bør det modelleres med specifikke gipsdata, førend der kan drages overordnede konklusioner om den mest klimareducerende byggeskik for etageboliger. Desuden reduceres de andre miljøpåvirkninger ved et skift til træbaserede etageboliger, så et holistisk perspektiv med alle miljøpåvirkninger giver ikke en entydig konklusion.

Konventionelle kontorer har en anelse lavere klimapåvirkning end træscenariet, hvor det skal bemærkes, at medregnes iLUC ikke, så har trækontorer en anelse lavere klimapåvirkning ved betragtningsperioderne 60 og 100 år. Beton og metaller bidrager mest til konventionelle kontorer klimapåvirkning, mens det er træ og metaller for træbaserede kontorer. Kontorer har dermed den mindste forskel i klimapåvirkning, så der er behov for at forbedre robustheden af analyserne. Med undtagelse af akvatisk økotoxicitet, så reduceres påvirkningen af de andre miljøindikatorer ved et skift til trækontorer, hvilket ikke reducerer de forskelligrettede tendenser i konklusionen om den mest miljøreducerende byggeskik for kontorer.

TABEL 2. Klimapåvirkning inklusiv iLUC fra enfamiliehuse, etageboliger og kontorer ved et skift fra konventionel til træbaseret byggeskik for betragtningsperioderne 50, 60 og 100 år. Den sidste kolonne viser forskellen som træbaseret byggeskik er større (+) eller mindre (-) sammenlignet med konventionel byggeskik. Værdier i parentes er klimapåvirkning eksklusiv iLUC (indirekte arealanvendelse).

Bygningstype	Betragningsperiode	Konventionel, (baseline)	Træbaseret byggeskik	Forskel ved ændring fra konventionel byggeskik 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	50 år	6,55 (6,39)	9,52 (8,83)	+2,97 (+2,44)
	60 år	6,13 (5,97)	9,23 (8,53)	+3,10 (+2,57)
	100 år	4,05 (3,87)	6,37 (5,97)	+2,31 (+1,70)
Etageboliger	50 år	6,12 (6,06)	6,79 (6,38)	+0,67 (+0,32)
	60 år	5,43 (5,37)	7,09 (6,68)	+1,66 (+1,30)
	100 år	3,34 (3,28)	4,69 (4,22)	+1,35 (+0,94)
Kontorer	50 år	6,80 (6,78)	7,44 (7,10)	+0,65 (+0,31)
	60 år	6,03 (6,01)	6,20 (5,91)	+0,17 (-0,10)
	100 år	3,70 (3,68)	3,72 (3,55)	+0,03 (-0,13)

En anden observation, der ikke er bygningstypespecifik, er, at klimapåvirkningen reduceres mærkbart, når betragtningsperioden forlænges fra 50 og 60 år til 100 år. 100 år medfører flere udskiftninger for alle tre bygningstyper, hvilket dog afbalanceres af kombinationen af flere år at fordele klimapåvirkningen ud på, samt at drivhusgasudledninger ved endt levetid ved en 100-årig betragtningsperiode vægtes som nul ved den anvendte dynamiske tilgang i dette studie.

Fortolkning af resultater og studiets begrænsninger

Udvidelsen i antallet af casebygninger har vist at de overordnede resultater for relativ og absolut klimapåvirkning for de tre bygningstyper ændrer sig betydeligt sammenlignet med BUILD rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a). Dog er konklusionen stadig, at både casebygninger og deres kvalitet i mængdeopgørelser samt LCA-metoder og deres modelleringsvalg har stor betydning for klimapåvirkningen, særligt for etageboliger og kontorer, da de ser store ændringer i forhold til BUILD rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a).

For konventionel byggeskik har casebygningerne sandsynligvis mindre betydning for klimapåvirkningen sammenlignet med træbygningerne, da repræsentativiteten for materialekriteriet ligger i den øvre ende af ordinalskalen 1-5. Kvaliteten af mængdeopgørelsen i de konventionelle casebygninger kan derimod have betydning, særligt for stål mængder, da de varierer betydeligt sammenlignet med BUILD rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a). Det kan muligvis tilskrives at armeringsstål ikke altid opgøres separat fra (armeret) beton.

Træbaserede casebygninger havde generelt en lavere repræsentativitet værende i den lave til middel ende af ordinalskalaen på 1-5. Sammenlignet med konventionel byggeskik har arkitektur, konstruktionstilgang og materialevalg dermed en væsentlig indflydelse på

træscenariets endelige klimapåvirkninger. Derfor må de 16 casestudier for træbaseret byggeskik stadig anses som en lille population, hvilket også gælder for de 32 casebygninger i alt. Dertil bliver analyserne kun så gode, som de tilgængelige casebygninger tillader, og den kvalitet som deres mængdedata har.

Metaller er et af de mest klimapåvirkende materialer, og det viser sig for begge byggeskikke. Metalleres mængdeopgørelse kan være mangelfuld, da fx armeringsjern i beton ikke altid opgøres for sig selv i mængdeberegninger. Derudover er der en begrænsning ved manglende detaljering af træmaterialerne, der antages at komme fra træer med samme rotationsperiode uanset materialekvalitet og -type, hvilket er et konservativt estimat. Ligeledes er der den tidligere nævnte begrænsning i baggrundsdata for gips og hurtigt voksende biobaserede isoleringsmaterialer, som skal have for øje.

I konsekvens-LCA'en har biprodukter fra træproduktion en stor indflydelse på træets klimapåvirkning. Det skyldes, at biprodukterne erstatter cellulosetræ på markedet, hvilket har en rotationsperiode på 44 år, altså halvdelen af tømmertræets 88 år. Det resulterer i, at cellulosetræet har et højere kulstofoptag, som derved erstattes af det mindre kulstofoptag fra tømmertræs biprodukter. Derfor har både identifikationen af cellulosetræ som den erstattede produktfunktion fra træs biprodukter samt andelen af biprodukter på 53% fra træproduktion stor indflydelse på træmaterialers klimapåvirkning. Det bør derfor modelleres nøjere gennem forskellige scenarier.

Et andet vigtigt aspekt ved klimapåvirkningen fra træmaterialer er kombinationen af skovmodel og dynamisk korrigerende af drivhusgasemissioner. De inputs til skovmodellen, som er relevante i den forbindelse, er rotationsperioden og kurve for biomassevækst og -nedbrydning. Træets rotationsperiode i en dynamisk analyse influerer det vurderede kulstofoptag i LCA'en ved, at jo kortere rotationen modelleres, desto højere vægtes den optagede kulstof og omvendt ved længere rotationstid. Den anvendte sigmoidkurve, S-formet, for biomassevækst i dette studie betyder et relativt større kulstofoptag i anden halvdel af træets rotationsperiode, altså der hvor kulstofoptagets klimareducerende effekt vægtes lavere. En mere lineær vækstkurve vil derimod have større optag tidligere i rotationsperioden sammenlignet med S-kurven, hvilket er der optagets klimareducerende effekt vægtes højere med den dynamiske tilgang. Der er altså en del metodemæssige aspekter, der har betydning for træmaterialers klimapåvirkning. Kurvens længde og form for nedbrydning af restprodukter i skovmodellen vil også influere klimaeffekten af biomassehenfaldet. Tilgange og måder til minimering af disse følger herunder, sammen med andre anbefalinger.

På den bygningsrelaterede side vil en dybere undersøgelse af de individuelle casebygninger give indsigter i, hvornår en byggeskik er mest klimareducerende samt årsagerne hertil. En anden tilgang vil være at anvende signifikant flere casebygninger, så usikkerheder ved individuel udformning, design og materialer reduceres betydeligt i forhold til en faktisk repræsentativ dansk bygning ved begge byggeskikke. I begge tilfælde vil det være relevant at detaljere klima- og miljødata for gips og isolering af hurtigt voksende biobaserede materialer, og i større grad detaljere træmaterialer i forhold til kvalitet og anvendelsesfunktion. Ligeledes bør datakvaliteten for opgørelse af metalmængder se en gennemgang for eventuelle begrænsninger.

Med hensyn til metodebaserede usikkerheder og begrænsninger, bør en scenarieudvikling finde sted. Det bør omfatte scenarier for typen af erstattet produktion fra træs biprodukter inklusive variationer i andelen af biprodukter fra tømmerproduktionen. Der bør også indgå scenarier for metalleres påvirkede leverandører, særligt ståls, da den påvirkede producent af stål på landeniveau i det første studie blev identificeret til at have en anseelig betydning for klimapåvirkningen fra bygninger med en større andel stålmængde. Scenarier for relevante rotationsperioder og biomassevækstkurver vil ligeledes være vigtige for at forstå udfaldsspektrummet ved et skift fra konventionel til træbaseret byggeskik.

1 INDLEDNING

1.1 Baggrund

Byggebranchen globalt såvel som nationalt har et stort træk på ressourcer og energi, hvilket gør det til et essentielt fokusområde, når klima- og miljøpåvirkningerne på vores klode skal reduceres. Det har i den danske byggebranche skabt et centralt fokus på miljømæssig bæredygtighed i form af certificeringer som DGNB, udviklingen af den frivillige bæredygtighedsklasse og en national strategi for bæredygtigt byggeri. Disse aktiviteter er blevet fulgt op af en grænseværdi for nybyggeri over 1000 m² for klima på 12 kg CO₂-ækvivalenter (CO₂-eq) per m² per år, en grænse, der yderligere bliver strammet og differentieret på bygningstyper i 2025.

I Danmark er byggebranchens forbrugsbaserede klimapåvirkning 11,1 mio. tons CO₂-eq, hvoraf 42% kommer fra energi til drift af bygninger og 18% fra produktion og fremstilling af materialer (Byggeriets Handletank Rapport, 2023). Derudover kommer 35% af Danmarks affaldsgenerering fra byggeriet (Regeringens Klimapartnerskaber, 2020). I de senest 40 år har der været stort fokus på at reducere driftsenergiforbrug, hvor samme forbedringer ikke er sket i klimapåvirkningen fra materialer (Birgisdottir og Madsen, 2017). Dermed er det særligt for Danmark vigtigt også at forbedre de indlejrede klimapåvirkninger fra materialer.

1.2 Livscyklusvurderinger i byggeriet

Bygningers klima- og miljøpåvirkninger kan vurderes ud fra livscyklusvurderinger (LCA), som er en internationalt anerkendt metode, der betragter alle aktiviteter fra hele livscyklussen fra udvinding af råmaterialer, produktion af materialer over opførelse og brugsfase af bygning til endt levetid. I 2020 udgav BUILD på Aalborg Universitet en rapport over LCA på 60 casebygninger, for at give et vidensgrundlag af klimapåvirkninger fra danske nybyggerier (Zimmermann *et al.*, 2020). Et af foreslåede løsningsmuligheder til at reducere klimapåvirkninger er ved brug af mere træ, da det kan optage CO₂ i vækstfasen og derefter midlertidigt lagre det som tømmer i byggeri (Churkina *et al.*, 2020; Andersen *et al.*, 2021). Senest er 45 casebygninger i træ blevet analyseret med henblik på deres individuelle klimapåvirkning, hvilket viser et reduktionspotentiale sammenlignet med mere konventionelle byggerier (Andersen *et al.*, 2023, 2024a).

Disse ovenstående studier anvender tilgangen attributiv LCA. Det er en tilgang, der anvender specifikke miljøvaredeklarationer (EPD'er) samt generiske processer for et markedsgennemsnit, der relaterer sig direkte til de materialer, der bruges i en given bygning. Det betyder, at markedsmæssige effekter ved ændret efterspørgsel ikke medtages ved større skift af byggeskik i den danske byggebranche. Dette kan derimod kortlægges ved en konsekvens-LCA. Det er en tilgang, hvor leverandører og producenter på markedet, der forventes at blive påvirket ved ændret efterspørgsel, bliver identificeret, hvorefter deres miljøpåvirkning bliver vurderet. På den måde inkluderer konsekvens-LCA de mest konkurrencedygtige producenter samt tager højde for ressourcebegrænsninger eller politisk bestemte kvoter.

I BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a) blev første indledende studie udført for et skift fra konventionel til mere træbaseret byggeskik i Danmark ved konsekvens-LCA. En af rapportens hovedindsigter var den store betydning, de anvendte casebygninger havde for klimapåvirkningen samt at forstå deres materialesammensætning og repræsentativitet for dansk

nybyggeri ved henholdsvis konventionel og træbaseret byggeskik. Da førnævnte studie kun anvendte tre casebygninger for hver af boligtyperne enfamiliehuse, etageboliger og kontorer, er formålet med dette studie at udvide antallet af casestudier samt at sætte kriterier op til vurdering af deres repræsentativitet. Desuden evalueres den anvendte skovmodel med hensyn til, om det er inputs eller selve skovmodellen, der er vigtig, da den viste at have betydelig indflydelse i første studie.

Efter ny tilførsel af flere casebygninger udføres en konsekvens-LCA med samme udgangspunkt som i BUILD Rapport 2023:22. Dette indebærer, at klima- og miljøpåvirkningerne modelleres for de forventede påvirkede leverandører ved et skift fra konventionel til træbaseret byggeskik. Derudover skal det bemærkes, at dette studies følsomhed til metodemæssige aspekter er enslydende med dem i BUILD Rapport 2023:22.

1.3 Læsevejledning

I *kapitel 2* præsenteres kriterierne for vurdering af casebygningernes repræsentativitet og de udvalgte casestudier for konventionel og træbaseret byggeskik, som bruges til beregningsgrundlag for materialestrømme og LCA'erne.

I *kapitel 3* præsenteres materialestrømmene ved henholdsvis konventionel og træbaseret byggeskik for hver bygningstype ved betragtningsperioderne 50, 60 og 100 år.

I *kapitel 4* præsenteres evaluering af den anvendte skovmodel ved en sammenligning med anden skovmodel i forhold til, om det er skovmodel eller selve inputs, der har størst betydning.

I *kapitel 5* præsenteres tilgangen til og resultaterne fra konsekvens-LCA til modellering af påvirkede producenter ved ændret efterspørgsel samt dets relaterede miljø- og klimapåvirkning.

I *kapitel 6* præsenteres LCA-resultaterne for miljø- og klimapåvirkningerne for betragtningsperioder på 50, 60 og 100 år.

I *kapitel 7* præsenteres diskussion og konklusion af resultater.

2 CASEBYGNINGER

Hovedopgaven i dette studie var at udvide antallet af analyserede casebygninger i forhold til BUILD Rapport 2023:22, samt at vurdere deres repræsentativitet. Træbyggerierne havde særligt varierende konstruktionsprincipper i første studie, da det er en ny måde at bygge på i Danmark. Det følgende kapitel beskæftiger sig med de casebygninger anvendt i dette studie. Først forklares den kvalitative vurderingstilgang af casestudiernes repræsentativitet. Herefter følger en beskrivelse af repræsentativiteten for hver bygningstypologi for konventionel og træbaseret byggeskik, hvor der også inkluderes visualisering og beskrivelse af materialekompositionen for de centrale bygningsdele. Der anvendes seks casestudier for enfamiliehuse og etageboliger for hver byggeskik, mens der anvendes fire casestudier for kontorer ved begge byggeskikke. Dermed er der 16 casestudier for hver byggeskik og 32 i alt.

2.1 Kriterier til vurdering af repræsentativitet

De tre bygningstypologier, der analyseres i studiet, er enfamiliehuse, etageboliger og kontorer for henholdsvis konventionel og træbaseret byggeskik. For enfamiliehuse og etageboliger anvendes to kriterier til vurdering af repræsentativitet: et for arealkriterie og et materialekriterie. I forbindelse med kontorerne anvendes kun materialekriterie. Arealkriteriet anvendes ikke, da det ikke er muligt at opgøre kontorenheder på samme måde som boligenheder. Begge kriterier vurderes ud fra en ordinalskala fra 1-5, hvor 5 er mest repræsentativ og 1 mindst.

Arealkriterie

Arealkriteriet omfatter den procentvise afvigelse, som den gennemsnitlige boligenhed i hvert casestudie afviger fra det danske landsgennemsnit for den pågældende boligtypologi. Gennemsnitsarealet for nye enfamiliehuse er beregnet ved brug af tabel BYGB60 fra Danmarks Statistik (2024) inkluderende stuehuse og parcelhuse. Mellem år 2015 og 2023 var deres gennemsnitsareal 216 m² og 203 m², hvilket giver et arealvægtet gennemsnit på 204 m², da nyopførte stuehuse udgør en meget lille del af nybyggede enfamiliehuse.

Etageboligers arealgennemsnit per boligenhed kommer fra tabel BOL106 fra Danmarks Statistik for år 2015-2023 med en værdi på 78,5 m². Da tendensen i lejlighedsareal er stigende rundes gennemsnitsarealet op til 80 m². Afvigelsen fra arealgennemsnittet for de to boligtyper er inddelt i procentuelle forskelle på en skala fra 1-5. De procentuelle forskelle i forhold til gennemsnitsarealet for en given boligtype er inddelt som følgende: ≤5%, 10%, 15%, 20% og afviger mere end 20%. Det kan ses i TABEL 3.

TABEL 3. Ordinalskala af arealrepræsentativitet for boliger fra 1-5, hvor 5 er mest repræsentativ. Den procentuelle forskel fra gennemsnitsarealet er vist i forbindelse med skalaen 1-5 i første række.

Boligtype	5 ≤5%	4 5-10%	3 10-15%	2 15-20%	1 <20%
Enfamiliehuse	194-214 m ²	184-224 m ²	173-235 m ²	163-245 m ²	<163-245 m ² <
Etageboliger	76-84 m ²	72-88 m ²	68-92 m ²	64-96 m ²	<64-96 m ² <

Materialekriterie

Materialekriteriet defineres forskelligt for henholdsvis konventionel og træbaseret byggeskik. Repræsentativiteten for de to byggeskikke er baseret på materialerne i ydervæggene, herunder indbefattende bærende elementer som søjler. Ved konventionel byggeskik er skalatrinene opdelt i to tabeller for henholdsvis boligbyggerierne og kontorerne, da de viser forskelle i specielt facadematerialet, se BUILD Rapport 2023:21 (Tozan *et al.*, 2023). I tabel 4 vises repræsentativitetskriterierne for konventionelle enfamiliehuse og etageboliger. Den går kun til skalatrin 3, da konventionel byggeskik er optimeret over tid, og kun facadematerialerne varierer. Inddelingen er baseret på BUILD Rapport 2023:21 (Tozan *et al.*, 2023).

TABEL 4. Ordinalskala af materialerepræsentativitet for enfamiliehuse og etageboliger ved konventionel byggeskik for hovedmaterialer i ydervægskonstruktionen fra 1-5, hvor 5 er mest repræsentativ. Konventionel byggeskik er ensrettet gennem mange års praksis, og derfor inkluderes kun skalatrin 3, 4 og 5.

Skalatrin	Konstruktion	Isolering	Facadebeklædning
5	Betonramme	Mineraluld	Mursten
4	Betonramme	Mineraluld	Træ
3	Betonramme	Mineraluld	Metalplader

For kontorer ved konventionel byggeskik i tabel 5 er der kun medtaget repræsentativitet på skalaniveau 4 og 5, da denne byggeskik er forfinet og ensrettet gennem mange års praktisering. Inddelingen i repræsentativitet for skalaniveau 4 og 5 er baseret på BUILD Rapport 2023:21, som evaluerer ydervægsbeklædninger for nybyggeri mellem 2016-2020 i Danmark.

TABEL 5. Ordinalskala af materialerepræsentativitet for kontorer ved konventionel byggeskik for hovedmaterialer i ydervægskonstruktionen fra 1-5, hvor 5 er mest repræsentativ. Konventionel byggeskik er ensrettet gennem mange års praksis, og derfor inkluderes kun skalatrin 4 og 5.

Skalatrin	Konstruktion	Isolering	Facadebeklædning
5	Betonramme	Mineraluld	Mursten
4	Betonramme	Mineraluld	Metalplader

Træbaseret byggeskik er en praksis, der er i fremgang i Danmark, og derfor er repræsentativiteten også mindre klar. Materialekriterierne er dermed baseret på de træbyggerier vi har i BUILD's casebank, og vurderet ud fra konstruktionstilgangen i disse. For træbaseret byggeskik er skalatrinene de samme for alle tre bygningstyper, da træbaseret byggeskik er relativt mindre strømlinet i Danmark end konventionel byggeskik. I **TABEL 6** vises opdelingen, hvoraf der også fremgår en større variation af isoleringsmaterialer inden for samme skala grundet tidligere beskrevne årsager. Hurtigt voksende biobaseret isolering henviser til, at det fremstilles af biogene materialer med kort rotationsperiode i forhold til træ; det kan være ressourcer som halm, ålegræs, hamp og græs.

TABEL 6. Ordinalskala af materialerepræsentativitet for træbaseret byggeskik for hovedmaterialer i ydervægskonstruktionen fra 1-5, hvor 5 er mest repræsentativ.

Skalatrín	Konstruktion	Isolering	Facadebeklædning
5	Trækonstruktion	Mineraluld	Ikke-biogent materiale
4	Trækonstruktion	Mineraluld	Biogent materiale
3	Trækonstruktion	Mineraluld, træfiber, papiruld	Biogent materiale
2	Trækonstruktion	Hurtigt voksende biobaseret	Ikke-biogent materiale
1	Trækonstruktion	Hurtigt voksende biobaseret	Biogent materiale

2.2 Casebygninger og repræsentativitet

Dette afsnit gennemgår bygningernes repræsentativitet, vægtet på tværs af arealkriterie og materialekriterie. Derefter følger to underafsnit, der præsenterer repræsentativiteten for konventionel og træbaseret byggeskik samt der beskrives mere specifikt de materialer, der anvendes i forskellige bygningsdele for hver bygningscase for at give et indblik i kompositionen. I tillæg til BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a) er der i alt tilføjet tre nye casebygninger for enfamiliehuse og etageboliger for konventionel og træbaseret byggeskik, mens der for kontorer er tilføjet én ny bygning for hver byggeskik. Kun en ekstra casebygning for kontorer beror på, det kun var muligt at fremskaffe en yderligere kontorbygning i træ, da det stadig er en ny tilgang at bygge kontorer på. I denne sammenhæng er det værd at pege på, at analyserne kun er så gode som den data, der er til rådighed, og den kvalitet som dataet har.

Vægtning af repræsentativitet

Ud fra materiale- og arealrepræsentativitet er bygningerne blevet vurderet og derefter konverteret på tværs af disse to kriterier til en vægtning. Vi har i alt lavet tre vægtninger, der vurderer materiale- og arealkriteriets vægt forskelligt. De to vægtninger, der ikke er ligeligt fordelt mellem materialer og areal, giver et indblik i om areal- eller materialekriteriet har størst betydning for en given bygnings repræsentativitet. Kontorer vægtes ikke, da arealkriteriet ikke er en del af repræsentativiteten for denne bygningstype. De tre forskellige vægtninger er:

- Vægtning 1: Materialer 1/2 og areal 1/2 (ligevægt)
- Vægtning 2: Materialer 2/3 og areal 1/3
- Vægtning 3: Materialer 1/3 og areal 2/3

Beskrivelse af materialekomposition i bygningsdele

Udover vurderingen af repræsentativiteten præsenteres materialekompositionen for forskellige bygningsdele for hver bygningscase for hver byggeskik. Materialekompositionen indgår ikke i vurderingen af repræsentativiteten, men giver et mere detaljeret indblik i bygningsdelene og dermed bygningscasene. Til beskrivelsen af materialerne anvendt i forskellige bygningsdele for hver casebygning er bygningsdele og materialekategorier opgjort herunder. De tager udgangspunkt i Soust-Verdaguer *et al.* (2023).

Bygningsdele:

- Fundament
- Terrændæk
- Ydervægge
- Indervægge
- Etagedæk
- Tag
- Søjler & bjælker

- Trappe

Materialekategorier:

- Træbaseret
- Andet biobaseret (halm og ålegræs, primært anvendt som isolering)
- Beton (inkluderer beton, cementbundet spånplade og lignende)
- Isolering (mineraluld, træfiber, papiruld)
- Mineralsk aggregat (tilslag, natursten, ler)
- Teglsten
- Gips
- Metal (stål, aluminium, zink m.v.)
- Andet (plastik, tekstil, tagpap/bitumen, grønt tag m.v.)

Til forskel fra BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a) er det værd at bemærke, at materialekategorien biobaseret er detaljeret yderligere. I det første studie indeholdt kategorien biobaseret nemlig grønt tag, træ- og hurtigt voksende biobaserede materialer. Disse er nu opdelt på træbaseret og andet biobaseret, mens grønt tag indgår i kategorien andet.

I forbindelse med beskrivelse af casebygningerne indgår forkortelser for bygningstyper og byggeskik som oplistet i tabel 7. Herudover har hver case et rækkefølgenummer for hver byggeskik, fx vil enfamiliehus 1 ved konventionel byggeskik have forkortelsen Enf_κ01 og enfamiliehus 2 have forkortelsen Enf_κ02, og så fremdeles for de andre casebygninger.

TABEL 7. Forkortelser for casebygninger for hver af de to byggeskikke.

Bygningstype	Konventionel byggeskik	Træbaseret byggeskik
Enfamiliehuse	Enf _κ	Enf _τ
Etageboliger	Etb _κ	Etb _τ
Kontorer	Ktr _κ	Ktr _τ

2.2.1 Konventionel byggeskik: Repræsentativitet og materialekomposition

På TABEL 8 vises repræsentativiteten for alle konventionelle bygninger, hvor der for enfamiliehuse fremgår en forbedret repræsentativitet ved de tre nytilførte bygninger, nemlig 3,5 til 5 ved ligevægt (vægtning 1). For Enf_κ01-03 er repræsentativiteten 3. Det er særligt arealkriteriet, der reducerer repræsentativiteten for de første tre enfamiliehuse, hvor spændet er 1-3. Det er ligeledes arealkriteriet, der reducerer repræsentativiteten for Enf_κ04-06, dog med en gennemsnitlig højere arealrepræsentativitet for alle tre bygninger, varierende 2-5. Det er derfor arealkriteriet, som forbedres ved enfamiliehuse, mens materialekriteriet er på skalatrin 5 for alle byggerier undtaget en bygning, som er på 3.

For etageboliger optræder samme tendens med en forbedret repræsentativitet i de tre nye bygninger, som ligeledes kommer fra en øget arealrepræsentativitet. Den ligevægtede repræsentativitet er 3 for alle Etb_κ01-03, mens den varierer 3-4,5 for Etb_κ04-06. Arealrepræsentativiteten er 1 for de tre første etageboliger, mens den spænder 1-4 for de sidste tre. Materialerepræsentativiteten er ens for alle etageboliger, nemlig skalatrin 5.

Kontorer viser en høj repræsentativitet, hvor der som skrevet ikke indgår et arealkriterie. Den nytilføjede kontorbygning har en repræsentativitet på 4, det samme gælder Ktr_κ03, mens Ktr_κ01-02 er på skalatrin 5, da facadematerialet er af metal i stedet for mursten.

TABEL 8. Vægtning af vurderet repræsentativitet for alle casebygninger for konventionel byggeskik. Rækker markeret med grå indikerer, at bygningerne var med i BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a). Enf=enfamiliehus. Etb=etagebolig, Ktr=kontor, κ=konventionel byggeskik.

Casebygning	Vægtning 1 (mat. 1/2, areal 1/2)	Vægtning 2 (mat. 2/3, areal 1/3)	Vægtning 3 (mat. 1/3, areal 2/3)
Enf_K 01	3,0	3,7	2,3
Enf_K 02	3,0	3,7	2,3
Enf_K 03	3,0	3,0	3,0
Enf _K 04	3,5	4,0	3,0
Enf _K 05	5,0	5,0	5,0
Enf _K 06	4,0	4,3	3,7
Etb_K 01	3,0	3,7	2,3
Etb_K 02	3,0	3,7	2,3
Etb_K 03	3,0	3,7	2,3
Etb _K 04	3,0	3,7	2,3
Etb _K 05	3,5	4,0	3,0
Etb _K 06	4,5	4,7	4,0
Ktr_K 01	5,0		
Ktr_K 02	5,0		
Ktr_K 03	4,0		
Ktr _K 04	4,0		

Materialekompositionen i bygningsdelene i de konventionelle byggerier på **FIGUR 1** viser, at fundamentene er tæt på ensrettet på tværs af alle bygningstyper med anvendelse af cementbaserede materialer. Cementbaseret materiale udgør ligeledes majoriteten i terrændæk for etageboliger og kontorer undtagen Ktr_K 01. Naturlige aggregater står for næsten halvdelen af mængden ved terrændæk i enfamiliehuse med undtagelse af teglsten i Enf_K 03.

Alle enfamiliehuse er i et plan undtagen Enf_K 01, der har et etagedæk bestående af beton og træ. Beton er det primære materiale i etagedæk i etageboliger og kontorer, hvilket ikke varierer mærkbart mellem bygningerne. Indervæggene i enfamiliehusene er af beton i Enf_K 03-06, mens de resterende to er af teglsten og træ. Der forekommer særligt en væsentlig del gips i enfamiliehusenes indervægge sammenlignet med etageboliger og kontorer. Det strukturelle i indervægge i etageboliger og kontorer er også beton med undtagelse af Ktr_K 01, der også medfører væsentligt større gipsandel.

Til ydervæggene, som repræsentativiteten er vurderet ud fra, er beton og mursten de primære materialer til henholdsvis konstruktion og facademateriale, hvor kun Enf_K 03 og Ktr_K 03-04 ikke har teglstensfacade men derimod aluminiumsplader. I tillæg til ydervægge har nogle af bygningerne søjler og bjælker som en del af den bærende konstruktion. For enfamiliehusene er det stålsøjler og med en enkelt casebygning, hvor det er træ og stål. Det er beton og stål i de kontorer og etageboliger, der har søjler og bjælker, hvor beton udgør den største vægtandel.

Alle enfamiliehuse har træ som en del af tagkonstruktionen. Tagbeklædningen spænder fra teglsten over betontegl og grønt tag til tagpap, hvoraf sidstnævnte indgår i materialekategorien andet. Taget i etageboliger og kontorer er betonkonstruktioner, med undtagelse af trækonstruktionen i Ktr_K 04. Tagbeklædningen er primært tagpap og så grønt tag i Ktr_K 04. Vi ser også trapekerner for alle etageboliger og kontorer i beton og en smule stål, undtagen Ktr_K 02, der kun er i en etage.



Figur 1. Materialer anvendt i bygningsdelene for de forskellige casestudier ved konventionel byggeskik. Fordelt baseret på vægt. Enf=enfamiliehus. Etb=etagebolig, Ktr=kontor, τ=træbaseret byggeskik.

2.2.2 Træbaseret byggeskik: Repræsentativitet og materialekomposition

Ligesom for konventionel byggeskik er træbyggerierne også blevet vurderet med hensyn til deres repræsentativitet, som vist i TABEL 9. Enfamiliehusene har fået en betydelig relativ forbedring i repræsentativiteten ved de tre nye casebygninger, da de før var på 1 og nu er mellem 2-2,5. Dette er stadig et stykke fra både høj repræsentativitet og repræsentativiteten for konventionelle enfamiliehuse. For alle tre nytillføjede enfamiliehuse er det materialer, der bidrager med størst repræsentativitet, mens areal ligger væsentligt under gennemsnitsarealet for nye enfamiliehuse. Generelt kan det siges, at Enf_r 01-03 er betydeligt eksperimenterende i materialevalg og konstruktion, men kan omvendt være den retning træbaseret byggeskik kan bevæge sig mod i fremtiden. Med Enf_r 04-06 er det derfor forsøgt at komme tættere på den nuværende tilgang til træbyggeri i Danmark, hvilket er lykkedes. Dog er træbyggeri i Danmark stadig en i mere eksplorativ fase. Blandt BUILD's tilgængelige casebygninger har det ikke været muligt at ramme en repræsentativitet der absolut set er på niveau med konventionelle enfamiliehuse.

Etageboligerne havde en høj repræsentativitet i de tre cases fra første studie, hvilket gør, de tre nye har en lavere repræsentativitet end dem fra første studie. I Enf_r 01-03 er det primært materialer, som har størst repræsentativitet, hvilket også gør sig gældende for de tre tilføjede casebygninger, som er mellem skalatrin 3-5. De tre nye bygningers konstruktionstilgang og materialer kan repræsentere retningen, hvor træbaserede etageboliger vil bevæge sig henimod i fremtiden. Gennemsnitsarealet per boligenhed for Enf_r 04 er væsentligt større end landsgennemsnittet og Enf_r 05-06 er et stykke under. For alle etageboliger er arealrepræsentativitet på skalatrin 1, hvilket ligger et stykke fra gennemsnittet.

Kontorers repræsentativitet medtager kun materialekriteriet, og med kun en ekstra casebygning tilgængelig hos BUILD, har den ikke forbedret repræsentativitet sammenlignet med de tre første ved at være på skalatrin 2. Generelt varierer kontor som bygningstype mere med hensyn til behov og konstruktionstilgang end boligbyggerier gør. Da trækontorer samtidig er

ny byggeskik for kontorer, er det forventet, at denne bygningstype vil udvikle sig meget de kommende år, hvorved både kriterier for repræsentativitet og selve repræsentativiteten sandsynligvis også forbedrer og ændrer sig løbende.

TABEL 9. Vægtning af vurderet repræsentativitet for alle casebygninger for træbaseret byggeskik. Rækker markeret med grå indikerer, at bygningerne var med i BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a). Enf=enfamiliehus. Etb=etagebolig, Ktr=kontor, τ=træbaseret byggeskik.

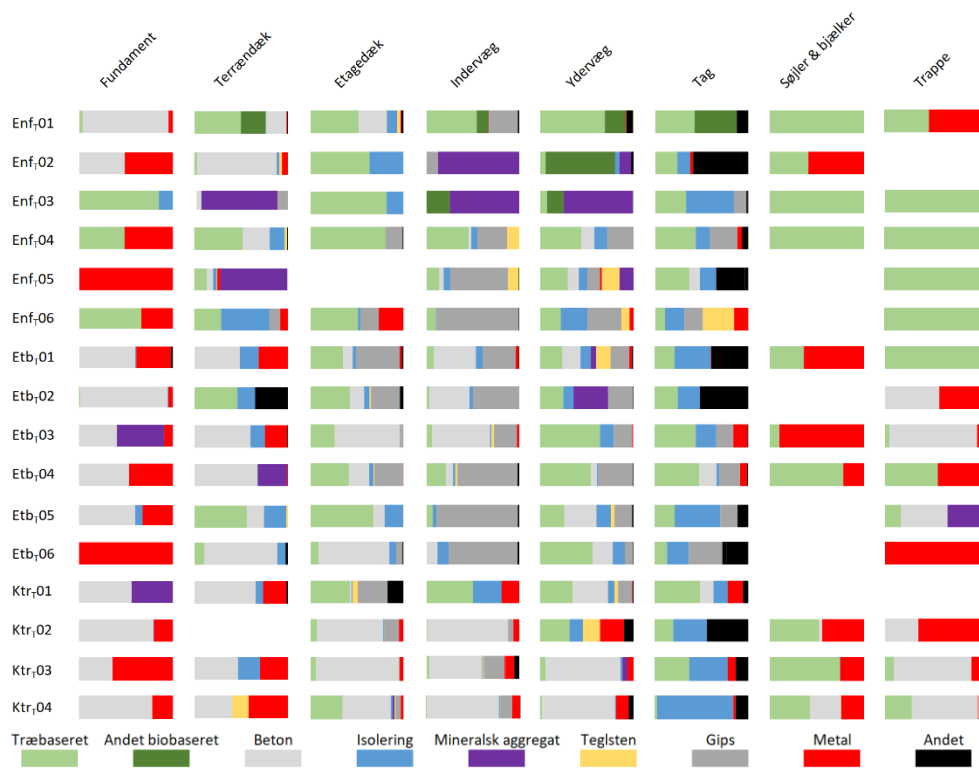
Bygningstype	Vægtning 1 (mat. 1/2, areal 1/2)	Vægtning 2 (mat. 2/3, areal 1/3)	Vægtning 3 (mat. 1/3, areal 2/3)
Enf_τ01	1,0	1,0	1,0
Enf_τ02	1,0	1,0	1,0
Enf_τ03	1,0	1,0	1,0
Enf _τ 04	2,0	2,3	1,7
Enf _τ 05	2,5	3,0	2,0
Enf _τ 06	2,5	3,0	2,0
Etb_τ01	4,5	4,3	4,7
Etb_τ02	3,0	3,7	2,3
Etb_τ03	3,0	3,0	3,0
Etb _τ 04	2,0	2,3	1,7
Etb _τ 05	3,0	3,7	2,3
Etb _τ 06	2,5	3,0	2,0
Ktr_τ01	3,0		
Ktr_τ02	2,0		
Ktr_τ03	4,0		
Ktr _τ 04	2,0		

Modsat konventionel byggeskik viser Figur 2 større variation i materialer i fundamentene i træbaseret byggeskik. Den største variation forekommer for enfamiliehusene, hvor de spænder fra kun beton, træ eller stål til en kombination af disse materialer. Beton er en del af næsten alle etagebolig- og kontorfundamenter, bortset fra Etb_τ 06, der kun har stål. Terrændæk varierer tværtimod væsentligt mere end fundamentene på tværs af bygningscases og -typer. Blandt enfamiliehusene har fire bygninger trækonstruktioner som en del af terrændækket, mens tre inkluderer beton, og ligeledes to med naturlige aggregater. I etageboliger består terrændækket af beton i fem af dem, og én har træ som konstruktion. Ellers indgår der også stål i to etageboliger og naturlige aggregater i en bygning.

Etagedækkene er trækonstruktioner for alle enfamiliehusene med to etager, hvor det for etageboliger også indgår for alle bygninger, dog i kombination med beton i forskellige mængder. For kontorerne er Ktr_τ 02-04 i beton og træ, mens Ktr_τ 01 er i træ, som medfører en øget mængde gips.

For indervægge indeholder Enf_τ02-03 en væsentligt mængde ler, der også har ålegræs i den ene, hvoraf resten har trækonstruktion med en væsentligt mængde gips. Etb_τ01-03 har særligt beton som indervægge beklædt med gips, hvor E_τ04-06 består en smule af træ og beton og ellers en stor mængde gips. I Ktr_τ01 er indervæggene trækonstruktioner og lidt metal, mens de tre andre er en kombination af træ og beton.

Ydervæggene i Enf_τ 02-03 har henholdsvis isolering lavet af ålegræs og halm, og derudover udgør ler og trækonstruktioner også en stor del af denne bygningsdel i begge casebygninger. Enf_τ 01 består primært af træ og ålegræs som isolering i ydervæggen. De tre casestudier har henholdsvis ålegræs og træ som facademateriale. De tre nye enfamiliehusene har ydervægge i trækonstruktioner med en del gips, hvoraf to har teglstensfacade, og en har træfacade. Isoleringsmaterialerne er af papiruld eller træfiber. Alle etageboligerne har trækonstruktioner i ydervæggene og alle med mineraluld.



Figur 2. Materialer anvendt i bygningsdelene for de forskellige casestudier ved træbaseret byggeskik. Fordelt baseret på vægt. Enf=enfamiliehus. Etb=etagebolig, Ktr=kontor, τ=træbaseret byggeskik.

3 MATERIALESTRØMME

Dette afsnit fremviser materialestrømmene for hver bygningstype for konventionel og træbaseret byggeskik for de tre betragtningsperioder på 50, 60 og 100 år. Materialestrømmene præsenteres fordelt på bygningsdele, materialer og livscyklusfaserne konstruktion og udskiftning svarende til A1-A3 og B4.

Opdelingen i bygningsdele og materialer er granuleret yderligere sammenlignet med beskrivelsen af repræsentativitet og materialekomposition. Dette er for at give en mere detaljeret indsigt i materialestrømmene ved de forskellige bygningstyper. Beskrivelsen og vurderingen lægger sig op ad Soust-Verdaguer et al. (2023). Bygningsdelene er kategoriseret som følger:

- Fundament
- Terrændæk
- Ydervægge
- Indervægge
- Etagedæk
- Tag
- Søjler & bjælker
- Trappe
- Vinduer og døre
- Tekniske installationer
- Solcellepanel
- Dræning
- Balkon
- Andet

Materialekategorierne er opdelt herunder. Sammenlignet med materialekompositionen i forrige kapitel skal det særligt bemærkes, at andet biobaseret materiale som halm og ålegræs er inkluderet i isoleringskategorien (se afsnit 7.1 for diskussion af betydning).

- Træbaseret
- Beton (inkluderer beton, cementbundet spånplade og lignende)
- Aggregater (tilslag)
- Teglsten
- Ler
- Isolering (mineraluld, træfiber, papiruld, halm, ålegræs)
- Natursten (fliser, skifer m.v.)
- Gips
- Mørtel
- Stål
- Aluminium
- Zink
- Kobber
- Jern
- Glas
- Plastik
- Maling
- Tagpap (bitumen)

- Grønt tag
- Tekstil

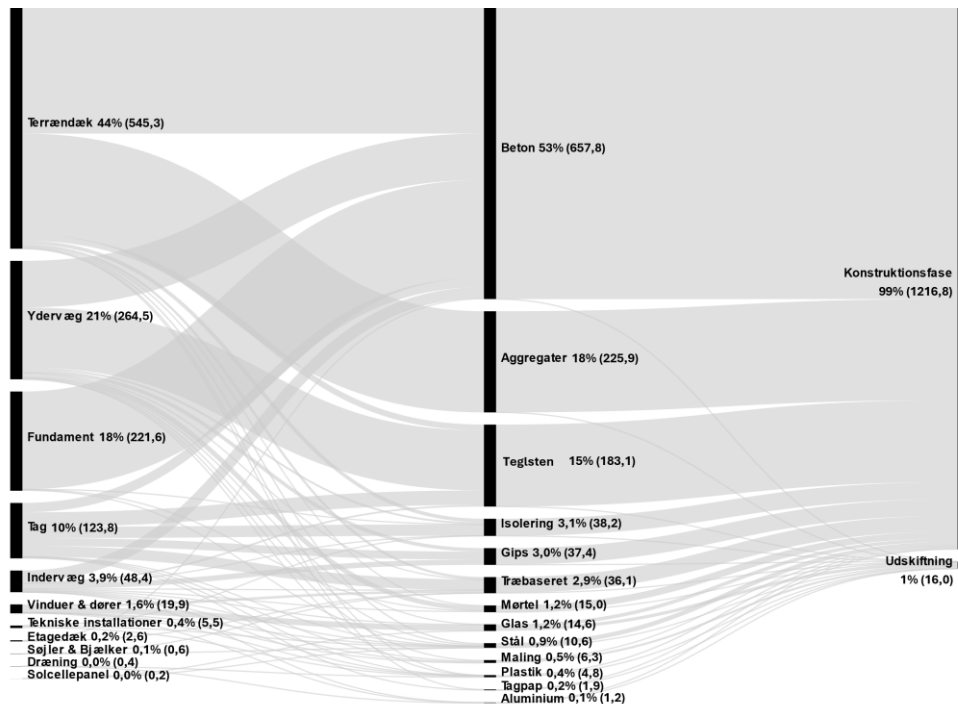
Materialestrømmene er analyseret for bygningstyperne enfamiliehuse, etageboliger og kontorer for tre betragtningsperioder på henholdsvis 50, 60 og 100 år. Betragtningsperioden på 50 år følger kravet til LCA-beregningen i det danske bygningsreglement, mens 60 år flugter nærmere den reelle levetid for kontorer og 100 år er mere i overensstemmelse med den aktuelle levetid for enfamiliehuse og etageboliger (Häfliger *et al.*, 2017; Andersen and Negen-dahl, 2023). Det skal bemærkes, at bygningslevetiderne i studierne baseres på nedrevne bygninger, og dermed ikke medtager bygninger, som bliver stående. Dermed kan de anvendte levetiderne anses som bestemt ud fra et forsigtighedsprincip.

3.1 Konventionel byggeskik

I det følgende præsenteres materialestrømme for konventionel byggeskik opdelt i underaf-snit for bygningstyperne enfamiliehuse, etageboliger og kontorer, som er analyseret for be-tragtningsperioderne 50, 60 og 100 år. Enheden for materialestrømmene er kg per m² etageareal.

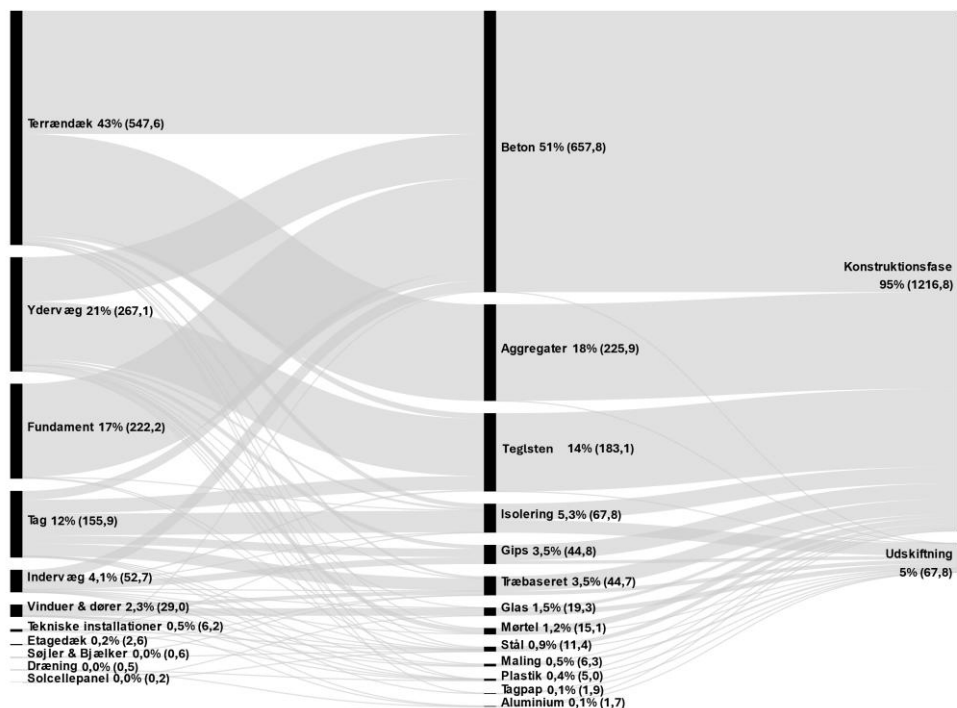
3.1.1 Enfamiliehuse

På figur 3 præsenteres materialestrømme for konventionelle enfamiliehuse for en 50-årig be-tragtningsperiode, hvor terrændæk udgør næsten halvdelen af massen efterfulgt af yder-vægge og fundament. Beton udgør 53% af materialemængden og anvendes hovedsageligt i de tre førnævnte bygningsdele terrændæk, ydervægge og fundament. 18% aggregater an-vendes kun i terrændæk, mens den tredje største materialefraktion er teglsten til primært fa-cademateriale og en smule til tagbeklædning. Langt størstedelen af materialerne, 99%, for-bruges i opførselsfasen og meget lidt behøver at blive udskiftet i løbet af de 50 år.



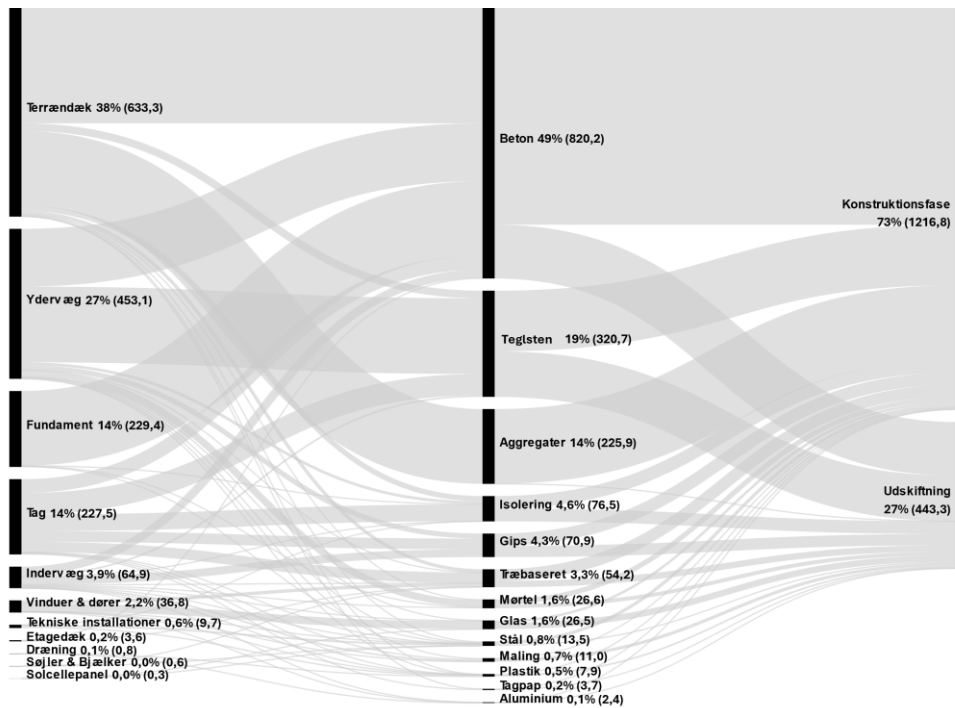
Figur 3. Konventionelt enfamiliehus: over 50 år: Materialemængder (kg/m²) og materialemængdeandel (%) fordelt på bygningstyper (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

Betragtningsperioden øges til 60 år for enfamiliehuse på figur 4, hvor terrændæk udgør tilnærmelsesvist samme andel på 43%, mens ydervægge og fundament følger med 21% og 17%. Materiale-mængden for taget forøges primært grundet udskiftning af isolering. Blandt de tre mest anvendte materialer i vægt, beton, aggregater og teglsten, sker der ingen ændringer i mængder, hvorimod gips og træbaserede produkter, udover isolering, kræver udskiftning ved at forlænge betragtningsperioden til 60 år. Det betyder også, at materialer til konstruktionsfasen nu er aftaget til 95% af materialeandelen og udskiftning er steget fra 1-5%.



Figur 4. Konventionelt enfamiliehus over 60 år: Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

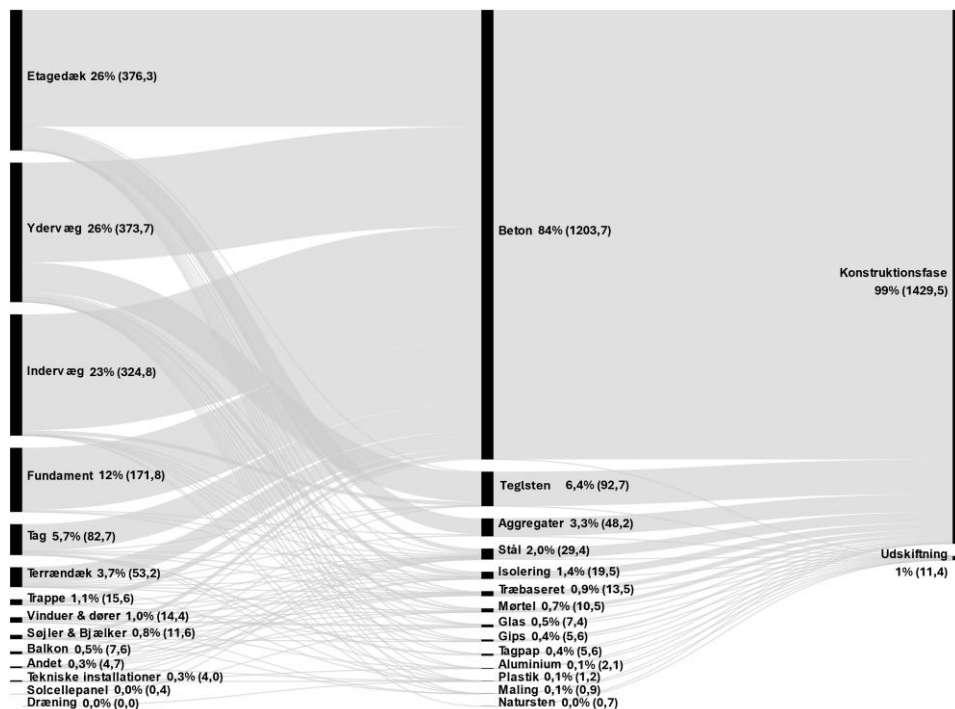
Studerer en betragtningsperiode på 100 år for konventionelle enfamiliehuse på figur 5 udgør terrændæk nu 38% på trods af en forøgelse i materiale-mængder fra udskiftninger. Ydervægge oplever dog en større materiale-mængde kommende fra 226 kg/m² ved 60 år til 453 ved 100 år grundet udskiftninger, hvilket betyder en andel på 27% i stedet for 21% (60-årig betragtningsperiode). Fundament har en næsten uændret materiale-mængde og dermed en lavere andel på 14% i stedet for 17% ved en 60-årig betragtningsperiode. Tagets mængdeandel forbliver næsten ændret, dog forøges materiale-mængden fra 156 til 228 kg/m². Betonandelen er næsten den samme, mens mængden øges fra 658 til 820 kg/m². Teglsten-mængden øges betragteligt og udgør nu 18% i stedet for 14% ved 60 år. Dermed bliver det også det næstmest benyttede materiale i stedet for aggregater, da aggregaters levetid er længere end 100 år. Isolering- og træmængderne øges noget, mens udskiftninger kræver, at gipsmængden går fra 45 til 71 kg/m². Konstruktionsfasens andel er nu kun 73%, mens udskiftning udgør hele 27%, hvilket er i kontrast til 1% og 5% ved henholdsvis 50 og 60 års betragtningsperiode.



Figur 5. Konventionelt enfamiliehus over 100 år: Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

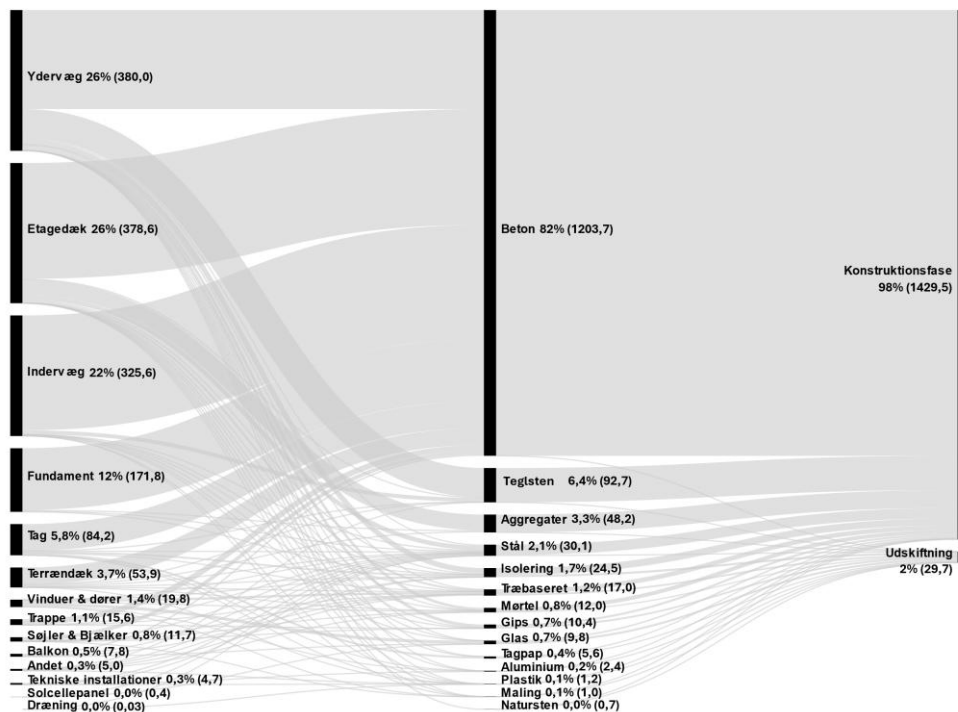
3.1.2 Etageboliger

Etagedæk, yder- og indervægge har næsten samme materiale-mængde og andel ved konventionelle etageboliger over en 50 års betragtningsperiode. Det fremgår af figur 6, at andelen er 26%, 26% og 23%, hvorefter fundament og tag følger med 12 og 5,7%. Beton er det mest anvendte materiale med 84%, efterfulgt af teglsten, aggregater og stål på 6,4%, 3,3% og 2%. Konstruktionsfasen udgør 99% med sine 1429 kg/m² og udskiftninger 1% med 11,4 kg/m².



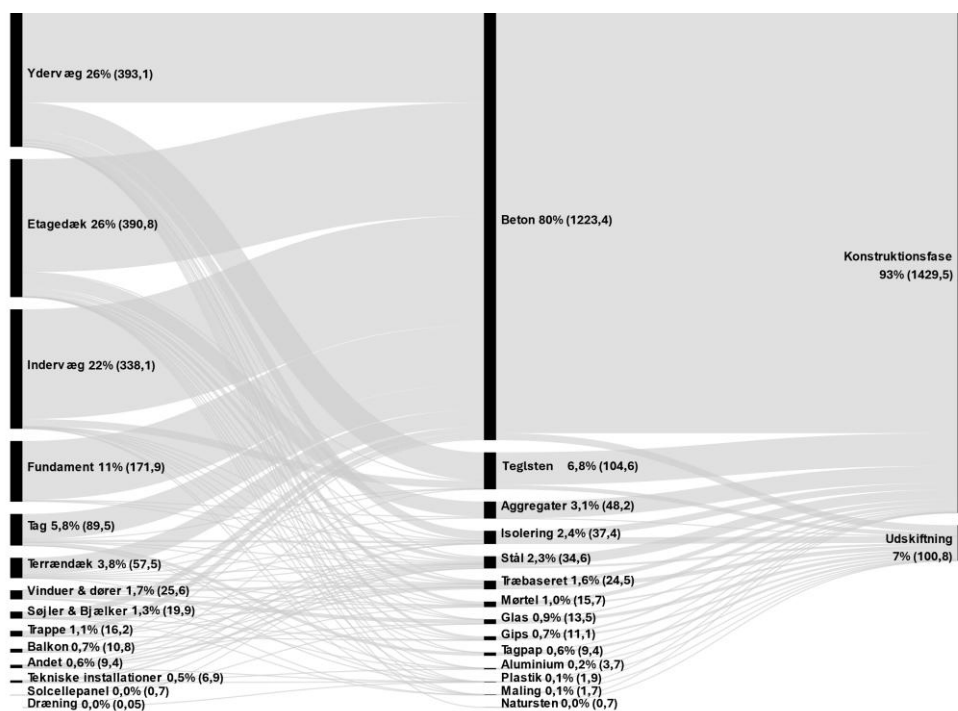
Figur 6. Konventionel etagebolig over 50 år: Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

For en 60 års betragtningsperiode viser figur 7, at ydervægge nu har den største materiale-mængde efterfulgt af etagedæk og indervæg. Dog er mængderne stadig næsten ens for ydervægge og etagedæk. Betonmængden er den samme som ved 50 år, hvilket betyder en anelse lavere mængdeandel på 82%. Stål, isolering og træ kræver lidt flere udskiftninger ved en 60-årig betragtningsperiode end ved 50 år. Konstruktionsfasen udgør imidlertid stadig den største andel på 98% mod 2% ved udskiftninger.



Figur 7. Konventionel etagebolig over 60 år: Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

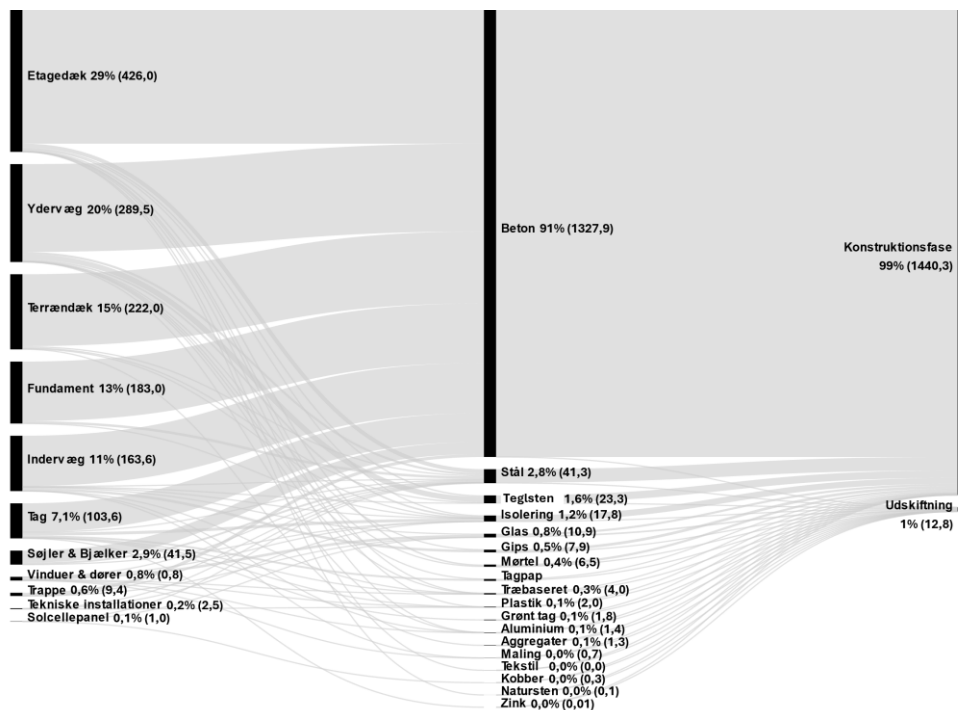
Ved en 100-årig betragtningsperiode for etageboliger viser figur 8 næsten samme materialeandel som for de andre betragtningsperioder for ydervægge, etagedæk og indervægge nemlig 26, 26 and 22%. For alle tre øges materialemængden en smule fra udskiftninger. Beton er igen det mest anvendte materiale med 80% af masseandelen. Herefter følger teglsten, aggregater og isolering, hvoraf sidstnævnte nu har en større andel end stål pga. udskiftninger. Samlet set fylder udskiftninger nu 7% af materialeandelen med 100 kg/m² og konstruktionsfasen 93%.



Figur 8. Konventionel etagebolig over 100 år: Materialemængder (kg/m²) og materialeandele (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

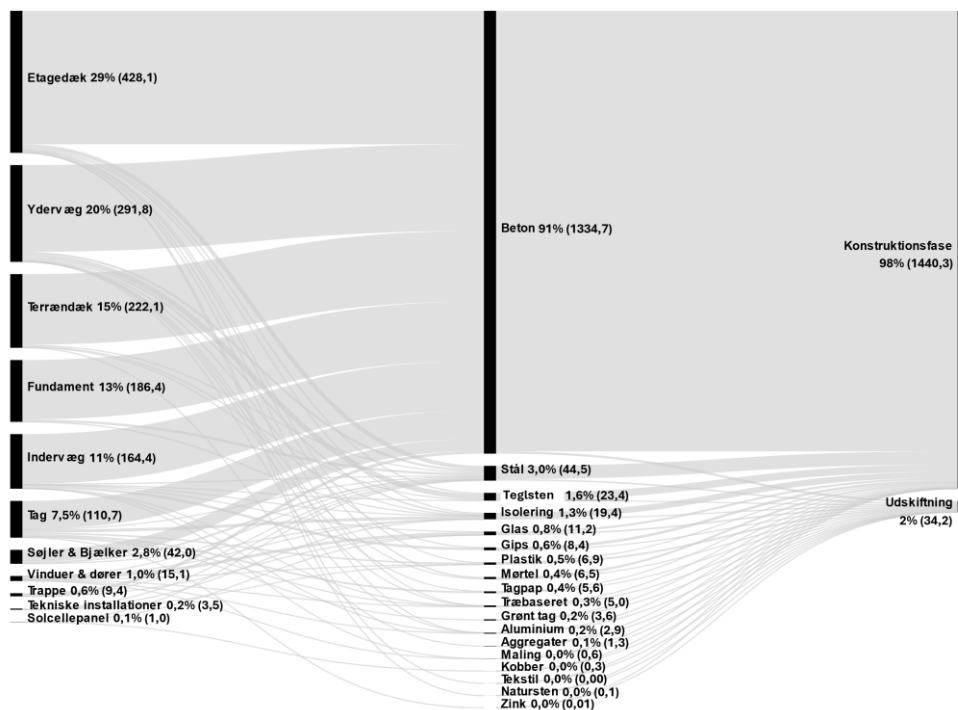
3.1.3 Kontorer

På figur 9 ses, at konventionelle kontorer ved en 50-årig betragtningsperiode har etagedæk med størst materialeandel på 29% efterfulgt af ydervægge, terrændæk og fundament på 20, 15 og 13%. Den største vægtandel blandt materialer er beton med 91%, mens stål, teglsten og isolering følger med betydeligt mindre andel af materialer på 2,8%, 1,6% og 1,2%. Konstruktionsfasen står for 99% af materialemængden med 1440 kg/m², mens udskiftninger kun fylder 1% med 12,8 kg/m².



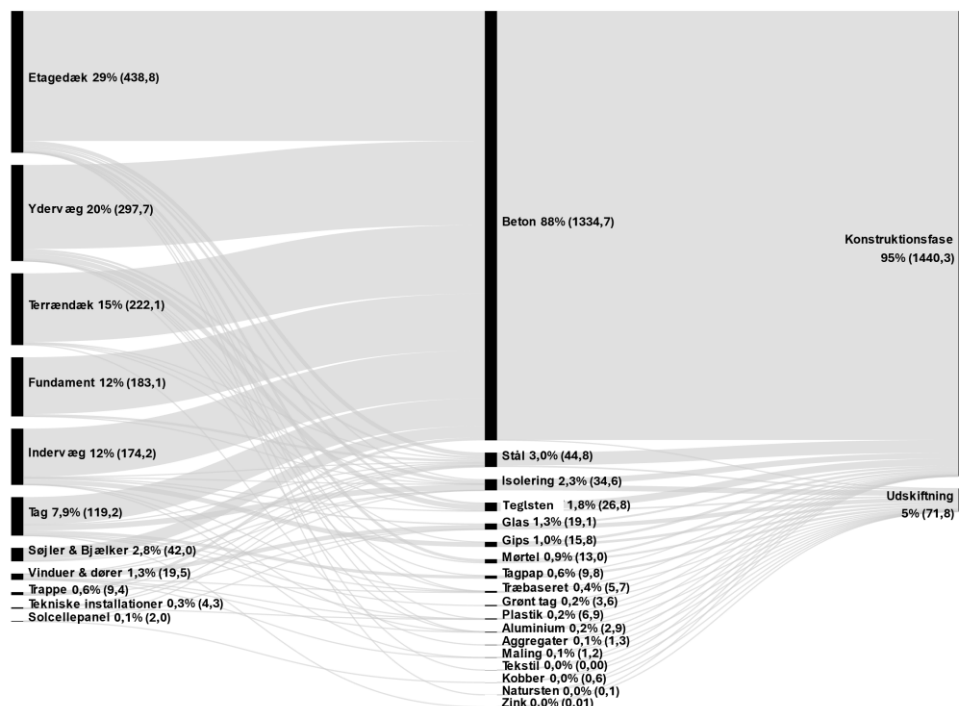
Figur 9. Konventionelt kontor over 50 år: Materialemængder (kg/m²) og materialeandele (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

Ved et kig på figur 10 for konventionelle kontorer ved 60 års betragtningsperiode fremgår det, at etagedæk, ydervægge, terrændæk og fundament igen kræver den største andel af massen med en uændret procentandel i forhold til 50 års betragtningsperiode. Beton udgør ligeledes 91%, men dog med en minimal højere absolut mængde grundet en smule udskiftninger. Stål får en øget andel på 3%, mens teglsten fortsætter med samme mængde og isolerings andel vokser til 1,3% sammenlignet med den 50-rige betragtningsperiode. Dette betyder, udskiftninger nu udgør 2% og 34,2 kg/m² og konstruktionsfasen 98%.



Figur 10. Konventionelt kontor over 60 år: Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

Konventionelle kontorer ved en 100-årig betragtningsperiode ændrer sig ikke væsentligt i forhold til mængdeandel for bygningsdele, som figur 11 viser. De fire bygningsdele med størst mængdemængde er etagedæk 29%, ydervægge 20%, terrændæk 15% og fundament 12%. Etagedæk og ydervægge har en smule højere mængdemængde sammenlignet med 60 år, men det ændrer ikke det store billede. Betonandelen aftager dog en smule til 88%, da der ikke forekommer yderligere udskiftninger ved at forlænge betragtningsperioden. Stål er uændret på 3%, mens nogle teglsten skal udskiftes, så andelen stiger 1,6 til 1,8%. Isolering kræver dog mere udskiftning med tæt på en fordobling, så andelen nu er 2,3% mod 1,3% ved 60-årig betragtningsperiode. Glas og gips er også i underkanten af en fordobling i absolutte mængder. De akkumulerede udskiftningsmængder udgør 5%, svarende til 71,8 kg/m², hvilket dermed reducerer konstruktionsfasens andel til 95%.



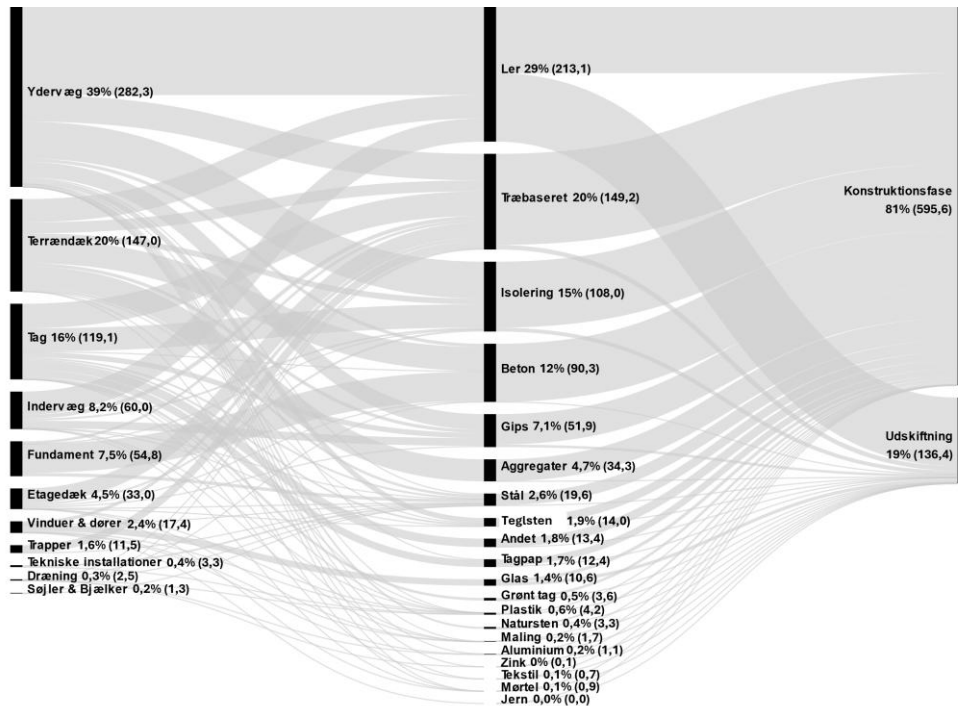
Figur 11. Konventionelt kontor over 100 år: Mængdemængder (kg/m²) og mængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

3.2 Træbaseret byggeskik

I det følgende introduceres materialestrømsanalyserne for træbaseret byggeskik opdelt i underafsnit for bygningstyperne enfamiliehuse, etageboliger og kontorer, som er vist for betragtningsperioderne 50, 60 og 100 år. Enheden for materialestrømmene er kg per m² etageareal.

3.2.1 Enfamiliehuse

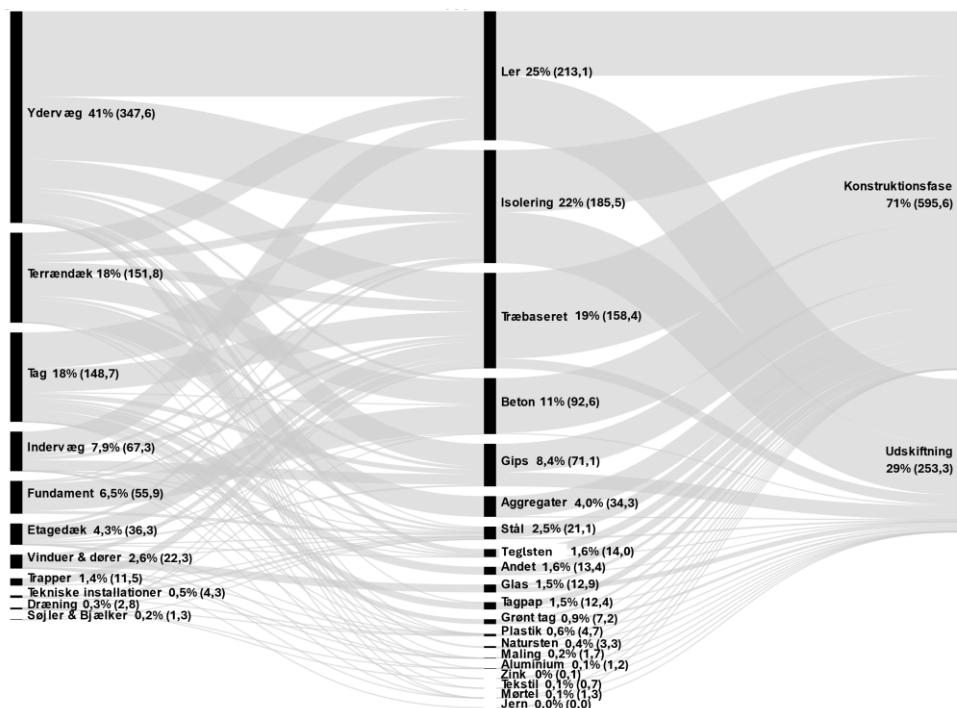
Materialestrømsanalysen for enfamiliehuse i træ for en 50-årig betragtningsperiode introduceres på figur 12. Det viser sig, at ydervægge udgør størstedelen med 39%, hvorefter terrændæk, tag og indervægge følger med 20%, 16% og 8,2%. Ler har den største masseandel på 29%, primært fra terrændæk, yder- og indervægge, mens træbaserede materialer, isolering og beton udgør 20%, 15% og 12%. Den samlede mængde i konstruktionsfasen udgør 81% med 596 kg/m², hvilket betyder at udskiftninger har en 19% andel ensbetydende med 136 kg/m².



Figur 12. Træbaseret enfamiliehus over 50 år: Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) fordelt på byg-ningsdele (venstre), materiale-kategorier (midt) og faser (højre).

På figur 13 ses træbaserede enfamiliehuse for 60 års betragtningsperiode, hvilket medfører en yderligere større andel til ydervægge på nu 41%, hovedsageligt grundet øget udskiftning af isolering. Terrændæk reduceres til 18% og indervægge til 7,9%, mens tagkonstruktionen forøger sin andel fra 16 til 18%, hvor øget isoleringsudskiftning er den største faktor.

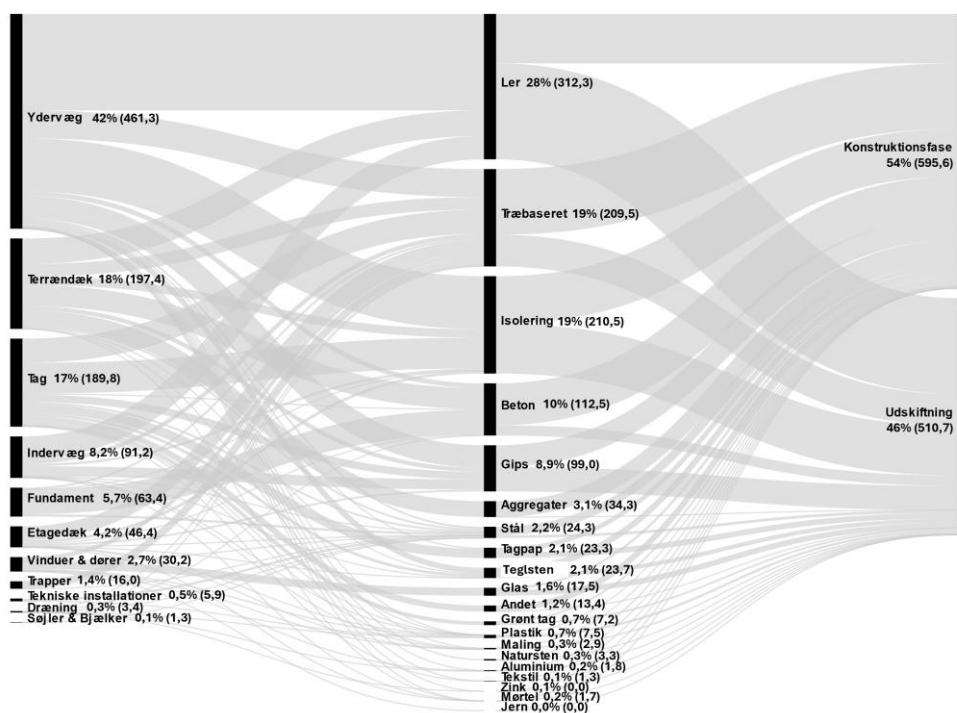
Ler har endnu den største andel, men aftager fra 29 til 25% sammenlignet med 50 års scenariet. Behovet for at næsten halvdelen af isoleringen udskiftes, betyder, at det udgør den næststørste andel med 22% og træbaseret materiale er på 19%. Beton udgør 11% og gips andel vokser fra 7,1 til 8,4%. Samlet set betyder det, at konstruktionsfasen udgør 71% og udskiftninger 29%. Forlængelsen af betragtningsperioden fra 50 til 60 år betyder dermed et øget behov for udskiftninger, der vokser fra 136 kg/m² til 253 kg/m², hovedsageligt grundet isolering og gips.



Figur 13. Træbaseret enfamiliehus over 60 år: Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

Kigges der på enfamiliehus ved træbaseret byggeskik over en 100-årig periode på figur 14, kan det ses, at ydervægge udgør 41%, mens mængden er vokset i absolutte værdier. Terrændæk, tag og indervægge udgør 18%, 17% og 8,2%, hvor de to sidstnævntes mængder også øges.

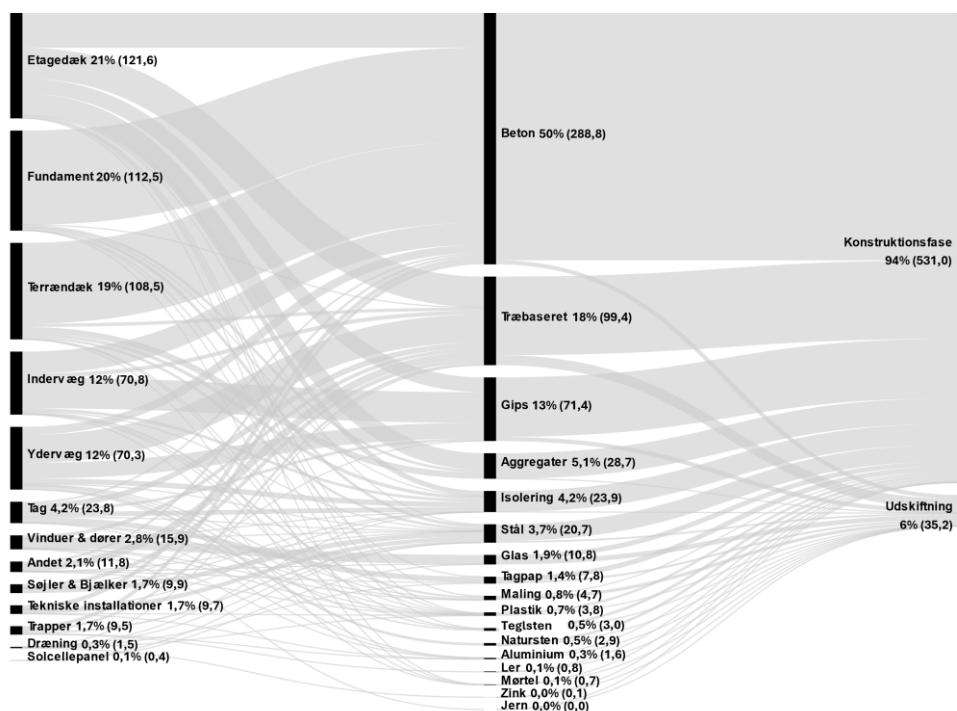
Ler udgør 28%, og bag det ligger en forøgelse af mængder fra udskiftninger på ca. en faktor 1,5. Træmaterialer udgør 19% og fremgår med et voksende udskiftningsbehov fra 158 til 210 kg/m² i forhold til 60 års perioden. Isolering kræver også lidt flere udskiftninger ved 100 år, men aftager i samlet andel til 19%, da den største ændring i udskiftninger forekom ved 60 års betragtningsperiode. Gipsmængden øges til gengæld betydeligt, nemlig fra 71 til 99 kg/m². Det samlede øgede behov for udskiftninger gør, at dets andel lander på 46%, og dermed er 54% af mængden forbundet med konstruktionsfasen, hvilket er en betragtelig ændring sammenlignet med 50 og 60 års betragtningsperiode.



Figur 14. Træbaseret enfamiliehus over 100 år: Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

3.2.2 Etageboliger

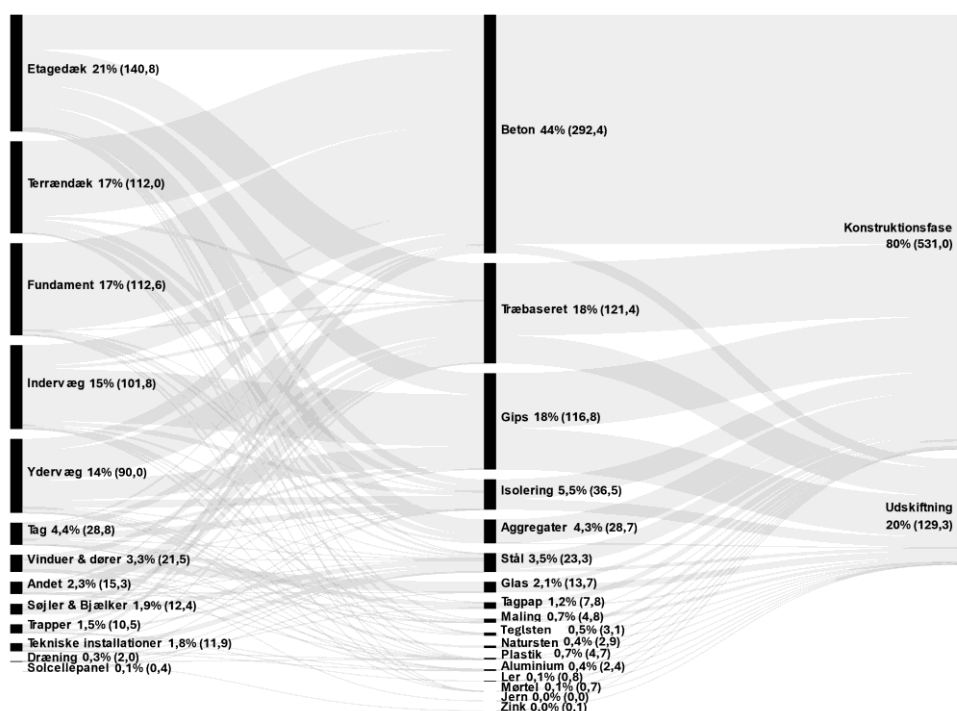
Etageboliger i træbaseret byggeskik ved en 50-årig betragtningsperiode fremvises på figur 15, hvoraf etagedæk, fundament og terrændæk udgør henholdsvis 21, 20 og 19% af materiale-mængderne. Herefter følger inder- og ydervægge med 12% hver. På trods af træbaseret byggeskik, så udgør beton 50% af massen mod træbaseret materiales 18%, hvor det skal huskes, at densiteterne ikke er den samme. Gips er det tredje mest anvendte massebaserede materiale med 13% og aggregater 5,1%. Konstruktionsfasen udgør størstedelen af materia-leandelen med 94%, hvilket i absolutte mængder er 531 kg/m². Udskiftninger udgør dermed 6% og svarer til en mængde på 35,2 kg/m².



Figur 15. Træbaseret etagebolig over 50 år: Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) fordelt på byg-ningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

Ved at forlænge betragtningsperioden til 60 år for etageboliger i træ viser figur 16 etagedæk med 21% af materialeandelen, mens terrændæk og fundament hver udgør 17%. Både etagedæk og terrændæk kræver en smule flere udskiftninger ved forlængelsen af betragtningsperioden, mens fundament er uændret. Inder- og ydervægge kræver flere udskiftninger, hvor deres andel vokser fra 12% til henholdsvis 15 og 14%. Hovedårsagen er øget behov for træ- og gipsudskiftninger.

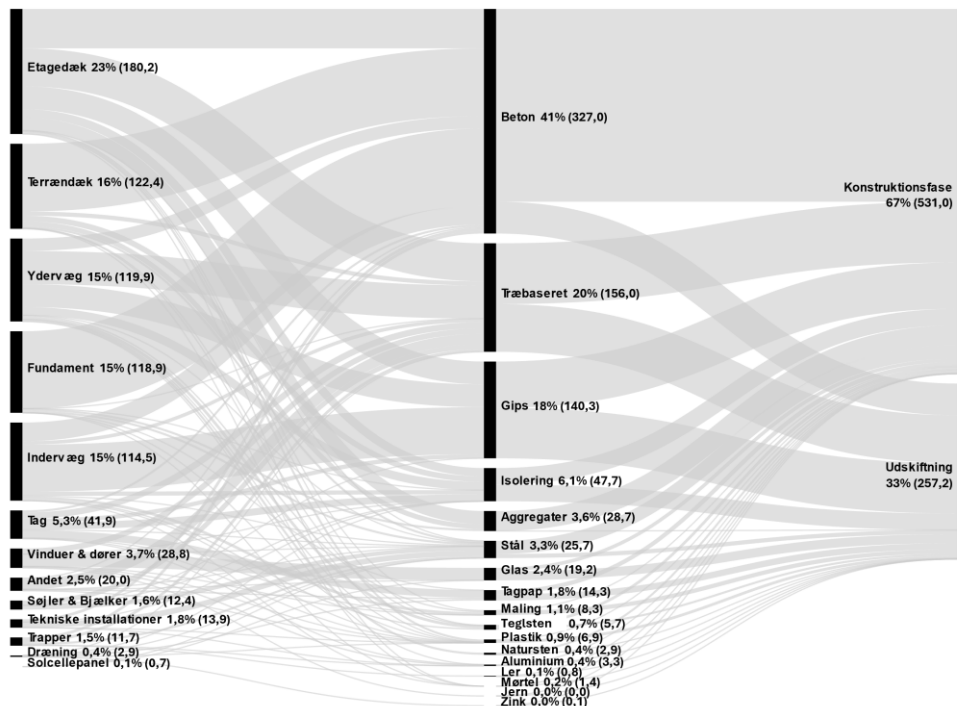
Beton kræver ikke mange ekstra udskiftninger, og dermed falder andelen til 44% i forhold til 50 års perioden, mens træbaseret fortsætter på 18% andel på trods af en femtedel flere udskiftninger. Gips udgør også 18%, da udskiftninger øger materialeforbruget fra 71 til 117 kg/m². Isolerings andel vokser fra 4,2 til 5,5%, mens aggregaters absolutte mængder forbliver uændret, mens andelen falder til 4,3%. Konstruktionsfasen udgør nu 80% og udskiftninger 20% svarende til 129 kg/m². Forlængelsen af betragtningsperioden fra 50 til 60 år medfører dermed mærkbart flere udskiftninger.



Figur 16. Træbaseret etagebolig over 60 år: Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

På figur 31 er materialestrømmene for en 100-årig betragtningsperiode for træbaserede etageboliger. Etagedæks andel er på 23%, hvor mængden øges fra 140 til 180 kg/m². Terrændæk udgør 16%, ydervæg, fundament og indervæg 15% hver. Ydervægge kræver udskiftninger, så mængden øges fra 90 til 120 kg/m², mens indervæg og fundament ligeledes har behov for udskiftninger, dog i mindre grad.

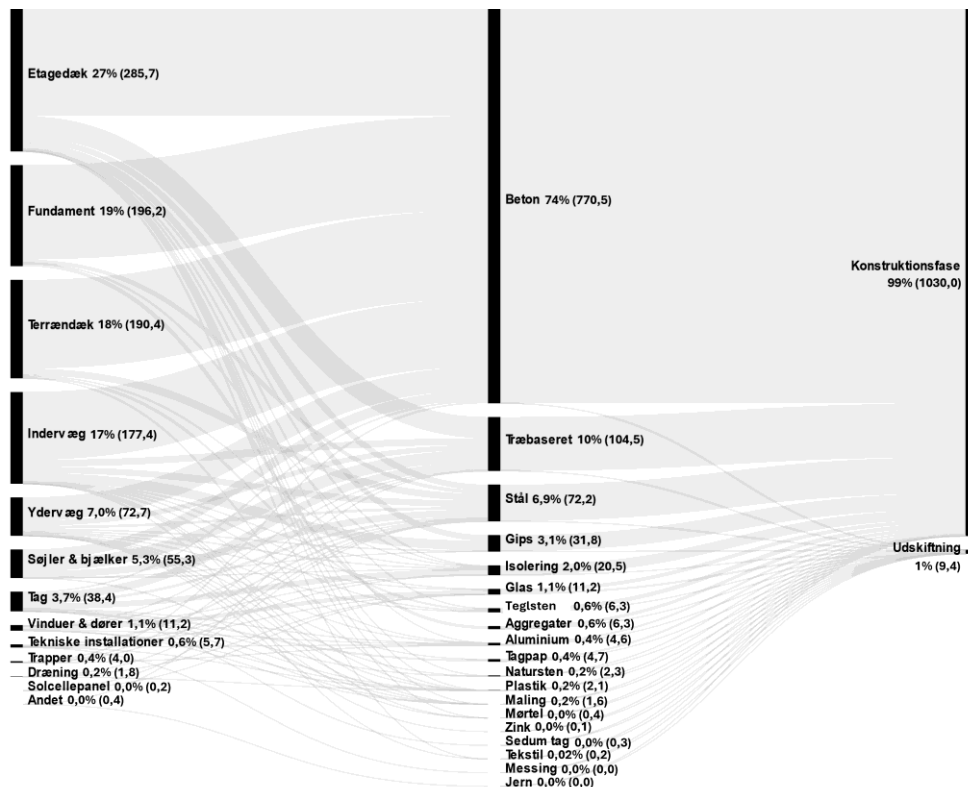
Betons andel aftager fra 44 til 41%, selvom mængden forøges fra 292 til 327 kg/m². Træ og gips udgør henholdsvis 20 og 18%, og deres absolutte materialebehov øges på grund af flere udskiftninger fra 121 og 117 kg/m² til respektive 156 og 140 kg/m². Isolering oplever også en større forbrug grundet flere udskiftninger. Den længere betragtningsperiode på 100 år gør, at andelen af udskiftninger stiger til 33% og 257 kg/m², hvor det ved en 60-årig betragtningsperiode er 20%. Dette er derfor en væsentlig ændring ved at øge det til 100 år.



Figur 17. Træbaseret etagebolig over 100 år: Materiale mængder (kg/m²) og materiale mængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materiale kategorier (midt) og faser (højre).

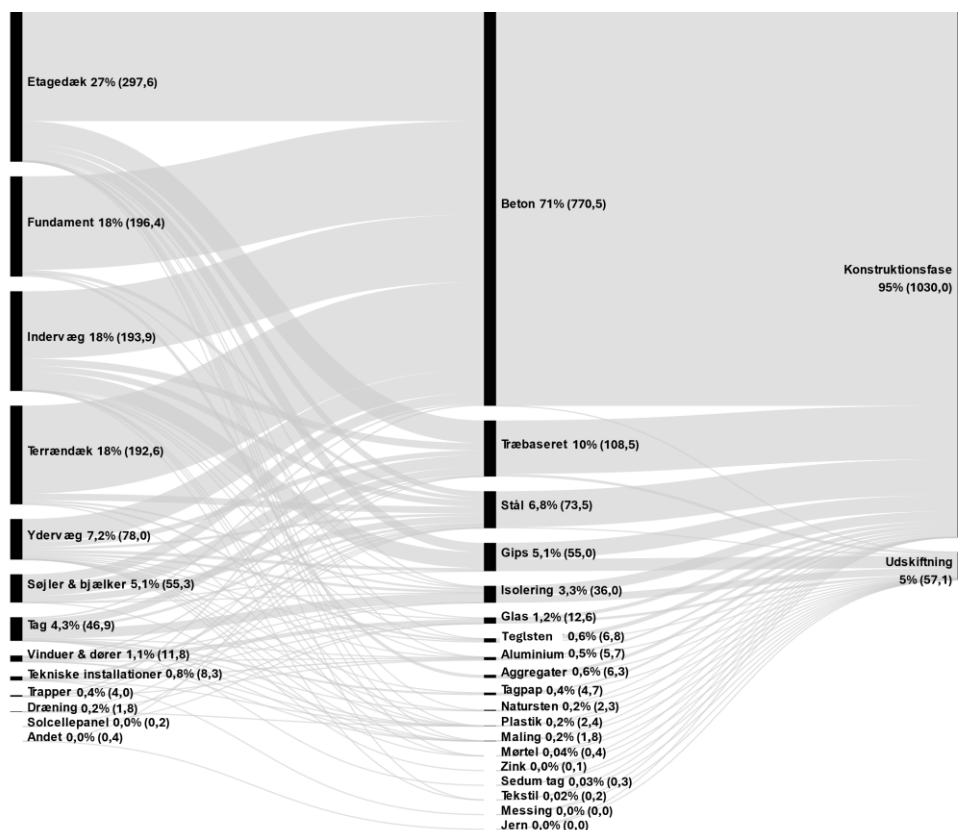
3.2.3 Kontorer

Kontorer i træbaseret byggeskik og dets materialestrømme ved en 50-årig betragtningsperiode præsenteres på figur 18. Etagedæk fremgår med den største materialeandel blandt bygningsdelene på 27%. Herefter følger fundament med 19%, terrændæk 18% og indervæg 17%. Ydervægge udgør derimod kun 7%. Den største materialekomponent er beton med 74%, hvilket primært knytter sig til de foregående fem bygningsdele. Træ og stål har en andel på 10 og 6,9%. De fleste materialer, 99%, forbruges i konstruktionsfasen, hvilket er 1030 kg/m². Den 1% som udskiftninger konstituerer er tilsvarende 9,4 kg/m².



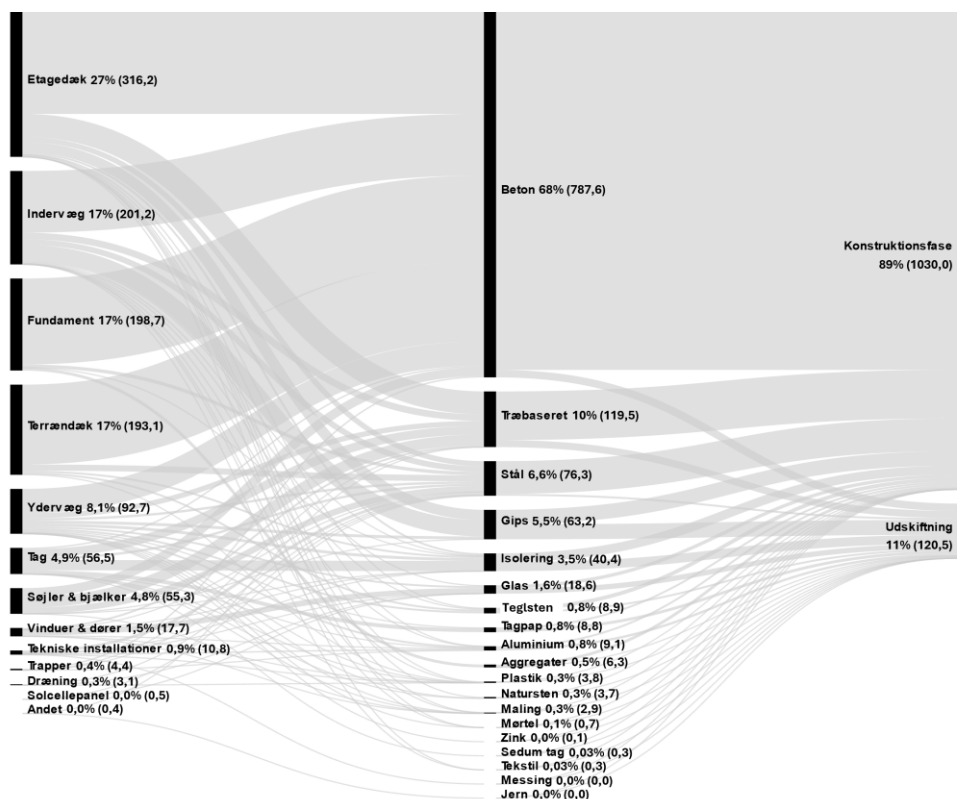
Figur 18. Træbaseret kontor over 50 år: Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

Ved at se på figur 19 for træbaseret kontor ved en 60-årig betragtningsperiode udgør etagedæk med 27% den største andel blandt bygningsdele, og med en smule mere mængde end ved 50 år. De næste bygningsdele i rækken er fundament, indervæg og terrændæk med hver 18%. Kigges der på materiale, udgør beton den største andel med 71%, lidt mindre end ved 50 år, mens træ og stål udgør 10% og 6,8%. Gips øger deres udskiftninger mest relativt set, da andelen vokser fra 3,1% til 5,1%. Samlet bliver andelen af udskiftninger større ved 60 år end 50 år, nemlig 5%, svarende til 57 kg/m². Konstruktionsfasen udgør dermed den største andel med 95% af det samlede materialeforbrug.



Figur 19. Træbaseret kontor over 60 år: Materiale-mængder (kg/m²) og materiale-mængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

På figur 34 fremgår materialemængder ved kontorer i træ ved en 100-årig betragtningsperiode. Her udgør etagedæk 27% og ændres relativt sammenlignet med de andre betragtningsperioder. Indervæg, fundament og terrændæk udgør hver 17%, hvor alle tre får en lille forøgelse i mængde i forbindelse med udskiftninger. Beton er det mest anvendte materiale med 68%, hvilket er aftaget i forhold til 60 års betragtningsperiode. Træ og stål udgør 10 og 6,6%, mens gips har en andel på 5,5%. Alle de tre førnævnte materialer oplever en lille stigning på grund af flere udskiftninger. Den samlede andel, som udskiftninger udgør, er 11% og 121 kg/m², hvor konstruktionsfasen stadig udgør majoriteten med 89%.



Figur 20. Træbaseret kontor over 100 år: Materialemængder (kg/m²) og materialemængdeandel (%) fordelt på bygningsdele (venstre), materialekategorier (midt) og faser (højre).

4 EVALUERING AF SKOVMODEL

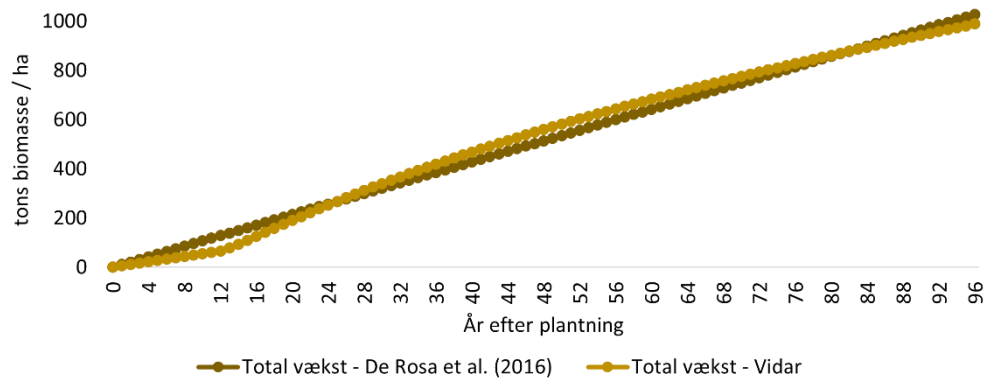
I det indledende studie i BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a) blev skovmodellens anvendelse i sammenhæng med konsekvens-LCA identificeret som et betydende element for de samlede klimapåvirkninger for træbaseret byggeskik. Den anvendte skovmodel var De Rosa *et al.* (2016). Ved følsomhedsanalyserne viste det sig, at det at inkludere skovmodellen har stor betydning for træbyggeris klimapåvirkning. Derudover havde den anvendte rotations-tid i skovmodellen særlig stor betydning for klimapåvirkningen ved træbaseret byggeskik. Derfor har skovmodellering og dens inputs stor betydning for klimapåvirkningen, når konsekvenserne ved et skift til øget træbaseret byggeskik undersøges.

For at afdække betydningen af om den anvendte skovmodel influerer klimapåvirkningen væsentligt, foretages herunder en vurdering af skovmodellen fra De Rosa *et al.* (2016). Først udføres en kvantitativ sammenligning med skovmodellen anvendt i studiet Andersen *et al.* (2024c), som er baseret på vækstmodellerne tilgængelig i softwaren Vidar (Nord-larsen *et al.*, 2009). Derefter bliver der lavet en kvalitativ perspektivering til Nord-Larsen *et al.* (2017).

I den kvantitative vurdering sammenlignes først tilnærmelsesvis samme type funktion for biomassevækst (træers vækst) og biomassenedbrydning (henfald af kvas og grene i skoven) samt tilnærmelsesvist ens inputs baseret på Andersen *et al.* (2024c). For biomassevækst sammenlignes en lineær funktion og for nedbrydning en eksponentiel funktion. I BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a) skal det bemærkes, at der anvendes en sigmoid-funktion for biomassevækst i skovmodellen udviklet af De Rosa *et al.* (2016) i stedet for en lineær. Sigmoid-funktionen sammenlignes også med den lineære funktion anvendt i Andersen *et al.* (2024c) og modelleret i skovmodellen Vidar.

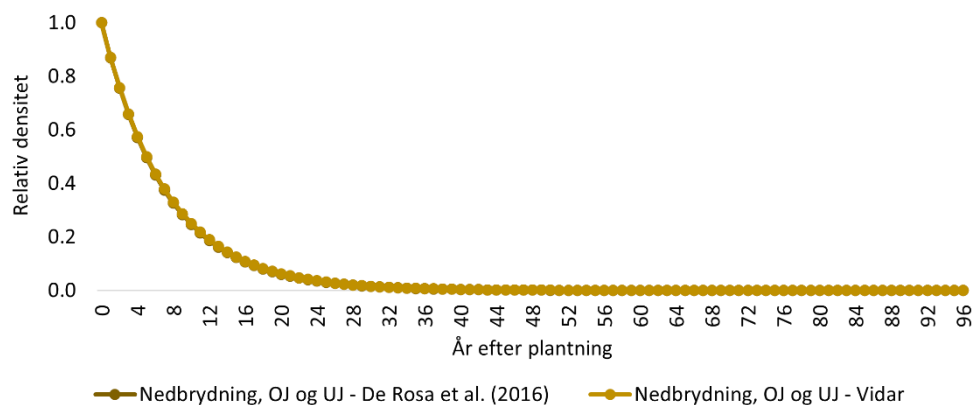
Basis inputs til begge modeller inkluderer udtynding og etablering (plantning af træer) i årene 18, 20, 23, 26, 29, 33, 37, 41, 46, 52, 58, 65, 73, 81 og 90, en rotationsperiode på 96 år og en gennemsnitlig biomassetilvækst på 10,3 tons pr. hektar. For nedbrydningsfunktionen er de anvendte konstanter for overjordisk (OJ) og underjordisk (UJ) biomasse i begge tilfælde 0.14 ved anvendelse af eksponentielt biomasse nedbrydning.

På figur 21 vises sammenligningen mellem de to skovmodeller for biomassevækst over rotationsperioden på 96 år for både over- og underjordisk biomasse. Væksten for begge modeller udvikler sig relativt ens og den samlede akkumulerede mængde biomasse efter 96 år er for De Rosa *et al.* (2016) 1028 tons/ha og for Vidar 989 tons/ha (Andersen *et al.*, 2024), hvilket indikerer forskel på 3,8%. Dermed afhænger væksten af biomasse ikke af skovmodellen i sig selv, så længe samme type vækstmodel anvendes (her lineær tilgang).



Figur 21. Sammenligning af biomassevækst i skov på stamme-niveau ved sammenligning af to skovmodeller med tilnærmelsesvis lineær modellering for en rotationsperiode på 96 år.

Nedbrydning af biomasse vises som den relative densitet, der er tilbage for dødt ved (døde træ- og planterester) efter et givent antal år i rotationsperioden. Ses der nærmere på nedbrydningskurven over rotationsperioden på figur 22 for begge skovmodeller (Andersen et al., 2024; De Rosa et al., 2016) ligger de oven på hinanden for over- og underjordisk biomasse. Dette indikerer, at der ikke er nogen forskel for modellering af biomassenedbrydning mellem skovmodellerne, hvis den samme type modellering anvendes (her eksponentiel tilgang). Da der anvendes samme funktion og koefficienter for OJ og UJ, er disse også ens i begge skovmodeller.

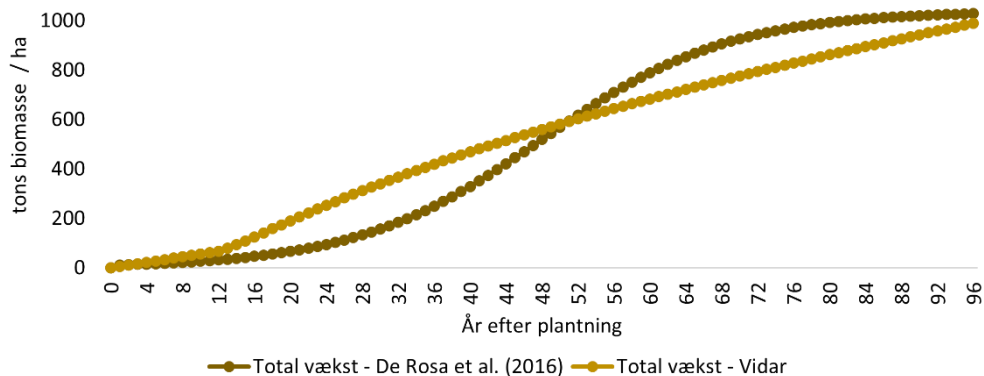


Figur 22. Sammenligning af biomassenedbrydning i skov på stamme-niveau i form af relativ densitet ved sammenligning af to skovmodeller med eksponentiel modellering for en rotationsperiode på 96 år. OJ=overjordisk biomasse, UJ=underjordisk biomasse.

I BUILD Rapport 2023:22 blev en sigmoid-model anvendt for både vækst og nedbrydning, hvilket sammenlignes med den henholdsvis mere lineære og eksponentielle tilgang i Andersen et al. (2024c). På figur 23 kan ses sigmoid biomassevækst som en S-formet kurve (kendetegn for denne type kurver), hvilket giver tidsmæssige forskellige vækstværdier for de enkelte år over rotationsperioden. Sigmoid-modellering medfører en lavere vækst i den første halvdel af rotationsperioden, sammenlignet med den mere lineære tilgang som Vidar giver, men viser til gengæld også en større vækst i anden halvdel af rotationsperioden.

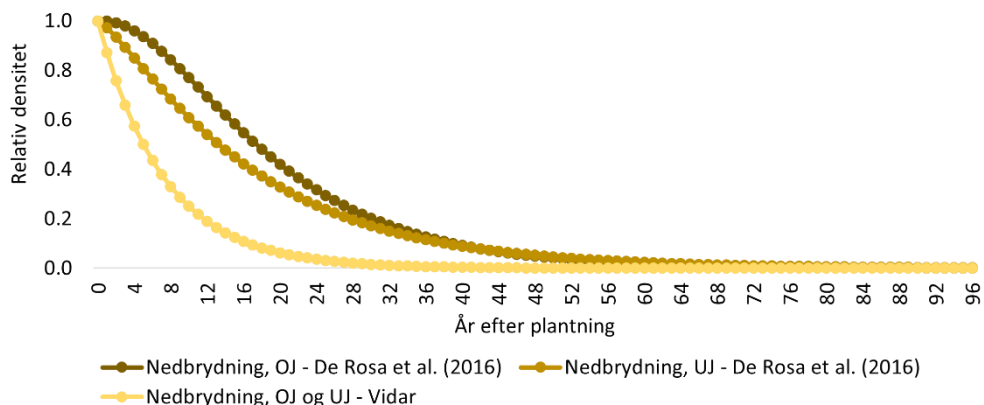
Den kumulative sigmoid biomassetilvækst er dog stadig entydig med den mere lineære tilgang i De Rosa et al. (2016), nemlig 1028 tons/ha, som derfor ikke ændrer på de 3,8% i forskel mellem skovmodellerne. Dermed er der ingen forskel i den kumulative vækst uanset lineær og sigmoid-modellering, og derfor heller ikke i det kumulative kulstofoptag. Derfor er der ikke nævneværdig forskel mellem skovmodellerne, men kun mellem, hvilken vækstmodel

der vælges i den respektive skovmodel. Selvom sigmoide og lineære vækstkurver har tilnærmelsesvist ens kumulativ vækst, så vil en kombination med dynamisk tidskorrigeret optag af CO₂ sandsynligvis vise større forskel, da selve kulstofoptaget forekommer tidsmæssigt forskelligt. Den dynamiske tilgang har imidlertid ikke noget med selve skovmodellen at gøre, men er et ekstra tilføjlet modelleringslag.



Figur 23. Sammenligning af biomassevækst i skov på stamme-niveau ved sammenligning af to skovmodeller med sigmoid-modellering i De Rosa et al. (2016) og tilnærmelsesvist lineær modellering i Vidar for en rotationsperiode på 96 år.

For sigmoid-modellering af biomassenedbrydning i De Rosa et al. (2016) er nedbrydningskoefficienterne for OJ 0,082 og 2,530, mens de for UJ er 0,067 og 1,310. På figur 24 vises nedbrydningskurverne for OJ og UJ for begge skovmodeller. OJ og UJ er ens i Andersen et al. (2024c), mens kurverne for De Rosa et al. (2016) er lidt forskellige under de første ca. 30 år af rotationsperioden. Figuren viser dermed væsentligt hurtigere henfald ved eksponentiel modellering af biomassenedbrydning i Andersen et al. (2024c) sammenlignet med sigmoid-modellering. Dermed forsvinder biomassen hurtigere i modellen fra Andersen et al. (2024c) med eksponentiel nedbrydningsmodel over rotationsperioden sammenlignet med De Rosa et al. (2016) med sigmoid-nedbrydningsmodel. Dette har ikke noget med skovmodellen at gøre, men derimod hvilken nedbrydningsfunktion og koefficienter der benyttes i den givne skovmodel. Derfor vil den tidsmæssige forskellighed af nedbrydning og dermed frigivelse af kulstof have betydning, hvis det kombineres med dynamisk tidskorrigeret CO₂-eq-emissioner, som det gør sig gældende for biomassevækst.



Figur 24. Sammenligning af biomassenedbrydning i skov på stamme-niveau i form af relativ densitet ved sammenligning af to skovmodeller med eksponentiel modellering for en rotationsperiode på 96 år. OJ=overjordisk biomasse, UJ=underjordisk biomasse.

Dermed tyder det ikke på, at selve skovmodellen har stor betydning for klimapåvirkningen for træbyggeri i (konsekvens) LCA. Det indikerer derimod, at det er inputs til den valgte skovmodel, der har større betydning, samt også hvordan skovmodellen kombineres med forskellige LCA-metoder, og om der anvendes dynamisk tidskorrigeret kulstofoptag og -udledning. Hvis sidstnævnte benyttes, kan det forventes, at biomassevækst- og nedbrydningsmodellerne har en væsentlig indflydelse på vægtningen det har på globalt opvarmningspotentiale (GWP). Betydningen af inputs i en skovmodel, som repræsenterer en given skovs vækstbetingelser, herunder jordbundsforhold med videre. Det ses tydeligt i Figur 2 i Nord-Larsen et al. (2017), hvor den årlige gennemsnitlige biomassevækst for kæmpegran (*abies grandis*) fire forskellige steder i Danmark, kan variere med en faktor på ca. 2-2.5. De lokale vækstforhold kan derfor betyde en væsentlig forskel i biomassetilvækst, hvilket er ensbetydende med, at inputs til en anvendt skovmodel har stor betydning. Dette er dog svært at tage højde for i en bygnings LCA på nuværende tidspunkt, da det kræver meget produktspecifikke data, hvor man ved, hvor biomassen kommer fra.

5 KONSEKVENSLCA

Livscyklusvurderinger (LCA) anvendes til at analysere og vurdere miljøpåvirkninger fra service eller produktsystemer lige fra udvinding af råmaterialer, produktion, brugsfase og endt levetid. Alle ressource- og energistrømme opgøres i forhold til en funktionel enhed, som gør forskellige tilgange til samme formål sammenlignelige. En LCA består af (1) formål og afgrænsning, (2) kortlægning af livscyklus, (3) vurdering af miljøpåvirkninger, (4) fortolkning af miljøpåvirkninger.

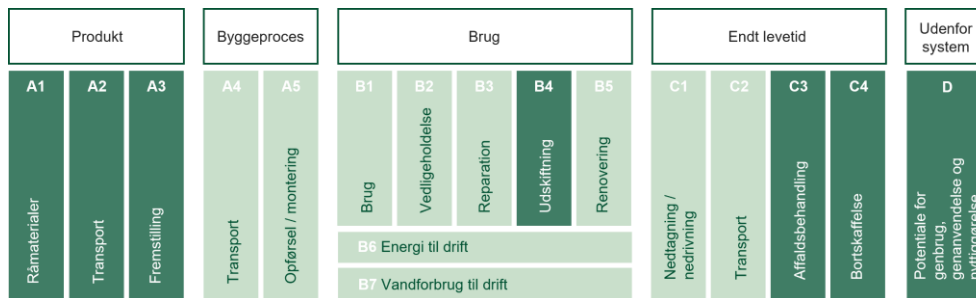
I nærværende studie foretages en konsekvens-LCA, der undersøger markedskonsekvenser ved en ændret efterspørgsel afledt af det studerede produktsystem (Consequential-LCA, 2021). Dermed vurderes de forventede kausale ændringer for de involverede ressourcestrømme, ved at identificere de producenter, der kan øge eller nedskalere deres produktion afhængig af retningen for efterspørgslen. Dette tager dermed udgangspunkt i standarden ISO 14044 (2008), da LCA'en skal agere beslutningsstøtte til et skift i fremtidig byggeskik i Danmark.

Et andet aspekt ved konsekvens-LCA, som adskiller sig fra den typiske tilgang i attributiv LCA, er, at biprodukter og genanvendelse modelleres ved brug af systemudvidelse. Systemudvidelse betyder, at bi- og genanvendte produkters funktion erstatter andre leverandører af produkter med samme eller lignende funktion i økonomien (Consequential-LCA, 2021). Denne erstattede produktions miljøpåvirkning modregnes dermed i den samlede vurdering af miljøpåvirkninger i dette studie.

5.1 Formål og afgrænsning

Det overordnede formål med dette studie og dets LCA er at vurdere de miljømæssige konsekvenser ved et skift fra konventionel til træbaseret byggeskik for fremtidigt Dansk byggeri frem til 2050. Det første punkt i at udføre en LCA er definitionen af den funktionelle enhed, som gør bygningerne sammenlignelige, selvom fx materialer er forskellige. For dette studie er den funktionelle enhed defineret som *1 m² bruttoareal per år af den samlede bygnings betragtningsperiode*. Det vil sige, at den gennemsnitlige mængde materiale per m² for hver bygning undersøges, samt at miljøpåvirkningen fra den samlede levetid fordeles ligeligt over hvert år bygningen er i brug. Herigennem kan bygninger ved forskellige betragtningsperioder sammenlignes. Betragtningsperioderne i dette studie er den nuværende standard på 50 år og derudover også 60 og 100 år, som tidligere nævnt.

Da dette studie undersøger ændring af byggeskikke særligt i relation til materialer, er det kun materialeforbruget, som vurderes nærmere. Derfor medtages ikke de direkte serviceydelser så som arkitekt- og ingeniørrådgivning i forbindelse med byggeriet og energiforbrug ved drift. Konventionel byggeskik ses som basisscenariet og den baseline hvormed træbaseret byggeskik sammenlignes op imod. Fokus på materialeforbruget betyder, at de inkluderede livscyklusfaser er som angivet i figur 25, hvor de resterende faser ikke antages at have nærmere betydning ved at undersøge et skift fra konventionel til træbaseret byggeskik.



Figur 25. Inkluderede livscyklusfaser i livscyklusvurderingen er de fremhævede moduler i mørkegrøn.

5.1.1 Markedsanalyse i livscyklusen

Det næste skridt i LCA'en er kortlægning af de producenter på markedet, der forventes at respondere til en ændret efterspørgsel ved de to byggeskikke. De mest anvendte materialer i de to byggeskikke er beton, stål og træ, hvormed disse betragtes som forgrundsmaterialer, der modelleres med deres påvirkede leverandører ved efterspørgsel i Danmark. Studiet anvender de samme forventede påvirkede leverandører for træ, stål og beton som i BUILD Rapport 2023:22. For træ er det svensk tømmerproduktion, for beton er det dansk produktion, og for stål er det kinesisk produktion. De resterende materialer betragtes som baggrundsmaterialer, så deres sektorer for Danmark i baggrundsdatabase anvendes.

Til baggrundsdatabase anvendes EXIOBASE, som er en hybrid input-outputdatabase med miljøpåvirkninger for både serviceydelser og produkter. Hybrid betyder, at sektorer der omfatter serviceydelser repræsenteres ved monetære enheder og sektorer med produktion af fysiske produkter repræsenteres ved fysiske enheder. En input-outputdatabase forbinder alle landes produktion og handel, som en opgørelse over, hvilke sektorer der køber og sælger mellem hinanden, nationalt såvel som internationalt. Produktionen og handlen er tilknyttet miljøpåvirkninger på sektorniveau for hvert land, hvorved hele den globale økonomi forsøges omfattet. Dermed undgås i et vist omfang, at mindre udledninger frasorteres, som ved en cut-off-tilgang, som ofte anvendes ved databaser med enhedsprocesser. Til gengæld er detaljeringsgraden for hvert enkelt produkt eller serviceydelse forholdsvist højt aggregeret, og dermed kan det reducere repræsentativiteten af data.

Databasen anvender desuden substitution som systemudvidelse i stedet for allokering, når der forekommer biprodukter, som følger principperne for konsekvens LCA. Det samme gør sig gældende ved genanvendelse af produkter ved endt levetid. I nogle tilfælde kan det vise sig som negative miljøpåvirkninger, hvis den undgåede produktion fra genanvendelse har større miljøpåvirkning end selve genanvendelsesprocessen.

Særlig modellering af nogle materialer

Nogle få materialetyper er modelleret på en måde, der i nogen grad divergerer fra deres type og inddeling ved materialestrømme i afsnit 3 og i forhold til BUILD Rapport 2023:22. I det første studie indgik grønt tag og de hurtigt voksende biobaserede materialer halm og ålegræs i kategorien biobaseret, som blev modelleret som træ. I dette studie modelleres halm og ålegræs som en del af isoleringskategorien. Isoleringskategorien er modelleret som mineraluld, uanset om isoleringen af træfiber, papiruld, halm eller ålegræs. Det er en begrænsning i studiet, men vurderes imidlertid stadig at reducere klimapåvirkningen en smule for de bygninger, hvor de indgår, i forhold til tilgangen i BUILD Rapport 2023:22. Denne vurdering skyldes, at træmaterialer bidrog væsentligt til klimapåvirkningen, når det ikke effektivt erstattede beton eller stål.

Derudover skal det specificeres, at produktionsfasen af gips er modelleret med samme kategori i EXIOBASE som produktionsfasen af cement, da databasen mangler detaljering for disse to produkter. Det kan betyde, at klimapåvirkningen for gips overestimeres og samtidig,

at cementdelen i beton underestimeres en smule, afhængigt af hvor meget de to produkter vægtes i emissionsfaktoren. Afslutningsvist indgår grønt tag ikke i LCA'en, da det vil kræve en detaljering af data i baggrundsdata-basen. Balancen mellem tidsaspektet for denne detaljering og det forventede bidrag til klimapåvirkningen ved grønt tag blev ikke vurderet til at være tilstrækkelig fordelagtig i dette studie. Se afsnit 5.3 for nærmere beskrivelse af muligheder for at detaljere baggrundsdata for de førnævnte byggematerialer.

5.1.2 Vurdering af miljøpåvirkninger

Studiet undersøger flere miljøpåvirkningskategorier, hvor der er særligt fokus på klimapåvirkningen i form af globalt opvarmningspotentiale (GWP, fra engelsk global warming potential). Miljøpåvirkningerne fra byggerierne konverteres med LCIA-metoden Stepwise2006 v.1.09 (Weidema *et al.*, 2008; Weidema, 2009). Stepwise2006 anvender IPCC's GWP₁₀₀ karakteriseringsfaktorer for klimapåvirkning, og den benyttede version indeholder emissionsfaktorer fra IPCC 2021. De undersøgte påvirkningskategorier er listet herunder. En beskrivelse af kategorierne kan ses i bilag 3.

- Globalt opvarmningspotentiale (dynamisk korrigeret, ser herunder)
- Respiratoriske uorganiske stoffer
- Økotoksicitet, akvatisk
- Økotoksicitet, terrestrisk
- Forsuring
- Eutrofiering, akvatisk
- Eutrofiering, terrestrisk
- Respiratoriske organiske stoffer
- Fotokemisk ozondannelse, vegetation.
- Ikke-fornybar energi

Klimapåvirkninger i form af drivhusgasemissioner tidskorrigeres i forhold til, hvornår de udledes i løbet af livscyklussen over en 100-årig tidshorizont baseret på faktorer fra Schmidt & Brandão (2013). Det kaldes også dynamisk karakterisering i LCA. En 100-årig tidshorizont er standarden for beregning af klimapåvirkning jævnfør IPCC og de Europæiske standarder EN15978 (2012) og EN15804 (2019) for byggeri, dog uden tidskorrigering. Derimod er tidskorrigering ikke standardpraksis, men en måde hvorpå effekten af midlertidig lagring af biogent kulstof kan vurderes. Ved tidskorrigering svarer 1 kg CO₂-eq drivhusgasudledning til 1 kg CO₂-eq i år nul, mens samme mængde emission forekommende senere vil have en lavere vægtet udledning. Alle drivhusgasemissioner i år 100 eller derefter modelleres med en udledning på nul. På den måde vurderes aktuelle drivhusgasudledninger, tidligt i tidshorizonten, at have større betydning end dem, som forekommer senere. Se nærmere beskrivelse i BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a) og Schmidt & Brandão (2013), samt incitamentskabelse ved dynamisk tilgang i Andersen *et al.* (2024b, 2024c).

5.2 Modelling af klimapåvirkninger fra træ

Ved at inkludere tidskorrigerede drivhusgasemissioner er det muligt også at tage højde for det midlertidigt lagrede biogene kulstof i tømmer. Dette involverer ligeledes anvendelse af en skovmodel til simulering af skovvækst i relation til kulstofoptag- og udledning. Skovmodelleringen foregår som i BUILD Rapport 2023:22 (2023a) med modellen udviklet af De Rosa *et al.* (2016).

For at opsummere antages det, at et nyt træ genplantes efter fældning af et træ til tømmer, hvorefter det genplantede træs kulstofoptag over tid modelleres, indebærende en rotationstid

(væksttid fra plantning til modenhed) på 88 år (Schmidt & Dalgaard, 2016). Andre input til skovmodellen følger værdierne for tempererede skove i IPCC (2006). Dette løbende kulstofoptag korrigeres i forhold til GWP₁₀₀-tidshorizonten, så jo senere optag desto lavere er optageffekten fra det voksende træ. Efter fældning efterlades kviste og grene på skovbunden, som udleder CO₂ efterhånden, som de nedbrydes. Derfor optager det genplantede træ atmosfærisk kulstof, mens efterladte restprodukter nedbrydes, hvilket er en del af skovmodellen.

Ved efterspørgsel af tømmer til træbyggeri skal der tages højde for, at ikke alt rundtræ fra skoven bliver til konstruktionstræ. Det betyder, at øget efterspørgsel på konstruktionstræ medfører restprodukter fra produktionen i savværket. I dette studie fordeler et rundtræ sig på 47% konstruktionstræ og 53% restprodukter (Schmidt & Dalgaard, 2016). Restprodukterne erstatter andre produkter i økonomien, hvilket i dette tilfælde forventes at være på markedet for svensk cellulosestræ. Dermed undgås produktion af svensk cellulosestræ, som også modelleres ved sin egen skovmodel med en rotationstid på 44 år.

5.2.1 Indirekte arealanvendelse (iLUC)

Ved at efterspørge træ følger et behov for land til skov, så dermed øges efterspørgslen også på areal til skovbrug. Da dyrkbare arealer er en begrænset ressource vil en øget efterspørgsel på tømmer medføre, at naturskov omlægges til produktionsskov grundet markedseffekter. Denne indirekte ændring er global og betegnes indirekte arealanvendelse eller iLUC (fra engelsk: indirect land use change). Ifølge IPPC udgør ændret arealanvendelse på verdensplan 11% af globale klimapåvirkninger (IPCC, 2022). Den ændrede indirekte arealanvendelse medfører ændret biogent kulstofopbevaring, når naturskov omdannes til produktionsskov, hvor tilgangen i Schmidt et al. (2015) benyttes til at modellere iLUC. Ligesom for de påvirkede producenter for træ, beton og stål, har modellen vurderet hvilke steder i verden, der kan tilpasse deres udbud af land til dyrkbare formål, som dermed er de steder den indirekte arealanvendelse forekommer. iLUC faktoren for skov til tømmer og til cellulosestræ er ens med BUILD rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a) og kan også ses i bilag 2.

5.3 Mulighed for detaljering af data for byggematerialer

Der er mulighed for at øge specifikationen af data for visse byggeprodukter, som i nærværende projekt er modelleret med en relativ høj aggregering i EXIOBASE. Det har under tidsbegrænsningen ikke været muligt at specificere dem i projektet for nuværende. I dette afsnit beskrives de materialer, der er relevante at specificere, mens en diskussion af betydningen for overordnede konklusioner for hver bygningstype findes i afsnit 7.1. De produkter, som regnes for at være værdifulde at specificere med hensyn til klimapåvirkning, er isolering i form af mineraluld og træbaserede versioner som træfiber og papiruld, gips, samt hurtigt voksende biobaserede materialer som halm og ålegræs. Produktionsfasen af gips modelleres med samme data som produktionsfasen for cement, så gips vil forventeligt have en lavere klimapåvirkning ved denne detaljering.

For de hurtigt voksende biobaserede materialer kan en detaljering inkludere modellering af det tidsafhængige optag af kulstof fra atmosfæren på årsbaseret vækst, som på den måde følger tankegangen for skovmodellering. Da halm er et restprodukt af forskelligartet kornproduktion, skal der forud for detaljeringen af baggrundsdata, foretages en markedsanalyse af, om halm er fuldt udnyttet på markedet, som en del af teorien for konsekvens LCA, hvilket har betydning for inkluderede processer i livscyklussen. Modelleres isolering af halm og ålegræs med tidsafhængigt optag af kulstof, vurderes det umiddelbart at have mest betydelig reduce-

rende ændring i klimapåvirkningen for byggerierne sammenlignet med specificering af mineraluld, papiruld, træfiber og gips. Det begrundes i, at den korte rotationstid sandsynligvis fører til større kulstofoptagelse, end det er tilfældet for træmaterialerne.

6 MILJØMÆSSIGE KONSEKVENSER VED ÆNDRING AF BYGGESKIK

Dette kapitel præsenterer og sammenligner først klima- og miljøpåvirkninger totalt set for bygningstyperne enfamiliehus, etagebolig og kontorer i form af tabeller, da påvirkningskategorierne har forskellige enheder. Tabellerne er fordelt på betragtningsperioderne 50 år, 60 år og 100 år, for hver bygningstype. De viser den totale påvirkning for hver påvirkningskategori for konventionel og træbaseret byggeskik, samt forskellen imellem de to i en tredje kolonne. Til sidst følger et afsnit, der detaljerer og sammenligner materialegrupperes bidrag til klimapåvirkningen for de byggeskikke, fordelt på de nævnte bygningstyper og betragtningsperioder.

6.1 Enfamiliehuse

I tabel 10 øges klimapåvirkningen med 2,97 kg CO₂-eq/m²/år ved et skift til enfamiliehuse i træ med 50 års betragtningsperiode. Eksklusiv iLUC (fra engelsk: indirect land use change) vil træbaseret byggeskik stadig påvirke klimaet med 2,44 kg CO₂-eq/m²/år mere end konventionel. De andre miljøpåvirkninger følger trenden for klimapåvirkning med undtagelse af terrestrisk eutrofiering og ikke-fornybar energi.

TABEL 10. Enfamiliehuse over 50 år: Miljøpåvirkninger per m² per år ved konventionel og træbaseret byggeskik, samt den relative ændring. Ændringen i den sidste kolonne viser, om skiftet til træbaseret byggeskik er større (+) eller mindre (-) i forhold til konventionel. En ændring lavere end to decimaler vises kun med +/- tegn. Værdier i parentes ved globalt opvarmingspotentiale er resultater eksklusiv indirekte arealanvendelse, iLUC.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (50 år)	Træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (50 år)	Ændring fra konventionel til træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (50 år)
Globalt opvarmingspotentiale	kg CO₂-eq.	6,55 (6,39)	9,52 (8,83)	+2,97 (+2,44)
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0,01	0,01	-0,00
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	1,07	2,76	+1,69
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	0,01	0,01	+0,00
Forsuring	m ² UES	0,35	0,38	+0,03
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0,003	0,004	+0,00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0,57	0,53	-0,04
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0,003	0,003	+0,00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*h	35,20	37,01	+1,81
Ikke-fornybar energi	MJ primary	45,85	42,34	-3,51

Flyttes fokus til tabel 11 for enfamiliehuse med 60 års betragtningsperiode stiger klimapåvirkningen ved dette skift til træ med 3,10 kg CO₂-eq/m²/år. Dermed øges forskellen mellem de

to byggeskikke en anelse ved at forlænge betragtningsperioden med 10 år. Forskellen uden iLUC er 2,57 kg CO₂-eq/m²/år og ændrer dermed ikke overordnet tendensen. De absolutte udledninger reduceres for begge byggeskikke, men mest for konventionelt grundet færre emissioner relateret til materialeudskiftning. Samtlige andre miljøpåvirkningskategorier følger tendensen for klimapåvirkning, hvilket er modsat den 50-årige betragtningsperiode, hvor terrestrisk eutrofiering og ikke-fornybar energi blev reduceret ved et skift til træ.

TABEL 11. Enfamiliehuse over 60 år: Miljøpåvirkninger per m² per år ved konventionel og træbaseret byggeskik, samt den relative ændring. Ændringen i den sidste kolonne viser, om skiftet til træbaseret byggeskik er større (+) eller mindre (-) i forhold til konventionel. En ændring lavere end to decimaler vises kun med +/- tegn. Værdier i parentes ved globalt opvarmningspotentiale er resultater eksklusiv indirekte arealanvendelse, iLUC.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (60 år)	Træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (60 år)	Ændring fra konventionel til træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (60 år)
Globalt opvarmningspotentiale	kg CO₂-eq.	6,13 (5,97)	9,23 (8,53)	+3,10 (+2,57)
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0,01	0,01	+0,00
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	0,95	2,55	+1,60
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	0,01	0,01	+0,00
Forsuring	m ² UES	0,33	0,42	+0,09
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0,003	0,004	+0,00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0,54	0,60	+0,06
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0,003	0,004	+0,00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*h	33,41	40,34	+6,93
Ikke-fornybar energi	MJ primary	44,49	51,58	+7,10

For enfamiliehuse med 100 års betragtningsperiode, vist i tabel 12, har træbaseret byggeskik en klimapåvirkning på 2,31 kg CO₂-eq/m²/år større end konventionel. Ændringen er mindre end ved de to andre betragtningsperioder, hvor de absolutte klimapåvirkninger ligeledes reduceres for begge byggeskikke. Uden iLUC-beregning vil ændringen i klimapåvirkning være 1,70 kg CO₂-eq/m²/år. De andre miljøpåvirkningskategorier øges ved et skift til træbaseret byggeskik, hvilket følger tendensen for en 60 års betragtningsperiode, mens 50 års betragtningsperioden divergerer en smule og medfører en reduktion i terrestrisk eutrofiering og ikke-fornybar energi.

TABEL 12. Enfamiliehuse over 100 år: Miljøpåvirkninger per m² per år ved konventionel og træbaseret byggeskik, samt den relative ændring. Ændringen i den sidste kolonne viser, om skiftet til træbaseret byggeskik er større (+) eller mindre (-) i forhold til konventionel. En ændring lavere end to decimaler vises kun med +/- tegn. Værdier i parentes ved globalt opvarmningspotentiale er resultater eksklusiv indirekte arealanvendelse, iLUC.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (100 år)	Træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (100 år)	Ændring fra konventionel til træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (100 år)
Globalt opvarmningspotentiale	kg CO₂-eq.	4,05 (3,87)	6,37 (5,97)	+2,31 (+1,70)
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0,005	0,007	+0,00
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	0,53	1,70	+1,16
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	0,003	0,008	+0,00
Forsuring	m ² UES	0,18	0,30	+0,13
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0,001	0,003	+0,00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0,29	0,44	+0,16
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0,002	0,003	+0,00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*h	17,60	29,41	+11,81
Ikke-fornybar energi	MJ primary	22,93	38,15	+15,22

6.2 Etageboliger

Ved et skift til træ for etageboligerne ved en 50-årig betragtningsperiode ses i tabel 13 en lille forøgelse af klimapåvirkningen på 0,67 kg CO₂-eq/m²/år, omtrent en stigning på 11%. Medtages iLUC ikke i beregningen øges klimapåvirkningen 0,32 kg CO₂-eq/m²/år. Alle andre miljøpåvirkningskategorier oplever til gengæld en reduktion ved et skift til øget træbyggeri.

TABEL 13. Etageboliger over 50 år: Miljøpåvirkninger per m² per år ved konventionel og træbaseret byggeskik, samt den relative ændring. Ændringen i den sidste kolonne viser, om skiftet til træbaseret byggeskik er større (+) eller mindre (-) i forhold til konventionel. En ændring lavere end to decimaler vises kun med +/- tegn. Værdier i parentes ved globalt opvarmningspotentiale er resultater eksklusiv indirekte arealanvendelse, iLUC.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (50 år)	Træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (50 år)	Ændring fra konventionel til træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (50 år)
Globalt opvarmningspotentiale	kg CO₂-eq.	6,12 (6,06)	6,79 (6,38)	+0,67 (+0,32)
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0,02	0,01	-0,01
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	2,08	1,89	-0,18
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	0,01	0,01	-0,01
Forsuring	m ² UES	1,07	0,26	-0,81
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0,007	0,002	-0,00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	1,85	0,40	-1,45
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0,008	0,003	-0,01

Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*h	103,04	27,74	-75,30
Ikke-fornybar energi	MJ primary	132,13	23,74	-108,39

I tabel 14 præsenteres etageboliger ved 60 års betragtningsperiode med en forhøjet klimapåvirkning på 1,66 kg CO₂-eq/m²/år ved øget træbyggeri. Det er relativt mere end for 50 års betragtningsperiode, grundet at konventionelle etageboliger har en mindre absolut klimapåvirkning og de træbaserede større. Årsagen er en højere rate af udskiftede materialer i træbaserede etageboliger ved at forlænge betragtningsperioden med 10 år. Et skift til træ eksklusiv iLUC vil medføre en stigning på 1,30 CO₂-eq/m²/år. De andre miljøpåvirkninger reduceres til gengæld ved et skift til etageboliger i træ.

TABEL 14. Etageboliger over 60 år: Miljøpåvirkninger per m² per år ved konventionel og træbaseret byggeskik, samt den relative ændring. Ændringen i den sidste kolonne viser, om skiftet til træbaseret byggeskik er større (+) eller mindre (-) i forhold til konventionel. En ændring lavere end to decimaler vises kun med +/- tegn. Værdier i parentes ved globalt opvarmingspotentiale er resultater eksklusiv indirekte arealanvendelse, iLUC.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (60 år)	Træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (60år)	Ændring fra konventionel til træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (60 år)
Globalt opvarmingspotentiale	kg CO₂-eq.	5,43 (5,37)	7,09 (6,68)	+1,66 (+1,30)
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0,02	0,01	-0,01
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	1,79	1,77	-0,03
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	0,01	0,01	-0,01
Forsuring	m ² UES	0,87	0,27	-0,61
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0,006	0,002	-0,00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	1,51	0,44	-1,07
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0,007	0,003	-0,00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*h	84,75	30,08	-54,67
Ikke-fornybar energi	MJ primary	107,50	26,41	-81,09

Som det fremgår af tabel 15, stiger Klimapåvirkningen også for etageboliger i træ ved en 100-årig periode med 1,35 kg CO₂-eq/m²/år. Den absolutte klimapåvirkning er betydeligt lavere for begge byggeskikke sammenlignet med de 50- og 60-årige betragtningsperioder. Ændringen i klimapåvirkningen uden iLUC vil være 0,94 CO₂-eq/m²/år højere ved træbaseret byggeskik. Alle andre miljøpåvirkningskategorier reduceres imidlertid ved et skift til øget træ i byggeriet.

TABEL 15. Etageboliger over 100 år: Miljøpåvirkninger per m² per år ved konventionel og træbaseret byggeskik, samt den relative ændring. Ændringen i den sidste kolonne viser, om skiftet til træbaseret byggeskik er større (+) eller mindre (-) i forhold til konventionel. En ændring lavere end to decimaler vises kun med +/- tegn. Værdier i parentes ved globalt opvarmingspotentiale er resultater eksklusiv indirekte arealanvendelse, iLUC.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (100 år)	Træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (100år)	Ændring fra konventionel til træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (100 år)
Globalt opvarmingspotentiale	kg CO₂-eq.	3,34 (3,28)	4,69 (4,22)	+1,35 (+0,94)
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0,01	0,01	-0,00
Økotoksicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	1,17	1,16	-0,01
Økotoksicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	0,005	0,004	-0,00
Forsuring	m ² UES	0,33	0,19	-0,14
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0,002	0,002	-0,00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0,58	0,33	-0,25
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0,003	0,002	-0,00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*h	34,97	21,82	-13,15
Ikke-fornybar energi	MJ primary	38,66	20,41	-18,25

6.3 Kontorer

Kontorer med en 50-årig betragtningsperiode præsenteres i tabel 16. Ved et skift til mere træbaseret byggeskik vokser klimapåvirkningen en smule, nemlig med 0,65 kg CO₂-eq/m²/år. Fratrækkes iLUC fra modellen vil ændringen være 0,31 CO₂-eq/m²/år større ved kontorer i træ. Påvirkningen af akvatisk økotoksicitet øges ligeledes, mens de resterende miljøpåvirkninger reduceres ved at skifte til træbaseret byggeskik.

TABEL 16. Kontorer over 50 år: Miljøpåvirkninger per m² per år ved konventionel og træbaseret byggeskik, samt den relative ændring. Ændringen i den sidste kolonne viser, om skiftet til træbaseret byggeskik er større (+) eller mindre (-) i forhold til konventionel. En ændring lavere end to decimaler vises kun med +/- tegn. Værdier i parentes ved globalt opvarmingspotentiale er resultater eksklusiv indirekte arealanvendelse, iLUC.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (50 år)	Træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (50år)	Ændring fra konventionel til træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (50 år)
Globalt opvarmingspotentiale	kg CO₂-eq.	6,80 (6,78)	7,44 (7,10)	+0,65 (+0,31)
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM2.5-eq	0,01	0,01	-0,00
Økotoksicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	3,60	4,02	+0,42
Økotoksicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	0,01	0,01	-0,00
Forsuring	m ² UES	0,38	0,30	-0,07
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0,003	0,003	-0,00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0,59	0,43	-0,16
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0,004	0,004	-0,00

Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*h	41,74	36,42	-5,31
Ikke-fornybar energi	MJ primary	28,45	14,45	-14,01

Kontorer i træ kontra konventionel byggeskik har, som vist i tabel 17, en lidt højere klimapåvirkning på 0,17 kg CO₂-eq/m²/år ved en 60-årig betragtningsperiode, altså en stigning på ca. 2,8%. Både konventionel og træbaseret byggeskik reducerer deres absolutte klimapåvirkning, mest betydeligt for træbaseret byggeskik. Uden iLUC vil ændringen i klimapåvirkning ved et skift til træ være 0,10 CO₂-eq/m²/år lavere, hvilket dermed ændrer tendensen. Med undtagelse af akvatisk økotoxicitet reduceres de andre miljøpåvirkningskategorier ved et øget brug af træ i kontorer.

TABEL 17. Kontorer over 60 år: Miljøpåvirkninger per m² per år ved konventionel og træbaseret byggeskik, samt den relative ændring. Ændringen i den sidste kolonne viser, om skiftet til træbaseret byggeskik er større (+) eller mindre (-) i forhold til konventionel. En ændring lavere end to decimaler vises kun med +/- tegn. Værdier i parentes ved globalt opvarmingspotentiale er resultater eksklusiv indirekte arealanvendelse, iLUC.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline) Påvirkning / m ² / år (60 år)	Træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (60år)	Ændring fra konventionel til træbaseret byggeskik Påvirkning / m ² / år (60 år)
Globalt opvarmingspotentiale	kg CO₂-eq.	6,03 (6,01)	6,20 (5,91)	+0,17 (-0,10)
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM _{2.5} -eq	0,01	0,01	-0,00
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	3,16	3,35	+0,19
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	0,01	0,01	-0,00
Forsuring	m ² UES	0,34	0,25	-0,09
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0,00	0,00	-0,00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0,52	0,36	-0,16
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0,00	0,00	-0,00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*h	36,95	30,35	-6,60
Ikke-fornybar energi	MJ primary	26,55	12,04	-14,51

I tabel 18 fremgår, at kontorer får en tilnærmelsesvist uændret klimapåvirkning ved et skift til træbyggeri ved en 100-årig betragtningsperiode, nemlig 0,03 kg CO₂-eq/m²/år, hvilket er en ubetydelig forskel i forhold til at drage konklusioner. Den absolutte klimapåvirkning for begge byggeskikke tæt på halveres sammenlignet med de 50 år. Medtages iLUC ikke i modelleringen, vil træbaserede kontorer have en lavere påvirkning på 0,13 CO₂-eq/m²/år, som dermed skifter tendensen. Med undtagelse af akvatisk økotoxicitet reduceres de andre miljøpåvirkninger ved et skift til træ, som det også er tilfældet ved 50 og 60 års betragtningsperioder.

TABEL 18. Kontorer over 100 år: Miljøpåvirkninger per m² per år ved konventionel og træbaseret byggeskik, samt den relative ændring. Ændringen i den sidste kolonne viser, om skiftet til træbaseret byggeskik er større (+) eller mindre (-) i forhold til konventionel. En ændring lavere end to decimaler vises kun med +/- tegn. Værdier i parentes ved globalt opvarmingspotentiale er resultater eksklusiv indirekte arealanvendelse, iLUC.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Konventionel, (baseline)	Træbaseret byggeskik	Ændring fra konventionel til træbaseret byggeskik
--------------------------	-------	--------------------------	----------------------	---

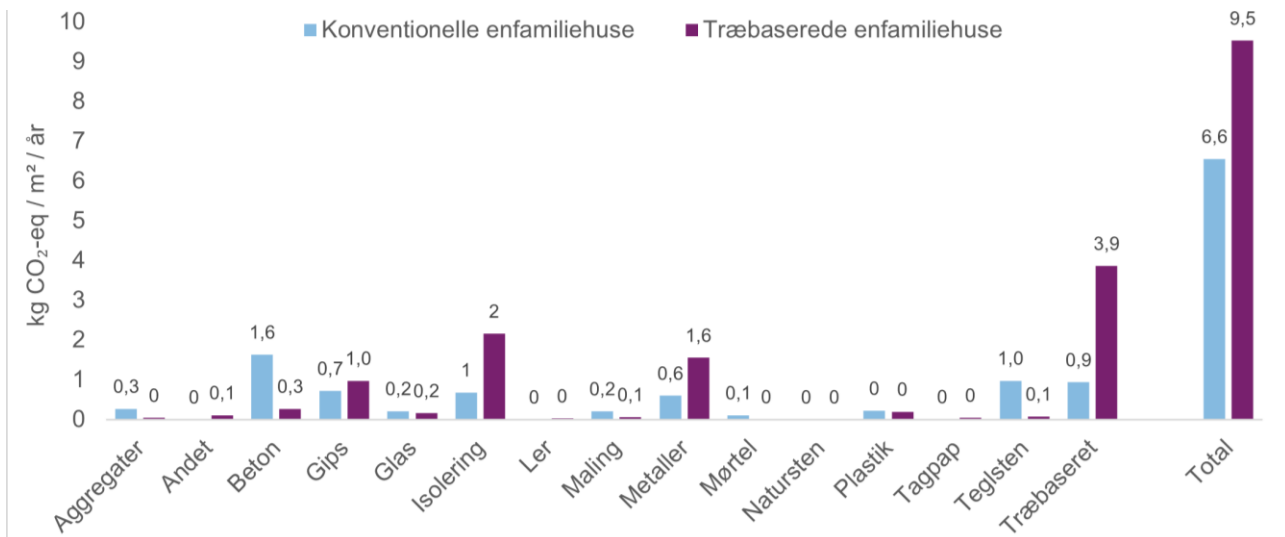
		Påvirkning / m ² / år (100 år)	Påvirkning / m ² / år (100år)	Påvirkning / m ² / år (100 år)
Globalt opvarmningspotentiale	kg CO₂-eq.	3,70 (3,68)	3,72 (3,55)	+0,03 (-0,13)
Respiratoriske uorganiske stoffer	kg PM _{2.5} -eq	0,007	0,005	-0,00
Økotoxicitet, akvatisk	kg TEG-eq w	1,93	2,01	0,08
Økotoxicitet, terrestrisk	kg TEG-eq s	0,005	0,004	-0,00
Forsuring	m ² UES	0,21	0,15	-0,06
Eutrofiering, akvatisk	kg NO ₃ -eq	0,002	0,001	-0,00
Eutrofiering, terrestrisk	m ² UES	0,34	0,22	-0,13
Respiratoriske organiske stoffer	pers*ppm*h	0,002	0,002	-0,00
Fotokemisk ozondannelse, vegetation.	m ² *ppm*h	24,20	18,21	-5,99
Ikke-fornybar energi	MJ primary	18,08	7,22	-10,86

6.4 Klimapåvirkning: Materialebidrag

Dette afsnit viser bidraget til klimapåvirkningen fra materialerne, som indgår i konventionel og træbaseret byggeskik ved de forskellige bygningstyper. Desuden vises den samlede drivhusgasudledning. Underafsnittene er opdelt i bygningstyperne enfamiliehuse, etageboliger og kontorer, hvor klimapåvirkningerne for henholdsvis konventionel og træbaseret byggeskik præsenteres i samme figur for hver af betragtningsperioderne på 50, 60 og 100 år. Klimapåvirkningen er opgjort som kg CO₂-eq/m²/år og inkluderer indirekte arealanvendelse (iLUC). Med hensyn til materialegruppering forekommer to ændringer i dette afsnit: (1) aluminium, kobber, jern, messing, stål og zink samles under en materialegruppe navngivet *metaller*, (2) tekstil samles under materialegruppen *andet*.

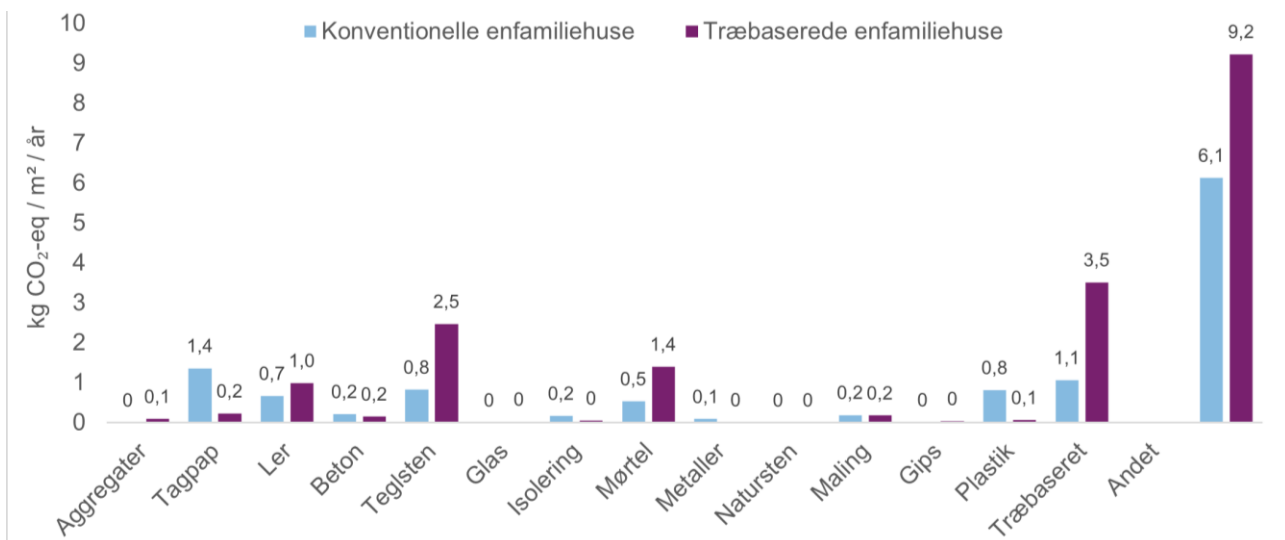
6.4.1 Enfamiliehuse

Materialebidragene til klimapåvirkningen fra konventionelle enfamiliehuse ved en 50-årig betragtningsperiode fremgår på figur 26. Beton har den største andel, herefter teglsten, træ samt lige andel gips og isolering. I træscenariet har træ størst andel i klimapåvirkningen, efterfulgt af materialerne isolering, metaller og gips. Særligt klimapåvirkning fra træ, isolering og metaller øges ved at skifte byggeskik, mens beton og teglsten reduceres. Ved enfamiliehuse i træ skal det tilknyttes, at flere af dem har isolering af halm og ålegræs, hvilket er modelleret som mineraluldsisolering for simplificering (se diskussionen i afsnit 7.1 for uddybning og betydning).



Figur 26. Enfamiliehuse over 50 år. GWP₁₀₀-påvirkning (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelle og træbaserede enfamiliehuse, samt fordeling på materialegrupper bidrag.

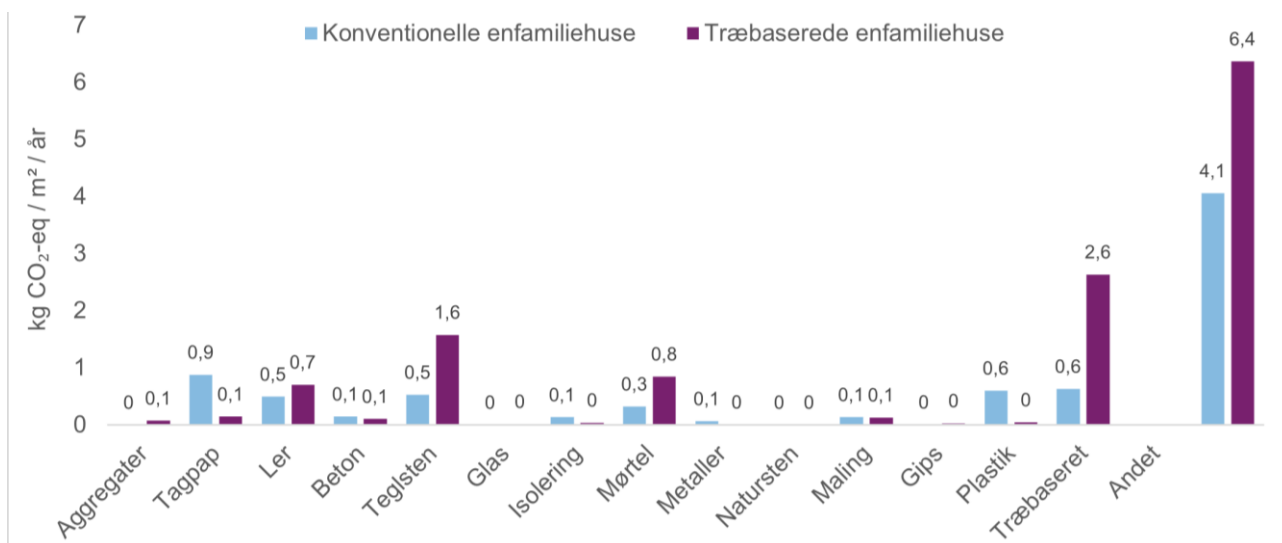
På figur 27 viser beton, teglsten, træ og isolering sig som de fire mest bidragende materialer til klimapåvirkningen for konventionelle enfamiliehuse ved en 60-årig betragtningsperiode. Ved at skifte til træbaseret byggeskik er træmaterialer, isolering, metaller og gips mest bidragende til klimapåvirkningen. Ved et skift til træ reduceres klimapåvirkningen fra beton og teglsten betydeligt, mens træ, isolering og metaller får en central stigning i CO₂-eq emissioner. Generelt reduceres den absolutte klimapåvirkning for de mest udledende materialer i begge byggeskikke ved at forlænge betragtningsperioden fra 50 til 60 år, med undtagelse af isolering og gips. Det skal nævnes, at isolering i nogle af træenfamiliehusene er halm- eller ålegræs-baseret, hvilket er modelleret som mineraluld, for at simplificere studiet.



Figur 27. Enfamiliehuse over 60 år. GWP₁₀₀-påvirkning (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelle og træbaserede enfamiliehuse, samt fordeling på materialegrupper bidrag.

Ved en 100-årig betragtningsperiode viser figur 28 beton, teglsten, træ, gips og isolering som de mest bidragende materialer ved konventionelle enfamiliehuse. For træbaserede enfamiliehuse betyder forlængelsen af betragtningsperioden ligeledes ingen ændringer i de mest bidragende materialer, som stadig er træ, isolering, metaller og gips. Beton og teglsten vil have et reduceret bidrag ved et skift til træ, mens træ, isolering og metaller vil have et betydeligt forøget bidrag. Den absolutte klimapåvirkning for de mest bidragende materialer og samlet

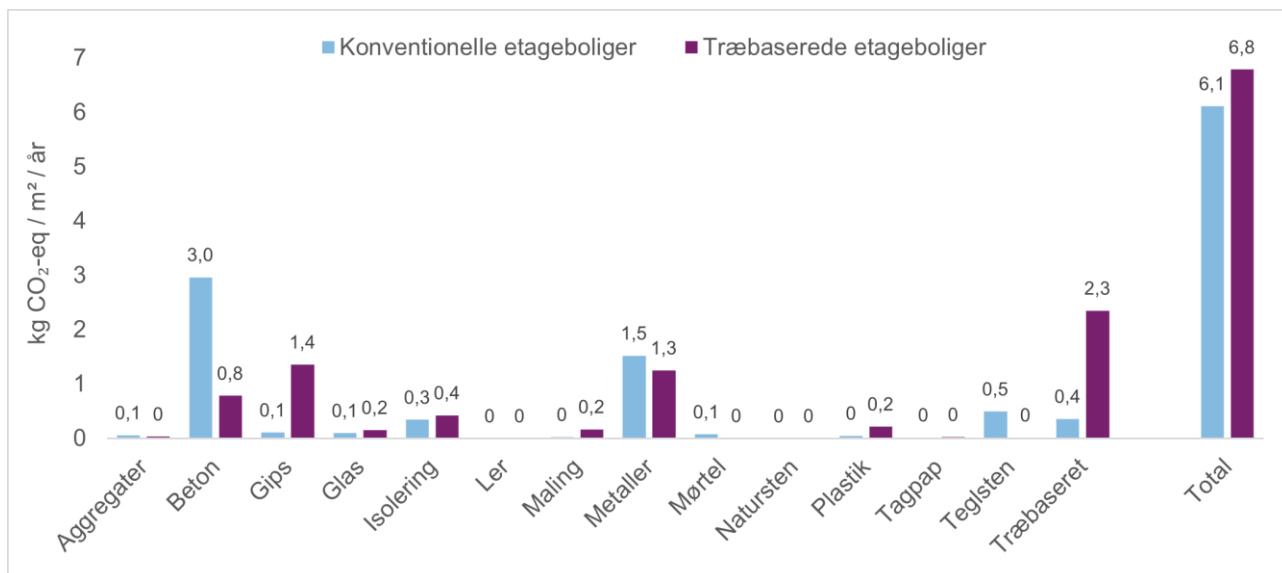
reduceres betydeligt for begge byggeskikke ved at forlænge betragtningsperioden til 100 år sammenlignet med 50 og 60 år. Isolering for nogle af enfamiliehusene i træ har stadig halm- og ålegræsisolering modelleret som mineraluld.



Figur 28. Enfamiliehuse over 100 år. GWP₁₀₀-påvirkning (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelle og træbaserede enfamiliehuse, samt fordeling på materialegrupper bidrag.

6.4.2 Etageboliger

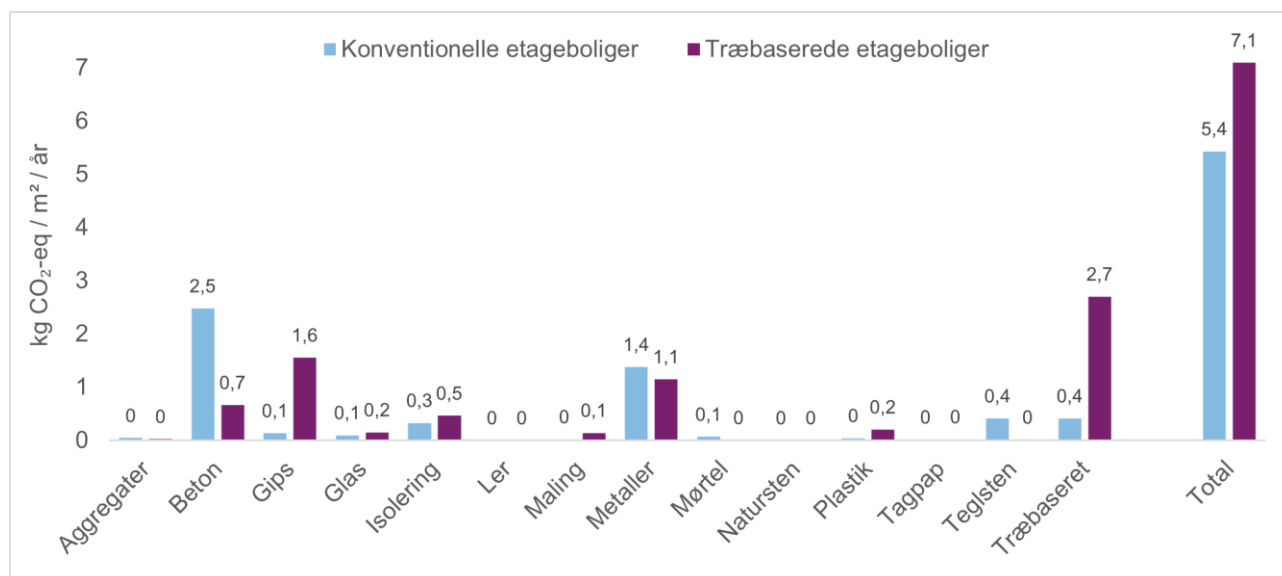
Klimapåvirkningen fra materialer ved konventionelle etageboliger med 50 års betragtningsperiode præsenteres på figur 29, hvoraf beton har det største bidrag efterfulgt af metaller, dog med en halveret klimapåvirkning i forhold til beton. I træscenariet har træmaterialerne størst andel, hvorefter gips og metaller følger. Ved et skift til øget træ i etageboliger højnes klimapåvirkningen fra træ og gips, mens beton reduceres væsentligt, dog ikke i en størrelsesorden, der får de konventionelle etageboliger til at have større klimapåvirkning end træscenariet.



Figur 29. Etageboliger over 50 år. GWP₁₀₀-påvirkning (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelle og træbaserede enfamiliehuse, samt fordeling på materialegrupper bidrag.

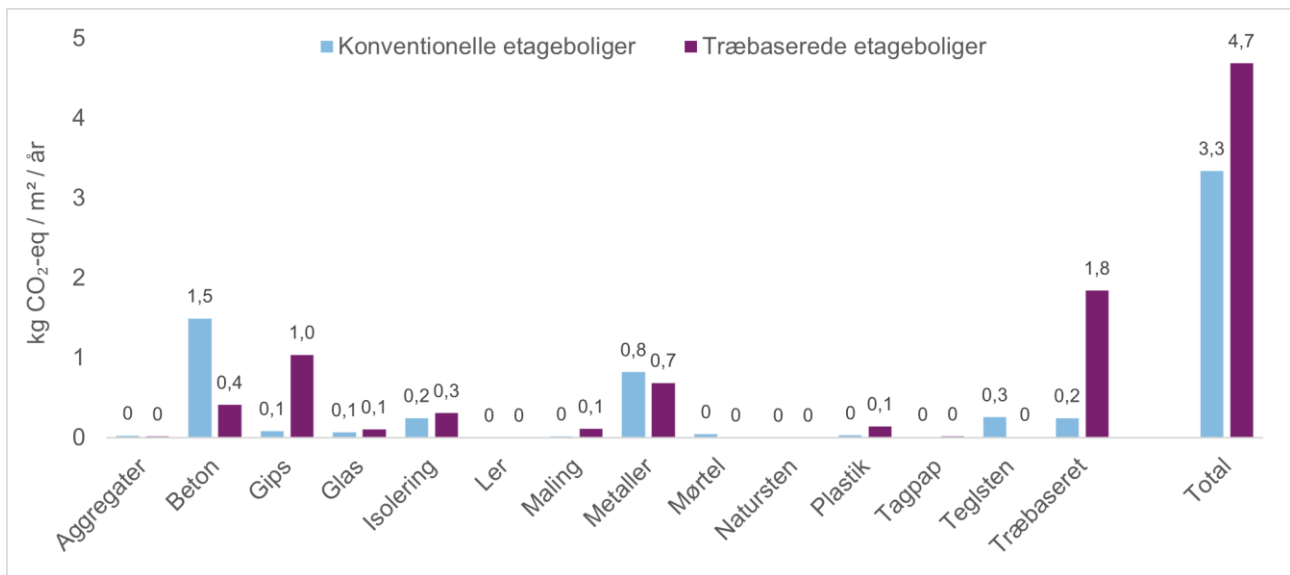
På figur 30 vises det, at beton og metaller er de to mest bidragende materialer til klimapåvirkningen fra konventionelle etageboliger ved en 60-årig betragtningsperiode. For træscenariet

udgør træ, gips og metaller de mest bidragende materialer til klimapåvirkningen. Ved at skifte til træbaserede etageboliger forekommer en væsentlig reduktion i klimapåvirkningen fra beton, men også lidt fra stål. Omvendt øges klimapåvirkningen fra særligt træ- og gipsmaterialer. Metaller får en øget klimapåvirkning for begge byggeskikke ved at forlænge betragtningsperioden fra 50 til 60 år, mens de resterende af de mest bidragende materialer får en lidt lavere absolut klimapåvirkning.



Figur 30. Etageboliger over 60 år. GWP₁₀₀-påvirkning (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelle og træbaserede enfamiliehuse, samt fordeling på materialegrupper bidrag.

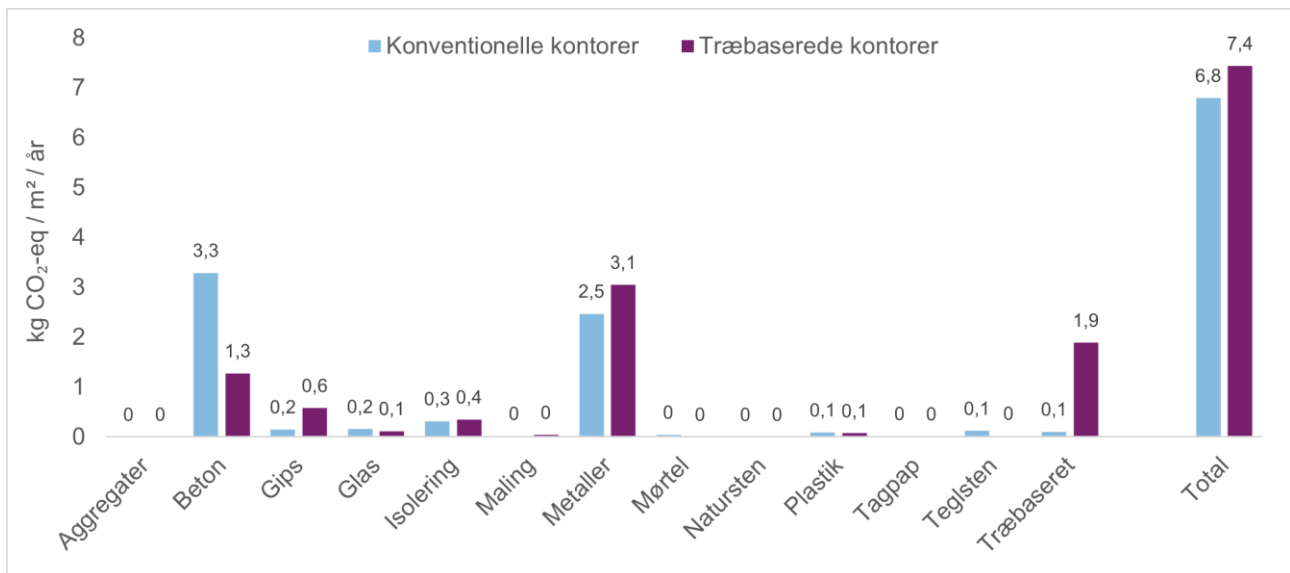
Konventionelle etageboliger ved en 100-årig betragtningsperiode har som præsenteret på figur 31 det største bidrag til klimapåvirkningen fra beton og metaller, med beton havende en faktor to større udledning. For træbaseret byggeskik er træ, gips og metaller de materialer med størst andel af klimapåvirkningen. Ligesom for de to foregående betragtningsperioder forøges klimapåvirkningen fra træ og gips ved et skift til øget brug af træ, mens betons klimapåvirkning reduceres betydeligt. De absolutte klimapåvirkninger, fra de mest bidragende materialer og totalt set for begge byggeskikke, mindskes betragteligt ved at have en længere betragtningsperiode på 100 år frem for 50 og 60 år.



Figur 31. Etageboliger over 100 år. GWP₁₀₀-påvirkning (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelle og træbaserede enfamiliehuse, samt fordeling på materialegruppers bidrag.

6.4.3 Kontorer

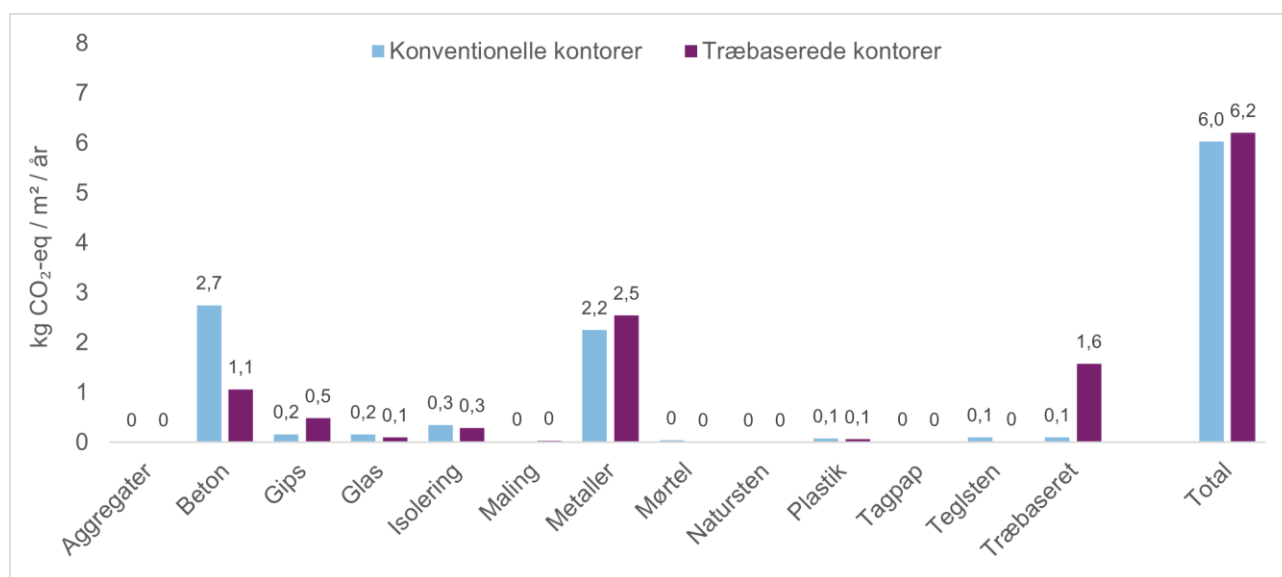
Det kan ses på figur 32, at beton og stål har det største bidrag til klimapåvirkningen fra konventionelle kontorer ved en 50-årig betragtningsperiode. Ved et skift til mere træbaserede kontorer har metaller det største bidrag til klimapåvirkningen, hvorefter træ og beton følger. Klimapåvirkningen fra beton nedskalles dog en del ved et skift træ, men stål og særlig træ øges. Der er dermed en større klimapåvirkning fra stål i trækontorer sammenlignet med konventionelle.



Figur 32. Kontorer over 50 år. GWP₁₀₀-påvirkning (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelle og træbaserede enfamiliehuse, samt fordeling på materialegruppers bidrag.

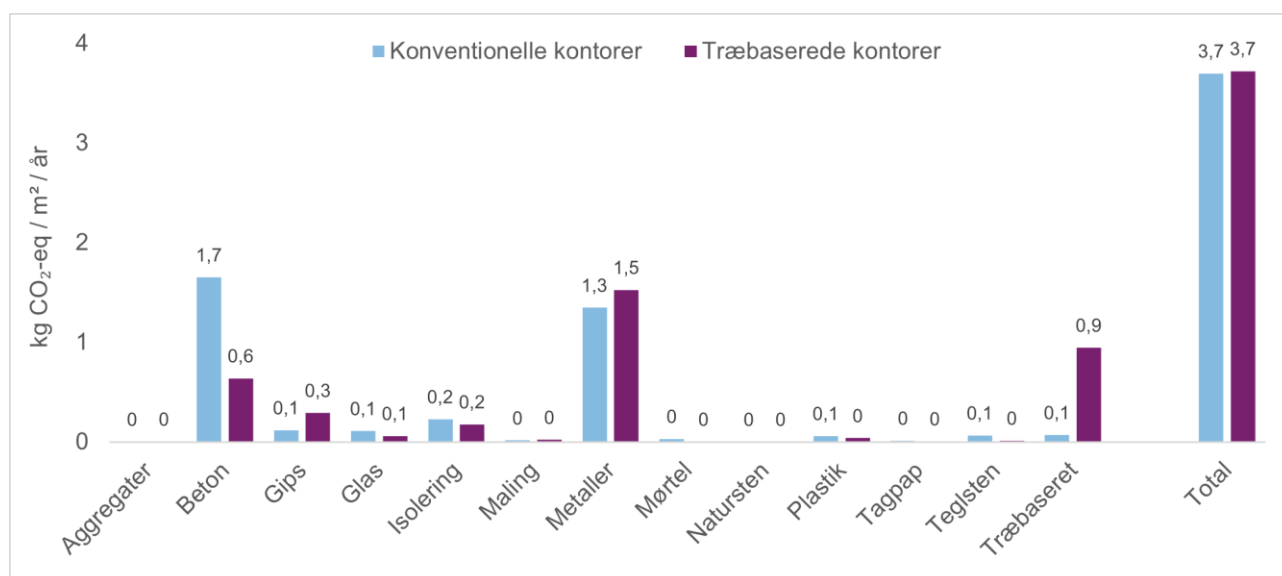
Ved en 60-årig betragtningsperiode for konventionelle kontorer fremstår beton og herefter metaller som de tydeligt mest bidragende materialer til klimapåvirkningen, se figur 33. For træscenariet udgør metaller den største andel, hvorefter træ og beton følger. Ved et skift til træ reduceres klimapåvirkningen fra beton anseeligt, mens metaller får en anelse forøget klimapåvirkning, og træ ser en væsentlig stigning. Den absolutte klimapåvirkning total for begge

byggeskikke og de mest bidragende materialer aftager ved at forlænge betragtningsperioden fra 50 til 60 år.



Figur 33. Kontorer over 60 år. GWP₁₀₀-påvirkning (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelle og træbaserede enfamiliehuse, samt fordeling på materialegruppers bidrag.

Af figur 34 fremgår det, at beton og metaller også er de materialer med størst bidrag til konventionelle kontorers klimapåvirkning ved en 100-årig betragtningsperiode. Ved et skift til mere træbaserede kontorer er metaller efterfulgt af træ og beton også de mest bidragende materialer til klimapåvirkningen. Udledningen fra beton aftager ved et skift til træ, mens stål og særligt træmaterialer har en stigning i deres bidrag til klimapåvirkningen. Metaller udgør en ligeså står andel af klimapåvirkningen for trækontorerne som træ og beton tilsammen. Der ses en relativ stor reduktion af absolutte klimapåvirkninger totalt og for de mest bidragende materialer for begge byggeskikke ved at anvende en 100-årig betragtningsperiode.



Figur 34. Kontorer over 100 år. GWP₁₀₀-påvirkning (kg CO₂-eq/m²/år) ved konventionelle og træbaserede enfamiliehuse, samt fordeling på materialegruppers bidrag.

7 DISKUSSION AF OG KONKLUDERING PÅ RESULTATER

I dette studie er de klima- og miljømæssige påvirkninger ved et skift fra konventionel til træbaseret byggeskik i Danmark undersøgt med konsekvens-LCA. Studiet har overordnet fulgt fremgangsmåden i BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a), dog med et udvidet antal casebygninger for hver bygningstype inkluderende en beskrivelse og vurdering af repræsentativiteten af hver casebygning i forhold til nuværende byggeskik i Danmark. Derudover er studiets anvendte skovmodel evalueret. Nærværende studie benytter også tre betragtningsperioder på 50, 60 og 100 år. Herunder følger først en diskussion af klimapåvirkningen ved de enkelte bygningstyper enfamiliehuse, etageboliger og kontorer, hvorefter en diskussion af LCA-metoders indflydelse på klimapåvirkningen pågår. Det følges op af en perspektivering til BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a) og afslutningsvist anbefalinger til at forbedre studiets indsigter og robusthed.

7.1 Casebygninger

De samlede resultater viste en betydeligt lavere klimapåvirkning for enfamiliehuse ved konventionel byggeskik, som hovedsageligt anvender beton, sammenlignet med et skift til en træbaseret tilgang. Etageboliger og kontorer ved konventionel byggeskik fremstår med en anelse mindre klimapåvirkning end træscenariet, men forskellen er ikke tilstrækkelig til at udlede generelle konklusioner. Herunder diskuteres klimapåvirkningen for casestudierne med særligt fokus på indflydelsen fra materialernes gruppering og modellering.

Enfamiliehuse

For træbaserede enfamiliehuse er træ, isolering og metaller udslagsgivende for den højere klimapåvirkning sammenlignet med konventionel byggeskik. For metaller vides det ikke, om der forekommer mere af dette materiale i træenfamiliehuse eller om træbyggerierne generelt har mere præcise opgjorte mængder for metalprodukter. Det er tidligere set, at mængdeopgørelsen af metal kan variere en del i kvalitet, også blot mellem individuelle træbygninger (Hansen *et al.*, 2023b). Bidraget fra træmaterialer ved træbaseret byggeskik er mere plausibelt, når der er tale om træbyggeri, og da dette har været et særligt fokusområde i dataindsamlingen. Afsnit 7.2 uddyber metoders indflydelse på træmaterialers klimapåvirkning.

Isolerings forøgede klimapåvirkning ved træbaseret byggeskik skal ses i lyset af, at halm, ålegræs og papiruld er modelleret som mineraluld. Dette er en klar begrænsning, hvor en modellering af dynamisk kulstofoptag fra halm og ålegræs kan forventes at give betragteligt lavere klimapåvirkning fra isolering, som fx undersøgt af Pittau *et al.* (Pittau *et al.*, 2018), hvilket særligt skyldes den korte rotationsperiode.

Detaljeret af isoleringsdata vurderes ikke at medføre lavere klimapåvirkning for træbaserede enfamiliehuse i forhold til konventionelle, da kun halvdelen af studiets casebygninger anvender halm- og ålegræsisolering. Klimapåvirkningen vil imidlertid sandsynligvis nærme sig klimapåvirkningen for konventionel byggeskik. Forskellen vurderes da at ville være i et interval, hvor der ikke kan drages generelle konklusioner om den mest klimavenlige byggeskik,

grundet de andre case- og metodespecifikke kompleksiteter og usikkerheder, der diskuteres i dette kapitel.

Dermed er det relevant at detaljere data for isolering lavet af hurtigt voksende biobaserede ressourcer i en kombineret dynamisk og konsekvens-LCA. Særligt, hvis det ønskes at undersøge om enfamiliehusene med disse nye isoleringstyper har væsentligt lavere klimapåvirkninger end de konventionelle pendanter. Enfamiliehusene ved træbaseret byggeskik har desuden en lavere repræsentativitet end de konventionelle. Det betyder, de individuelle træcasebygninger varierer mere i design- og materialeaspekter, og derved er mindre strømlinet end konventionelle. Hermed kan klimapåvirkningen fra individuelle træcasebygninger variere mere end den gennemsnitlige værdi i dette studie, samt i fremtidige enfamiliehusene i træ, sammenlignet med forventningen til de konventionelle enfamiliehusene.

Etageboliger

Etageboliger i træ havde en lidt større klimapåvirkning end konventionel byggeskik vekslede mellem en forskel på 0,67 til 1,66 kg CO₂-eq/m²/år, afhængig af betragtningsperiode. Uden indirekte arealanvendelse (iLUC) ville forskellen være 0,32-1,30 kg CO₂-eq/m²/år. Derfor vurderes det, at en robust konklusion angående den mest klimavenlige byggeskik ikke kan udledes. Det kræver en nærmere undersøgelse af individuelle casebygningers byggeprincipper for begge byggeskikke, for at blive klogere på de byggetilgange med mest reducerende klimapåvirkning. Denne manglende afklaring underbygges af, at de andre miljøpåvirkningskategorier oplever en reducerende effekt ved et skift til træbaserede etageboliger. Dermed bør påvirkningen for alle miljøpåvirkningskategorier også ses i et samlet billede.

At bygge etageboliger i træbaseret byggeskik i stedet for konventionel medfører et forøget klimapåvirkningsbidrag fra træmaterialer, da der er mere tømmer i bygningerne. Gips' klimapåvirkning forøges ligeledes, da mængden af dette også øges som et led i at brandsikre træet i bygningerne. Grundet høj aggregering i baggrundsdataen anvendes samme miljødata for gips som cement. Dette, kombineret med gips' relativt store bidrag til klimapåvirkningen i træbaserede etageboliger, kan betyde, at detaljering af baggrundsdata for gips kan ændre den interne rangering af konventionelle og træbaserede etageboligers samlede klimapåvirkning.

De træbaserede etageboliger har en relativ ens repræsentativitet internt imellem, som ligger ca. midt på ordinalskalaen fra 1 til 5. Konventionelle etageboliger har også en indbyrdes relativ ens repræsentativitet og ligger en smule højere end træscenariet (3-4,5 på skalaen fra 1-5). Derfor kan klimapåvirkningen for træetageboliger igen variere mere end de konventionelle, dog sandsynligvis i mindre grad end for enfamiliehusene.

Kontorer

Kontorer er den bygningstype med mindst absolut forskel i klimapåvirkningen ved et skift til træbaseret byggeskik. Træbaserede kontorer har en lidt større klimapåvirkning end konventionelle og varierer mellem 0,17 til 1,35 kg CO₂-eq/m²/år, afhængig af betragtningsperiode. Medregnes iLUC imidlertid ikke, vil kontorer i træ have en anelse lavere klimapåvirkning end konventionelle ved betragtningsperioderne 60 og 100 år, nemlig 0,1 og 0,13 kg CO₂-eq/m²/år mindre. Forskellen er dog ikke signifikant og kan ligeledes opstå på baggrund af mange andre parametre såsom arkitektur, geometri og det øvrige materialevalg. Da der desuden ikke er konsensus i forskningen, om hvordan iLUC skal beregnes, er klimapåvirkning med og uden iLUC derfor præsenteret her. Med undtagelse af akvatisk økotoxicitet, så reducerer et skift til træbaserede kontorer påvirkningen af de andre miljøindikatorer, og dermed kan en klar konklusion ikke drages, om hvilken byggeskik, der er mest klima- og miljøreducerende.

På materialesiden er der lidt større bidrag til klimapåvirkning fra metal og gips i trækontorerne og betydeligt mere fra træmaterialer, mens beton ikke udgør en betydelig andel. Derfor

kræver det dybere undersøgelse i de individuelle casebygninger, for at forstå deres variation i klimapåvirkning, som ikke kan ses ved et gennemsnit af de relativt få casebygninger anvendt i dette studie. Alternativt kan en betydelig større population af casestudier analyseres, for at reducere usikkerheder ved bygningsdesign og materialevalg, når klimapåvirkningen vurderes for en gennemsnitscasebygning. Dette er også relevant for enfamiliehuse og etageboliger.

Konventionelle kontorer har en høj repræsentativitet, mens de træbaserede kontorer ligger i midten af ordinalskalen med større variationer indbyrdes imellem casebygningerne. Generelt kan det også forventes, at kontorbygningers udformning varierer mere end boliger, uanset byggeskik. Samtidig er enfamiliehuse og kontorer i træ en ny byggeskik i Danmark og må forventes at udvikle sig de kommende år. Det gør det blot vanskeligere at generalisere vedrørende den byggeskik for enfamiliehuse og kontorer med lavest klima- og miljøpåvirkning, hvilket for nuværende sandsynligvis vil være meget projektspecifikt.

7.2 LCA-metoder og -tilgang

Skovmodel, dynamisk LCA og metodetilgangen til biprodukter i konsekvens-LCA påvirker hinanden indbyrdes. To vigtige aspekter, som relaterer sig til modelleringen af biprodukter, er deres vurderede andel af hvert rundtømmertræ, samt den funktion det erstatter på markedet. I dette studie bliver 53% procent af rundtømmer til biprodukter og 47% til det primære træprodukt. Hvis andelen af biprodukter er større, vil klimapåvirkningen fra træ vokse, mens det reduceres, hvis andelen er mindre med alle andre forudsætninger i dette studie bibeholdt uændret. Indflydelsen fra det forhold vil kunne undersøges ved en sensitivitetanalyse.

Udover andelen af biprodukter, vil det være relevant at lave flere scenarier for funktionen, som træs biprodukter erstatter. Andre studier har bl.a. undersøgt forskellige påvirkede energiformer som naturgas (Cordier *et al.*, 2022). Dog er det substitutionseffekten af træmaterialer ved endt levetid, studiet undersøger, hvilket imidlertid kan være relevant for fortrængte funktioner fra biprodukter i produktion af byggetømmer. En begrænsning i modelleringen af træmaterialerne i dette studie er, at de alle antages at oprinde fra den samme trækvalitet og dermed samme rotationsperiode, hvilket kan anses som en konservativ antagelse. Bærende trækonstruktioner og spånplader kan sandsynligvis forventes at blive produceret af træ med forskellig kvalitet og dermed forskellige rotationsperioder. Et aspekt, der kan detaljeres for en mere korrekt modellering, hvilket er relevant givet, at træmaterialer er blandt de mest influerende produkter på klimapåvirkningen i LCA'en.

Metal blev i dette studie identificeret blandt de mest klimapåvirkende materialer. I BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a) blev klimapåvirkningen fra den påvirkede leverandør af stål identificeret til at have indflydelse på de samlede resultater for bygningerne. Derfor er det vigtigt at være opmærksom på opgørelsen af metalmængder i de analyserede casebygninger og potentielt lave scenarier for forskellige påvirkede leverandører. Derudover er der en vis begrænsning i kvaliteten af mængdedata i de individuelle casebygninger vedrørende armeringsstål i beton. Armeringsstål kan potentielt være opgjort forskelligt eller helt eller delvist være inkluderet som en del af betonnemængden, hvormed en del af den faktiske stålmængde ikke medregnes. Det er ikke muligt at sige mere om dette vedrørende studiets involverede casebygninger, men vil være værd at undersøge.

Med hensyn til betragtningsperioderne på 50, 60 og 100 år i kombination med dynamisk LCA viser den 100-årige betragtningsperiode lavere klimapåvirkninger sammenlignet med de to kortere betragtningsperioder. Materialestrømsanalyserne viste imidlertid en større mængde udskiftning desto længere betragtningsperiode, men den ekstra materialemængde fra udskiftninger kan konstateres at blive modvirket af (1) flere år at dele klimapåvirkningen ud på, (2)

at alle materialers klimapåvirkning ved endt levetid ved en 100-årig betragtningsperiode vurderes til nul. Dermed har det betydning om endt levetid, altså betragtningsperioden, er af samme længde som den GWP-tidshorizont, der anvendt i tidskorrigeringen.

7.2.1 Betydning af skovmodel og dynamisk LCA for klimapåvirkning

I BUILD Rapport 2023:22 blev den inkluderede skovmodel i kombination med dynamisk og konsekvens-LCA fundet til at have stor betydning for klimapåvirkningen, essentielt for træbaseret byggeskik. I dette studie blev skovmodellen fra De Rosa et al. (2016) sammenlignet med Andersen et al. (2024c), der benytter Vidar-modellen fra Nord-Larsen et al. (2009). Der blev ikke fundet nogle betydelige forskelle mellem de to skovmodellers kulstofoptag og -afgivelse ved vækst- og nedbrydningsmodelleringen ved samme inputs til skovmodellen. Derfor er det primært opsætningen og input til selve skovmodellerne, der har stor betydning for klimapåvirkningen og ikke valget af de to skovmodeller som sådan. Inputparametre har særlig betydning, når de anvendes med dynamisk LCA, da optags- og afgivelseseffekten afhænger af, hvornår det forekommer i 100-års tidshorizonten for GWP_{100} . De tre vigtige parametre er vækstkurve, nedbrydningskurve og rotationstid, hvor uddybning følger herunder.

Den første vigtige parameter er funktionen for vækstkurven. En tilnærmelsesvis lineær vækstkurve vil have et højere tidskorrigeret kulstofoptag end en sigmoid-vækstkurve, da sigmoid-kurven vil have størst optag i den anden halvdel af en given rotationsperiode, hvor kulstofreduktionseffekten vægtes lavest. Formen og længden af kurven for nedbrydning af trærester i skoven er også af betydning, hvor en kortere nedbrydningstid medfører højere vægtning af kulstofudledning og omvendt. Reaktionstiden for trævæksten er også vigtigt, alt andet lige, da en længere rotationstid betyder, at en større andel af kulstof optages senere i tidshorizonten for GWP_{100} , og dermed tillægges lavere vægt i kombination med dynamisk LCA.

Ved dynamisk LCA i dette studie har den valgte tidshorizont på 100 år for tidskorrigering af drivhusgasemissioner betydning for klimapåvirkningen. Et nyere studie anvender en tilgang med at regne med en løbende tidshorizont for drivhusgasudledninger, der forekommer efter år nul (Ventura, 2022). I dette studie giver den nye tilgang en højere klimapåvirkning generelt set over tidshorizonten.

7.3 Perspektivering til BUILD Rapport 2023:22

Dette studie har blandt sine formål at udvide antallet af casebygninger fra BUILD Rapport 2023:22, der bliver refereret, som det første studie i resten af afsnittet. Det første studie viste større påvirkning fra nogle materialetyper for særligt træbaseret byggeskik, som ikke intuitivt var forventeligt. Det var særligt gældende for den høje klimapåvirkning fra biobaserede materialer i enfamiliehuse i træ og stål i trækontorer. Ved udvidelsen af antallet af casebygninger i dette studie ændres klimapåvirkningen både relativt og absolut sammenlignet med det første studie. Det betyder, at casebygningerne igen viser at have stor betydning for det endelige resultat. En perspektivering og sammenligning følger herunder.

Konventionelle enfamiliehuse har en reduceret klimapåvirkning i dette studie sammenlignet med det første studie. Træbaserede enfamiliehuse har ligeledes en lavere klimapåvirkning i dette studie sammenlignet med det første, hvilket til dels skyldes at grønt tag, halm og ålegræs ikke modelleres som træ og til dels en forventet design- og materialevariation ved involvering af flere casebygninger. Forskellen i klimapåvirkning ved et skift til træbaserede enfamiliehuse er mindre i dette studie sammenlignet med det første, på trods af, at konventionelle enfamiliehuse også har en reduceret absolut klimapåvirkning. Dermed vurderes enfamiliehu-

sene ved begge byggeskikke at ligge inden for en rimelig variation i klimapåvirkning sammenlignet med det første studie, grundet de design- og materialealsidigheder, der kan forekomme ved at anvende flere casebygninger. Overordnet set har det dog betydning at opdele biogene materialer, så dem med kortere rotationstid ikke indgår i samme modellering som dem med lang rotationstid, såsom konstruktionstræ. Ligeledes er der en større variation i metalmængden ved udvidelsen med flere casebygninger for begge byggeskikke, og metaller har stor betydning for klimapåvirkningen. Nærværende og det første studie anskueliggør imidlertid ikke den typiske metalmængde, da den tilgængelige data er usikker på dette punkt.

Der forekommer en væsentlig reduktion i konventionelle etageboligers klimapåvirkning i dette studie sammenlignet med det første, hvor ændringerne ved 60 års betragtningsperiode er fra 9,9 til 5,4 kg CO₂-eq/m²/år og ved 100 år fra 7,5 til 3,3 kg CO₂-eq/m²/år. Træbaserede etageboliger har en forøget klimapåvirkning i dette studie, men det vurderes at ligge inden for det plausible ved at have flere casebygninger. Årsagen til den betydelige reduktion ved konventionelle enfamiliehuse er en væsentligt mindre mængde stål i dette studie med en faktor 2,7-2,8 afhængig af betragtningsperiode, og ligeledes er betonmængden ca. en faktor 1,3 mindre. Der er dermed store variationer i stål mængden, hvilket kan skyldes designvariationer eller en uensartet opgørelse af mængder i de forskellige bygningscases. For etageboliger i træ i dette studie ses en øget påvirkning fra træ og gips sammenlignet med det første studie, mens metaller reduceres. Dermed er det den store ændring i stål mængden for konventionelle etageboliger, der medfører, de har lavere klimapåvirkning end træbaseret byggeskik i dette studie, mens det var omvendt i første studie.

Konventionelle kontorer har en lavere klimapåvirkning i dette studie sammenlignet med det første. Ved den 60-årige betragtningsperiode er forskellen ikke særlig stor og vurderes til at være inden for den forventede variation, mens forskellen er større ved en 100-årig betragtningsperiode. Metallers klimapåvirkning er den primære årsag til den større forskel ved 100 år. For træbaserede kontorer ses til gengæld en væsentlig reduktion i klimapåvirkning i dette studie sammenlignet med det første, da det mindskes fra 8,4 til 6,2 kg CO₂-eq/m²/år ved en 60-årig betragtningsperiode og 6,4 til 3,7 kg CO₂-eq/m²/år ved en 100-årig betragtningsperiode. Det er en betragtelig mindre mængde stål ved udvidelse af antallet af trækontorer, der hovedsageligt forsager den lavere klimapåvirkning. Dermed har konventionelle og træbaserede kontorer ca. lige stor klimapåvirkning i dette studie, hvor store variationer i metalmængder i de to studier viser sig som en betydelig faktor for vurderingen af et skift fra konventionel til træbaseret byggeskik.

7.4 Anbefalinger til at forbedre studiets robusthed

Dette studie viser de komplekse aspekter, der er ved at modellere og vurdere klima- og miljøpåvirkninger ved et skift i dansk byggeskik fra konventionelt til træbaseret. Dermed fremgår der også på nuværende tidspunkt mange metodiske usikkerheder og kompleksiteter. Dette gør, at der ikke kan drages en endelig, overordnet konklusion for konventionel og træbaseret byggeskik. Da studiet her ændrer de absolutte og relative klimapåvirkningsresultater og -konklusioner sammenlignet med BUILD Rapport 2023:22 (Hansen *et al.*, 2023a), vil der være tre overordnede retninger til at forbedre studiets indsigter og robusthed.

Den ene retning er en dybere analyse af de individuelle casebygninger for at undersøge, hvilke materialefunktioner og byggeprincipper, der giver den laveste klimapåvirkning. Formålet vil da være at forstå, hvilke arkitektur- og materialetilgange inden for hver eller begge byggeskikke, der er relevante for fremtidige bæredygtige strategier for dansk byggeri. Denne retning bør inkludere detaljering af baggrundsdata for hurtigt voksende biobaserede isolerings-

materialer og gips, samt en højere opdelingsgrad af træprodukter. Ligeledes bør datakvaliteten og forholdet mellem armeringsstål og beton for casestudierne undersøges nærmere, da metaller har stor betydning for klimapåvirkningen ved begge byggeskikke.

Den anden retning vil være at fortsætte studiet med en væsentligt større population af casebygninger fx ca. 200+ som det gøres i BUILD Rapport 2023:21 (Tozan *et al.*, 2023). Denne retning vil dog for indøvende have en begrænsning i ulige antal casebygninger for forskellige bygningstyper ved konventionel og træbaseret byggeskik. Særligt træbaserede kontorer og til dels enfamiliehuse har ikke et kritisk antal til statistikbaserede analyser med BUILD's nuværende tilgængelige casebygninger. Ved denne retning vil formålet være at forstå de klima- og miljømæssige effekter ved et skift til træbaseret byggeskik med nuværende byggetilgang. Repræsentativiteten for nuværende byggeskik vil da være den størst muligt tilgængelige med denne retning. Ud fra nærværende studie mangler der især yderligere viden om træbaseret byggeskik for alle bygningstyper grundet lave repræsentativitetsvurderinger, mens konventionelle bygningstyper har en højere repræsentativitet, dog stadig med betydelige variationer i særligt stålmængder. Sidstnævnte kan, som tidligere nævnt, også skyldes kvaliteten af mængdeopgørelsen af armeringsstål. Ved at gå i denne retning med en betydeligt større population af casebygninger reduceres usikkerheder og variationer, og fremmes viden, om arkitektur, konstruktionsprincipper og materialevalg, hvilket vil indebære at klimapåvirkningen for en gennemsnitsbygning vil være så repræsentativ som mulig.

Den tredje retning er et fokus på scenarieudvikling for de mest indflydelsesrige metodeaspekter ved skovmodellering samt dynamisk og konsekvens-LCA. Scenarier er en essentiel komponent i håndtering af usikkerheder i konsekvens-LCA. Scenarieudviklingen vil være med formålet om at forstå det mulige udfald for klima- og miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik i fremtiden, hvor fremtidsanalysens iboende usikkerhed dermed behandles. De første relevante scenarier omfatter mulige alternativer for erstattet produktion fra træs biprodukter og mulige påvirkede leverandører for stål. Vedrørende skovmodellen vil scenarier for forskellige relevante rotationsperioder for træ være interessant. I den forbindelse ville scenarier for vækstfunktioner i form af lineær og sigmoid være interessant med hensyn til deres betydning for den endelige klimapåvirkning, når funktionerne kobles med dynamisk LCA.

De tre retninger kan udføres separat, en ad gangen, men ville i sidste ende kombineres til en samlet stor analyse. Ligeledes vil det være muligt at kombinere nogle af delementerne i de tre retninger, hvis en kombineret undersøgelse og formål ønskes undersøgt nærmere.

Afslutningsvist kan en undersøgelse alternativt fokusere på at anvende modellering af biogent kulstof ved metoden -1/+1 som i standarden for bygningsbaserede LCA, EN15978 (2012), i stedet for dynamisk LCA. Dermed anvendes ens karakteriseringsfaktorer for drivhusgasser uanset tidspunktet for emissionen, og biogent kulstof modelleres klimaneutral over hele livscyklussen. Formålet vil her være at forstå den nuværende LCA-tilgang for byggesektoren i et perspektiv rettet mere mod konsekvens-LCA, hvor usikkerheder til biogent kulstof i større grad tages ud.

REFERENCER

- Andersen, C.E., Hoxha, E., Rasmussen, F.N., Sørensen, C.G. and Birgisdóttir, H. (2024a) "Evaluating the environmental performance of 45 real-life wooden buildings: A comprehensive analysis of low-impact construction practices," *Build Environ*, 250. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111201111201>.
- Andersen, C.E., Hoxha, E., Rasmussen, F.N., Sørensen, C.G., and Birgisdóttir, H., (2024b) "Temporal considerations in life cycle assessments of wooden buildings: Implications for design incentives," *J Clean Prod*, 445. doi:10.1016/j.jclepro.2024.141260.
- Andersen, C.E., Rasmussen, F.N., Habert, G. and Birgisdóttir, H. (2021) "Embodied GHG Emissions of Wooden Buildings—Challenges of Biogenic Carbon Accounting in Current LCA Methods," *Front Built Environ*. Frontiers Media S.A. doi:10.3389/fbuil.2021.729096.
- Andersen, C.E., Stupak, I., Hoxha, E., Raulund-Rasmussen, K., and Birgisdóttir, H., (2024c) "Forest dynamics in LCA: Integrating carbon fluxes from forest management systems into the life cycle assessment of a building," *Resour Conserv Recycl*, 209. doi:10.1016/j.resconrec.2024.107805.
- Andersen, C.M.E., Garnow, A., Sørensen, C.G., *et al.* (2023) *BUILD Rapport 2023:10 - Klimapåvirkning fra: 45 Træbyggerier, Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. Available at: <https://vbn.aau.dk/da/publications/klimapåvirkning-fra-45-træbyggerier>.
- Andersen, R. and Negendahl, K. (2023) "Lifespan prediction of existing building typologies," *Journal of Building Engineering*, 65(December 2022), p. 105696. doi:10.1016/j.jobe.2022.105696.
- 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*, 3(4), pp. 269–276. doi:10.1038/s41893-019-0462-4.
- Consequential-LCA (2021) *Why and when?* Available at: <https://consequential-lca.org/clca/why-and-when/> (Accessed: March 24, 2023).
- Cordier, S., Blanchet, P., Robichaud, F. and Amor, B. (2022) "Dynamic LCA of the increased use of wood in buildings and its consequences: Integration of CO₂ sequestration and material substitutions," *Build Environ*, 226. doi:10.1016/j.buildenv.2022.109695.
- Danmarks Statistik (2024) *BYGB60*. Available at: www.dst.dk (Accessed: November 26, 2024).
- 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/>.
- EN 15804:2019 (2019) "EN 15804:2019, Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products."
- EN 15978:2011 (2012) "EN 15978:2011, Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method."
- Flügger (2021) "Produktblad - Interior High Finish 5."
- 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., Andersen, C.A., Birgisdottir, H., *et al.* (2023a) *BUILD Rapport 2023:22 - Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik: Indledende studie af miljøpåvirkninger ved fortsættelse af nuværende byggeskik og ved en ændring til øget brug af træ, BUILD Rapport.*
- Hansen, R.N., Hoxha, E., Rasmussen, F.N., *et al.* (2023b) "Enabling rapid prediction of quantities to accelerate LCA for decision support in the early building design," *Journal of Building Engineering*, 76(June). doi:10.1016/j.job.2023.106974.
- IPCC (2006) "Chapter 4 forest land 2006," *Forestry*, 4(2), pp. 1–29. doi:10.1016/j.phrs.2011.03.002.
- IPCC (2022) *Summary for Policymakers Sixth Assessment Report (WG3)*, Cambridge University Press. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.
- Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., *et al.* (2003) "IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology," *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(6), pp. 324–330. doi:10.1007/BF02978505/METRICS.
- McKinsey (2019) *New Plastics Economy: A RESEARCH, INNOVATION AND BUSINESS OPPORTUNITY FOR DENMARK.*
- Miljøstyrelsen (2020) *Affaldsstatistik 2020.*
- Nord-larsen, T., Meilby, H., Johannsen, V.K. and Skovsgaard, J.P. (2009) *Development of Vidar – a growth model for Danish forest tree species.*
- Nord-Larsen, T. and Pretzsch, H. (2017) "Biomass production dynamics for common forest tree species in Denmark – Evaluation of a common garden experiment after 50 yrs of measurements," *For Ecol Manage*, 400, pp. 645–654. doi:10.1016/J.FORECO.2017.06.035.
- Pittau, F., Krause, F., Lumia, G. and Habert, G. (2018) "Fast-growing bio-based materials as an opportunity for storing carbon in exterior walls," *Build Environ*, 129, pp. 117–129. doi:10.1016/j.buildenv.2017.12.006.
- Potting, J.J. and Hauschild, M.Z. (2005) *Spatial differentiation in Life Cycle impact assessment - The EDIP2003 methodology*, Danish Environmental Protection Agency.
- Regeringens klimapartnerskaber (2020) *Anbefalinger til regeringen fra Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren.*
- De Rosa, M., Schmidt, J., Brandão, M. and Pizzol, M. (2016) "A flexible parametric model for a balanced account of forest carbon fluxes in LCA," *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(2), pp. 172–184. doi:10.1007/S11367-016-1148-Z.
- Schmidt, J.H. and Brandao, M. (2013) *LCA screening of biofuels - iLUC, biomass manipulation and soil carbon, Concito - Danmarks Grønne Tænketaenk.* Available at: https://concito.dk/files/dokumenter/artikler/biomasse_bilag1_lcascreening.pdf.
- Schmidt, J.H. and Dalgaard, Randi. (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.
- Tozan, B., Olsen, O., Sørensen, C., *et al.* (2023) *BUILD Rapport 2023:21 - Klimapåvirkning fra nybyggeri: Analytisk grundlag til fastlæggelse af ny LCA baseret grænseværdi for bygningers klimapåvirkning fra 2025.*

Ventura, A. (2022) "Conceptual issue of the dynamic GWP indicator and solution," *International Journal of Life Cycle Assessment*, 28, pp. 788–799. doi:10.1007/s11367-022-02028-xi.

Weidema, B.P. (2009) "Using the budget constraint to monetarise impact assessment results," *Ecological Economics*, 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 - European Commission. doi:10.2791/38863.

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 – LIVSCYKLUS-INVENTORY FOR MATERIALEMÆNGDER FOR DE GENNEMSNITLIGE CASEBYGNINGER

Konventionel byggeskik

Enfamiliehuse

TABEL 19. Enfamiliehuse, konventionel: Inventory med materialemængder for et gennemsnitligt enfamiliehus baseret på seks casebygninger for konventionel byggeskik i kg/m².

Bygningsdele	Materialer	Livscyklusmodul	Mængde [kg/m ²]
Ydervæg	Stål		2,093053109
Ydervæg	Beton		103,8132151
Ydervæg	Mørtel		10,47398978
Ydervæg	Gips		7,213911991
Ydervæg	Brændt ler		134,0385005
Ydervæg	Plastik		0,019682551
Ydervæg	Isolering		4,203829328
Ydervæg	Maling		0,441848967
Ydervæg	Træbaseret		0,155865028
Ydervæg	Glas		0,074993484
Tag	Træbaseret		23,93652271
Tag	Isolering		25,27973837
Tag	Tagpap		1,570609089
Tag	Brændt ler		32,21197976
Tag	Plastik		0,18377031
Tag	Stål		0,014369245
Tag	Gips	Produktionsfase, A1-A3	17,74095589
Tag	Maling		0,434806346
Tag	Beton		20,97438548
Terrændæk	Beton		288,1578758
Terrændæk	Plastik		0,982992063
Terrændæk	Isolering		7,841617203
Terrændæk	Aggregater		225,8999994
Terrændæk	Brændt ler		12,97457175
Terrændæk	Træbaseret		4,991342725
Terrændæk	Mørtel		1,037024513
Terrændæk	Stål		3,112777025
Terrændæk	Tagpap		0,291666667
Indervæg	Brændt ler		3,849062134
Indervæg	Mørtel		2,685278902
Indervæg	Gips		11,83331269
Indervæg	Træbaseret		0,326188441

Indervæg	Stål		0,16763418
Indervæg	Maling		0,684923249
Indervæg	Isolering		0,304783016
Indervæg	Beton		24,88676676
Indervæg	Plastik		0,017535912
Indervæg	Glas		0,830099427
Indervæg	Aluminium		0,01055256
Fundament	Beton		218,2527198
Fundament	Isolering		0,592840374
Fundament	Stål		1,917200394
Fundament	Mørtel		0,830839828
Etagedæk	Beton		1,676470588
Etagedæk	Træbaseret		0,96514277
Vinduer & dører	Glas		6,655596422
Vinduer & dører	Træbaseret	Produktionsfase, A1-A3	4,646541712
Vinduer & dører	Aluminium		1,029989596
Vinduer & dører	Stål		0,077661289
Vinduer & dører	Maling		0,020880069
Vinduer & dører	Plastik		0,223345368
Dræning	Plastik		0,146026127
Dræning	Aluminium		0,104216444
Søjler & Bjælker	Stål		0,438840751
Søjler & Bjælker	Træbaseret		0,196791897
Tekniske installationer	Plastik		1,368526911
Tekniske installationer	Stål		1,797495652
Tekniske installationer	Isolering		0,009602057
Solcellepanel	Glas		0,064216216
Solcellepanel	Stål		0,016054054
<hr/>			
Ydervæg	Gips		0,614696133
Ydervæg	Maling		1,3255469
Tag	Plastik		0,109371771
Tag	Maling		1,304419038
Indervæg	Maling		2,054769746
Indervæg	Glas		0,711879018
Indervæg	Aluminium		0,002177512
Vinduer & dører	Glas		6,215951814
Vinduer & dører	Træbaseret		0,853700998
Vinduer & dører	Maling	Udskiftning, B4	0,01086407
Vinduer & dører	Plastik	(50-årig betragtningsperiode)	0,212792432
Dræning	Plastik		0,146026127
Dræning	Aluminium		0,049422973
Tekniske installationer	Plastik		1,368526911
Tekniske installationer	Stål		0,943498558
Solcellepanel	Glas		0,064216216
Solcellepanel	Stål		0,016054054
<hr/>			
Ydervæg	Stål		0,0000000
Ydervæg	Beton	Udskiftning, B4	0,0000000
Ydervæg	Mørtel	(60-årig betragtningsperiode)	0,0000000

Ydervæg	Gips		2,2143464
Ydervæg	Brændt ler		0,0000000
Ydervæg	Plastik		0,0000000
Ydervæg	Isolering		1,0227775
Ydervæg	Maling		1,3255469
Ydervæg	Træbaseret		0,0000000
Ydervæg	Glas		0,0000000
Tag	Træbaseret		4,9978499
Tag	Isolering		25,2660876
Tag	Tagpap		0,0000000
Tag	Brændt ler		0,0000000
Tag	Plastik		0,1505543
Tag	Stål		0,0000000
Tag	Gips		1,7961556
Tag	Maling		1,3044190
Tag	Beton		0,0000000
Terrændæk	Beton		0,0000000
Terrændæk	Plastik		0,0000000
Terrændæk	Isolering		2,3286356
Terrændæk	Aggregater		0,0000000
Terrændæk	Brændt ler	Udskiftning, B4	0,0000000
Terrændæk	Træbaseret	(60-årig betragtningsperiode)	0,0000000
Terrændæk	Mørtel		0,0000000
Terrændæk	Stål		0,0000000
Terrændæk	Tagpap		0,0000000
Indervæg	Brændt ler		0,0000000
Indervæg	Mørtel		0,0311284
Indervæg	Gips		3,9519520
Indervæg	Træbaseret		0,0000000
Indervæg	Stål		0,0000000
Indervæg	Maling		2,0547697
Indervæg	Isolering		0,3047830
Indervæg	Beton		0,0000000
Indervæg	Plastik		0,0000000
Indervæg	Glas		0,7118790
Indervæg	Aluminium		0,0021775
Fundament	Beton		0,0000000
Fundament	Isolering		0,5928404
Fundament	Stål		0,0000000
Fundament	Mørtel		0,0000000
Etagedæk	Beton		0,0000000
Etagedæk	Træbaseret		0,0000000
Vinduer & dører	Glas		10,8648192
Vinduer & dører	Træbaseret		4,4443803
Vinduer & dører	Aluminium		0,4720114
Vinduer & dører	Stål		0,0729599
Vinduer & dører	Maling		0,0242416
Vinduer & dører	Plastik		0,4361378

Dræning	Plastik		0,1460261
Dræning	Aluminium		0,1042164
Søjler & Bjælker	Stål		0,0000000
Søjler & Bjælker	Træbaseret		0,0000000
Tekniske installationer	Plastik	Udskiftning, B4	1,3685269
Tekniske installationer	Stål	(60-årig betragtningsperiode)	1,6756604
Tekniske installationer	Isolering		0,0096021
Solcellepanel	Glas		0,1284324
Solcellepanel	Stål		0,0321081
<hr/>			
Ydervæg	Beton		70,74012445
Ydervæg	Mørtel		10,47398978
Ydervæg	Gips		7,828608124
Ydervæg	Brændt ler		94,55532634
Ydervæg	Isolering		4,203829328
Ydervæg	Maling		2,6510938
Ydervæg	Glas		0,074993484
Tag	Træbaseret		7,739554027
Tag	Isolering		25,27973837
Tag	Tagpap		1,570609089
Tag	Brændt ler		32,21197976
Tag	Plastik		0,259926086
Tag	Gips		14,45931497
Tag	Maling		2,608838075
Tag	Beton		20,97438548
Terrændæk	Beton		63,41911385
Terrændæk	Plastik		0,940408784
Terrændæk	Isolering		7,841617203
Terrændæk	Brændt ler		9,775936925
Terrændæk	Træbaseret	Udskiftning, B4	4,893764086
Terrændæk	Mørtel	(100-årig betragtningsperiode)	0,863937648
Terrændæk	Tagpap		0,291666667
Indervæg	Brændt ler		1,080679781
Indervæg	Mørtel		0,206722006
Indervæg	Gips		11,83331269
Indervæg	Træbaseret		0,092070902
Indervæg	Maling		4,109539492
Indervæg	Isolering		0,304783016
Indervæg	Beton		0,152694342
Indervæg	Glas		1,541978445
Indervæg	Aluminium		0,014907584
Fundament	Beton		7,169247201
Fundament	Isolering		0,592840374
Fundament	Mørtel		0,032451519
Etagedæk	Træbaseret		0,96514277
Vinduer & dører	Glas		17,08077101
Vinduer & dører	Træbaseret		5,298081338
Vinduer & dører	Aluminium		1,029989596
Vinduer & dører	Stål		0,077661289

Vinduer & dører	Maling		0,035105659
Vinduer & dører	Plastik		0,648930232
Dræning	Plastik		0,37855582
Dræning	Aluminium		0,20306239
Tekniske installationer	Plastik	Udskiftning, B4	2,737053823
Tekniske installationer	Stål	(100-årig betragtningsperiode)	3,762844698
Tekniske installationer	Isolering		0,009602057
Solcellepanel	Glas		0,192648649
Solcellepanel	Stål		0,048162162

Etageboliger

TABEL 20. Etageboliger, konventionel: Inventory med mængder for en gennemsnitlig etagebolig baseret på seks casebygninger for konventionel byggeskik i kg/m².

Bygningsdele	Materialer	Livscyklusmodul	Mængde [kg/m ²]
Ydervæg	Stål		3,1120
Ydervæg	Beton		267,1136
Ydervæg	Isolering		12,0716
Ydervæg	Mørtel		7,0872
Ydervæg	Brændt ler		78,9054
Ydervæg	Tagpap		0,0821
Ydervæg	Aluminium		0,1278
Ydervæg	Maling		0,0167
Ydervæg	Plastik		0,0231
Ydervæg	Gips		4,0960
Ydervæg	Træbaseret		0,1679
Ydervæg	Glas		0,1314
Ydervæg	Natursten		0,6574
Tag	Stål		0,7872
Tag	Beton		72,0826
Tag	Isolering		2,7770
Tag	Tagpap		2,3681
Tag	Plastik		0,0396
Tag	Brændt ler		0,7914
Tag	Træbaseret		0,0544
Tag	Aluminium		0,0062
Terrændæk	Beton	Produktionsfase, A1-A3	45,3864
Terrændæk	Isolering		0,9619
Terrændæk	Stål		2,3979
Terrændæk	Plastik		0,0119
Terrændæk	Aggregater		3,3904
Terrændæk	Træbaseret		0,8048
Terrændæk	Brændt ler		0,2366
Terrændæk	Mørtel		0,0434
Indervæg	Glas		0,1414
Indervæg	Stål		1,5623
Indervæg	Beton		310,1327
Indervæg	Brændt ler		10,5324
Indervæg	Isolering		0,0782
Indervæg	Mørtel		0,7839
Indervæg	Træbaseret		0,0295
Indervæg	Gips		0,9124
Indervæg	Maling		0,1222
Indervæg	Plastik		0,0360
Fundament	Beton		166,7215
Fundament	Stål		2,6084
Fundament	Isolering		0,0595
Fundament	Aggregater		2,4502

Etagedæk	Stål		11,9451
Etagedæk	Beton		312,9018
Etagedæk	Isolering		2,2103
Etagedæk	Træbaseret		4,4926
Etagedæk	Aggregater		42,3623
Etagedæk	Brændt ler		1,6377
Etagedæk	Mørtel		0,1363
Etagedæk	Plastik		0,0392
Etagedæk	Gips		0,4982
Etagedæk	Maling		0,0230
Etagedæk	Tagpap		0,0010
Etagedæk	Glas		0,0034
Etagedæk	Aluminium		0,0127
Vinduer & dører	Isolering		0,0002
Vinduer & dører	Aluminium		1,3832
Vinduer & dører	Træbaseret		3,2498
Vinduer & dører	Glas		3,1373
Vinduer & dører	Maling		0,0599
Vinduer & dører	Stål		0,0887
Vinduer & dører	Mørtel		1,5029
Tekniske installationer	Plastik		0,4337
Tekniske installationer	Stål	Produktionsfase, A1-A3	1,8731
Tekniske installationer	Isolering		0,0031
Tekniske installationer	Aluminium		0,0668
Solcellepanel	Glas		0,0829
Solcellepanel	Stål		0,0564
Dræning	Plastik		0,0202
Dræning	Stål		0,0000
Søjler & Bjælker	Stål		0,4148
Søjler & Bjælker	Beton		10,2228
Søjler & Bjælker	Træbaseret		0,0975
Søjler & Bjælker	Maling		0,0208
Søjler & Bjælker	Mørtel		0,6925
Søjler & Bjælker	Gips		0,0407
Balkon	Træbaseret		0,1441
Balkon	Stål		2,8441
Balkon	Beton		4,0004
Balkon	Glas		0,6347
Trappe	Stål		0,4510
Trappe	Beton		15,0997
Trappe	Gips		0,0031
Trappe	Træbaseret		0,0225
Andet	Træbaseret		3,2286
Andet	Stål		0,0230
Andet	Brændt ler		0,5559
Andet	Mørtel		0,2747
Andet	Plastik		0,0220
Andet	Isolering		0,5783

Ydervæg	Tagpap		0,0067
Ydervæg	Maling		0,0501
Ydervæg	Plastik		0,0273
Tag	Isolering		0,7150
Tag	Tagpap		3,1210
Indervæg	Glas		0,0062
Indervæg	Maling		0,3665
Indervæg	Plastik		0,0941
Etagedæk	Maling		0,0690
Etagedæk	Tagpap		0,0010
Etagedæk	Glas		0,0034
Vinduer & dører	Aluminium		0,4630
Vinduer & dører	Træbaseret	Udskiftning, B4	1,2500
Vinduer & dører	Glas	(50-årig betragtningsperiode)	3,1370
Vinduer & dører	Maling		0,1556
Tekniske installationer	Plastik		0,4334
Tekniske installationer	Stål		1,1174
Tekniske installationer	Isolering		0,0015
Tekniske installationer	Aluminium		0,0327
Solcellepanel	Glas		0,1445
Solcellepanel	Stål		0,1075
Dræning	Plastik		0,0071
Søjler & Bjælker	Stål		0,0279
Søjler & Bjælker	Maling		0,0623
Søjler & Bjælker	Gips		0,0407
Ydervæg	Isolering		2,1293
Ydervæg	Tagpap		0,0104
Ydervæg	Maling		0,0501
Ydervæg	Plastik		0,0273
Ydervæg	Gips		4,0960
Ydervæg	Træbaseret		0,0205
Ydervæg	Glas		0,1062
Tag	Isolering		2,1328
Tag	Tagpap		3,1210
Tag	Aluminium		0,0062
Terrændæk	Isolering	Udskiftning, B4	0,2053
Terrændæk	Træbaseret	(60-årig betragtningsperiode)	0,4937
Indervæg	Glas		0,1414
Indervæg	Isolering		0,0586
Indervæg	Mørtel		0,0001
Indervæg	Gips		0,5545
Indervæg	Maling		0,3665
Indervæg	Plastik		0,0988
Etagedæk	Isolering		1,2316
Etagedæk	Træbaseret		0,8484
Etagedæk	Plastik		0,0238
Etagedæk	Gips		0,1549
Etagedæk	Maling		0,0690

Etagedæk	Tagpap		0,0010
Etagedæk	Glas		0,0034
Etagedæk	Aluminium		0,0127
Vinduer & dører	Isolering		0,0002
Vinduer & dører	Aluminium		0,6923
Vinduer & dører	Træbaseret		2,9536
Vinduer & dører	Glas		5,0443
Vinduer & dører	Maling		0,1646
Vinduer & dører	Mørtel		1,5029
Tekniske installationer	Plastik		0,4335
Tekniske installationer	Stål		1,8228
Tekniske installationer	Isolering	Udskiftning, B4	0,0031
Tekniske installationer	Aluminium	(60-årig betragtningsperiode)	0,0668
Solcellepanel	Glas		0,1445
Solcellepanel	Stål		0,1075
Dræning	Plastik		0,0084
Søjler & Bjælker	Stål		0,0279
Søjler & Bjælker	Træbaseret		0,0975
Søjler & Bjælker	Maling		0,0623
Søjler & Bjælker	Gips		0,0407
Balkon	Glas		0,2123
Trappe	Gips		0,0031
Andet	Træbaseret		0,2656
Andet	Stål		0,0230
Andet	Plastik		0,0220
<hr/>			
Ydervæg	Stål		0,0060
Ydervæg	Beton		1,0923
Ydervæg	Isolering		12,0716
Ydervæg	Mørtel		1,7614
Ydervæg	Tagpap		0,0273
Ydervæg	Aluminium		0,1271
Ydervæg	Maling		0,1001
Ydervæg	Plastik		0,0686
Ydervæg	Gips		4,0960
Ydervæg	Træbaseret		0,0205
Ydervæg	Glas	Udskiftning, B4	0,1314
Tag	Isolering	(100-årig betragtningsperiode)	3,4919
Tag	Tagpap		6,9630
Tag	Brændt ler		0,1352
Tag	Aluminium		0,0062
Terrændæk	Beton		2,7830
Terrændæk	Isolering		0,3624
Terrændæk	Træbaseret		0,8048
Terrændæk	Brændt ler		0,2366
Terrændæk	Mørtel		0,0434
Indervæg	Glas		0,1512
Indervæg	Beton		0,4769
Indervæg	Brændt ler		10,5324

Indervæg	Isolering		0,0782
Indervæg	Mørtel		0,7356
Indervæg	Træbaseret		0,0025
Indervæg	Gips		0,9124
Indervæg	Maling		0,7330
Indervæg	Plastik		0,1929
Fundament	Isolering		0,0595
Etagedæk	Beton		7,3606
Etagedæk	Isolering		1,9866
Etagedæk	Træbaseret		3,8560
Etagedæk	Brændt ler		0,4898
Etagedæk	Mørtel		0,1363
Etagedæk	Plastik		0,0391
Etagedæk	Gips		0,4982
Etagedæk	Maling		0,1381
Etagedæk	Tagpap		0,0029
Etagedæk	Glas		0,0067
Etagedæk	Aluminium		0,0127
Vinduer & dører	Isolering		0,0002
Vinduer & dører	Aluminium		1,8462
Vinduer & dører	Træbaseret		4,2036
Vinduer & dører	Glas		8,1817
Vinduer & dører	Maling		0,3216
Vinduer & dører	Stål	Udskiftning, B4	0,0887
Vinduer & dører	Mørtel	(100-årig betragtningsperiode)	1,5029
Tekniske installationer	Plastik		0,8808
Tekniske installationer	Stål		3,5540
Tekniske installationer	Isolering		0,0062
Tekniske installationer	Aluminium		0,0995
Solcellepanel	Glas		0,3102
Solcellepanel	Stål		0,2202
Dræning	Plastik		0,0286
Dræning	Stål		0,0000
Søjler & Bjælker	Stål		0,0559
Søjler & Bjælker	Beton		7,3657
Søjler & Bjælker	Træbaseret		0,0975
Søjler & Bjælker	Maling		0,1246
Søjler & Bjælker	Mørtel		0,6925
Søjler & Bjælker	Gips		0,0815
Balkon	Træbaseret		0,0133
Balkon	Stål		2,4781
Balkon	Beton		0,0275
Balkon	Glas		0,6347
Trappe	Beton		0,5934
Trappe	Gips		0,0031
Andet	Træbaseret		3,2286
Andet	Stål		0,0230
Andet	Brændt ler		0,5559

Andet	Mørtel	Udskiftning, B4	0,2747
Andet	Plastik	(100-årig betragtningsperiode)	0,0220
Andet	Isolering		0,5783

Kontorer

TABEL 21. Kontorer, konventionel: Inventory med materialemængder for en gennemsnitlig kontorbygning baseret på fire casebygninger for konventionel byggeskik i kg/m².

Bygningsdele	Materialer	Livscyklusmodul	Mængde [kg/m ²]
Ydervæg	Stål		6,1552
Ydervæg	Beton		259,6236
Ydervæg	Tagpap		0,0004
Ydervæg	Isolering		4,9352
Ydervæg	Mørtel		2,0210
Ydervæg	Brændt ler		15,4414
Ydervæg	Gips		0,5986
Ydervæg	Træbaseret		0,3720
Ydervæg	Aluminium		0,3093
Tag	Stål		1,3504
Tag	Beton		84,9791
Tag	Plastik		0,0930
Tag	Isolering		8,6256
Tag	Tagpap		2,7480
Tag	Træbaseret		0,6058
Tag	Zink		0,0140
Tag	Grønt tag		1,8187
Terrændæk	Stål		3,5754
Terrændæk	Beton		212,4719
Terrændæk	Isolering		1,1399
Terrændæk	Aggregater	Produktionsfase, A1-A3	1,2963
Terrændæk	Brændt ler		3,5258
Indervæg	Gips		7,2992
Indervæg	Træbaseret		0,5212
Indervæg	Isolering		0,6839
Indervæg	Glas		1,6216
Indervæg	Aluminium		0,0607
Indervæg	Stål		2,5492
Indervæg	Beton		148,5816
Indervæg	Maling		0,1660
Indervæg	Brændt ler		0,2489
Fundament	Stål		7,1011
Fundament	Beton		175,8980
Fundament	Isolering		0,0293
Etagedæk	Mørtel		4,4545
Etagedæk	Beton		401,8119
Etagedæk	Stål		10,5839
Etagedæk	Plastik		0,4892
Etagedæk	Isolering		2,0481
Etagedæk	Træbaseret		0,7075
Etagedæk	Tekstil		0,1851
Etagedæk	Natursten		0,1149
Etagedæk	Brændt ler		2,5861

Etagedæk	Aluminium		0,0137
Vinduer & dører	Aluminium		1,0262
Vinduer & dører	Stål		0,9490
Vinduer & dører	Maling		0,0021
Vinduer & dører	Træbaseret		1,2547
Vinduer & dører	Glas		4,2816
Vinduer & dører	Isolering		0,0017
Vinduer & dører	Plastik		0,2353
Tekniske installationer	Stål		1,3777
Tekniske installationer	Isolering	Produktionsfase, A1-A3	0,0040
Tekniske installationer	Plastik		0,3302
Solcellepanel	Kobber		0,1397
Solcellepanel	Stål		0,1145
Solcellepanel	Glas		0,2383
Søjler & Bjælker	Stål		5,6537
Søjler & Bjælker	Beton		35,5277
Søjler & Bjælker	Isolering		0,3292
Trappe	Beton		8,9633
Trappe	Stål		0,4267
Trappe	Glas		0,0002
<hr/>			
Tag	Tagpap		2,8577
Tag	Træbaseret		0,5119
Indervæg	Glas		1,3712
Indervæg	Maling		0,4980
Etagedæk	Beton		0,0070
Etagedæk	Stål		0,8733
Etagedæk	Plastik		0,4892
Etagedæk	Isolering		0,0000
Etagedæk	Tekstil		0,1851
Etagedæk	Brændt ler		1,4639
Etagedæk	Aluminium	Udskiftning, B4	0,0137
Vinduer & dører	Maling	(50-årig betragtningsperiode)	0,0064
Vinduer & dører	Glas		3,1725
Tekniske installationer	Stål		0,4898
Tekniske installationer	Plastik		0,3302
Solcellepanel	Kobber		0,1397
Solcellepanel	Stål		0,1145
Solcellepanel	Glas		0,2383
Trappe	Glas		0,0002
<hr/>			
Ydervæg	Stål		0,0545
Ydervæg	Beton		1,6883
Ydervæg	Tagpap		0,0064
Ydervæg	Isolering	Udskiftning, B4	0,0699
Ydervæg	Brændt ler	(60-årig betragtningsperiode)	0,1397
Ydervæg	Gips		0,3134
Ydervæg	Træbaseret		0,0707
Tag	Beton		0,1434
Tag	Plastik		4,7737

Tag	Isolering		0,2423
Tag	Tagpap		2,8577
Tag	Træbaseret		0,6341
Tag	Grønt tag		1,8187
Terrændæk	Beton		0,1140
Terrændæk	Brændt ler		0,0022
Indervæg	Gips		0,2378
Indervæg	Træbaseret		0,1814
Indervæg	Isolering		0,3156
Indervæg	Glas		0,3702
Indervæg	Stål		0,4798
Indervæg	Beton		0,7332
Indervæg	Maling		0,3990
Fundament	Beton		3,3415
Etagedæk	Mørtel		0,0068
Etagedæk	Beton		0,3965
Etagedæk	Stål		1,3362
Etagedæk	Plastik		0,5208
Etagedæk	Isolering	Udskiftning, B4 (60-årig betragtningsperiode)	0,9802
Etagedæk	Træbaseret		0,4311
Etagedæk	Brændt ler		1,4639
Etagedæk	Aluminium		0,0137
Vinduer & dører	Aluminium		1,4498
Vinduer & dører	Stål		0,9988
Vinduer & dører	Træbaseret		0,1889
Vinduer & dører	Glas		4,4255
Vinduer & dører	Isolering		0,0031
Vinduer & dører	Plastik		0,2349
Tekniske installationer	Stål		1,6437
Tekniske installationer	Isolering		0,0071
Tekniske installationer	Plastik		0,1739
Solcellepanel	Kobber		0,1400
Solcellepanel	Stål		0,1112
Solcellepanel	Glas		0,2400
Søjler & Bjælker	Beton		0,4438
Trappe	Beton		0,0119
<hr/>			
Ydervæg	Beton		0,7012
Ydervæg	Tagpap		0,0004
Ydervæg	Isolering		4,9352
Ydervæg	Mørtel		2,0210
Ydervæg	Gips		0,5986
Tag	Isolering	Udskiftning, B4	8,6256
Tag	Tagpap	(100-årig betragtningsperiode)	7,0346
Tag	Træbaseret		1,5357
Tag	Grønt tag		1,8187
Terrændæk	Isolering		0,1140
Indervæg	Gips		7,2992
Indervæg	Isolering		0,6839

Indervæg	Glas		3,1846
Indervæg	Aluminium		0,0607
Indervæg	Beton		0,0335
Indervæg	Maling		0,9961
Indervæg	Brændt ler		0,2489
Fundament	Isolering		0,0293
Etagedæk	Mørtel		4,4545
Etagedæk	Beton		0,4908
Etagedæk	Stål		1,7465
Etagedæk	Plastik		1,4481
Etagedæk	Isolering		2,0481
Etagedæk	Træbaseret		0,2059
Etagedæk	Tekstil		0,5554
Etagedæk	Brændt ler		4,7819
Etagedæk	Aluminium	Udskiftning, B4	0,0273
Vinduer & dører	Aluminium	(100-årig betragtningsperiode)	1,0262
Vinduer & dører	Stål		0,8996
Vinduer & dører	Maling		0,0129
Vinduer & dører	Træbaseret		0,5056
Vinduer & dører	Glas		9,0599
Vinduer & dører	Isolering		0,0017
Vinduer & dører	Plastik		0,2349
Tekniske installationer	Stål		1,9318
Tekniske installationer	Isolering		0,0040
Tekniske installationer	Plastik		0,6605
Solcellepanel	Kobber		0,4192
Solcellepanel	Stål		0,3436
Solcellepanel	Glas		0,7148
Søjler & Bjælker	Isolering		0,3292
Trappe	Beton		0,0119
Trappe	Glas		0,0005

Træbaseret byggeskik

Enfamiliehuse

TABEL 22. Enfamiliehuse, træbaseret: Inventory med mængdemængder for et gennemsnitligt enfamiliehus baseret på seks casebygninger for træbaseret byggeskik i kg/m².

Bygningsdele	Materialer	Livscyklusmodul	Mængde [kg/m ²]
Ydervæg	Træbaseret		39,7022
Ydervæg	Tagpap		1,4642
Ydervæg	Zink		0,0544
Ydervæg	Maling		0,1706
Ydervæg	Plastik		0,1725
Ydervæg	Stål		1,8916
Ydervæg	Tekstil		0,0026
Ydervæg	Isolering		38,6943
Ydervæg	Ler		70,0173
Ydervæg	Isolering		17,9737
Ydervæg	Beton		4,9935
Ydervæg	Gips		23,8642
Ydervæg	Aluminium		0,3696
Ydervæg	Brændt ler		7,8835
Ydervæg	Natursten		3,2910
Ydervæg	Mørtel		0,1950
Tag	Tekstil		0,3283
Tag	Plastik		0,3215
Tag	Træbaseret		34,8422
Tag	Tagpap	Produktionsfase, A1-A3	8,8935
Tag	Isolering		13,9913
Tag	Isolering		15,9900
Tag	Andet		13,4195
Tag	Stål		3,0388
Tag	Gips		7,7224
Tag	Maling		0,0995
Tag	Beton		1,3611
Tag	Grønt tag		3,6219
Tag	Brændt ler		3,2218
Terrændæk	Plastik		0,2864
Terrændæk	Stål		4,4471
Terrændæk	Beton		36,9052
Terrændæk	Træbaseret		16,0552
Terrændæk	Isolering		2,0317
Terrændæk	Isolering		7,4878
Terrændæk	Brændt ler		1,3012
Terrændæk	Mørtel		0,2407
Terrændæk	Gips		3,3478
Terrændæk	Ler		18,4011
Terrændæk	Aggregater		34,3312
Indervæg	Maling		0,1024

Indervæg	Stål		0,0226
Indervæg	Træbaseret		5,3935
Indervæg	Isolering		1,9123
Indervæg	Plastik		0,0102
Indervæg	Gips		10,0611
Indervæg	Ler		18,1405
Indervæg	Isolering		0,7543
Indervæg	Brændt ler		1,3302
Indervæg	Mørtel		0,4110
Fundament	Træbaseret		4,0591
Fundament	Stål		5,3612
Fundament	Beton		45,1742
Fundament	Isolering		0,1987
Etagedæk	Maling		0,0379
Etagedæk	Plastik		0,2289
Etagedæk	Træbaseret		23,3466
Etagedæk	Isolering		2,7613
Etagedæk	Beton	Produktionsfase, A1-A3	1,8791
Etagedæk	Brændt ler		0,2293
Etagedæk	Mørtel		0,0446
Etagedæk	Stål		1,7690
Etagedæk	Gips		2,3897
Vinduer & dører	Stål		0,0502
Vinduer & dører	Maling		0,0101
Vinduer & dører	Træbaseret		3,6888
Vinduer & dører	Aluminium		0,6817
Vinduer & dører	Plastik		0,7079
Vinduer & dører	Glas		5,2753
Vinduer & dører	Jern		0,0001
Dræning	Plastik		0,6651
Dræning	Stål		0,0466
Dræning	Beton		0,0049
Dræning	Træbaseret		1,4254
Dræning	Aluminium		0,0104
Dræning	Zink		0,0104
Søjler & Bjælker	Træbaseret		1,2527
Søjler & Bjælker	Stål		0,0645
Tekniske installationer	Stål		1,8414
Tekniske installationer	Plastik		0,3019
Trapper	Stål		0,0046
Trapper	Træbaseret		11,5443
Ydervæg	Træbaseret		0,9550
Ydervæg	Maling		0,5119
Ydervæg	Plastik	Udskiftning, B4	0,0685
Ydervæg	Ler	(50-årig betragtningsperiode)	70,0173
Tag	Tekstil		0,3251
Tag	Plastik		0,0286
Tag	Træbaseret		3,3189

Tag	Tagpap		1,9978
Tag	Isolering		6,2326
Tag	Maling		0,2985
Terrændæk	Træbaseret		1,2305
Terrændæk	Gips		2,4861
Terrændæk	Ler		18,4011
Indervæg	Maling		0,3071
Indervæg	Træbaseret		1,3303
Indervæg	Gips	Udskiftning, B4	2,0408
Indervæg	Ler	(50-årig betragtningsperiode)	18,1405
Etagedæk	Maling		0,1137
Etagedæk	Plastik		0,1503
Vinduer & dører	Maling		0,0213
Vinduer & dører	Træbaseret		1,0257
Vinduer & dører	Aluminium		0,0428
Vinduer & dører	Plastik		0,5994
Vinduer & dører	Glas		5,2753
Dræning	Plastik		0,3420
Tekniske installationer	Stål		0,8126
Tekniske installationer	Plastik		0,3019
<hr/>			
Ydervæg	Træbaseret		6,7186
Ydervæg	Maling		0,5119
Ydervæg	Plastik		0,1127
Ydervæg	Tekstil		0,0026
Ydervæg	Isolering		38,6943
Ydervæg	Ler		70,0173
Ydervæg	Isolering		7,7523
Ydervæg	Gips		12,8552
Ydervæg	Mørtel		0,1653
Tag	Tekstil		0,3251
Tag	Plastik	Udskiftning, B4	0,0906
Tag	Træbaseret	(60-årig betragtningsperiode)	4,4394
Tag	Tagpap		1,9978
Tag	Isolering		13,9913
Tag	Isolering		15,0193
Tag	Stål		0,6922
Tag	Maling		0,2985
Tag	Beton		1,3611
Tag	Grønt tag		3,6219
Terrændæk	Beton		0,9143
Terrændæk	Træbaseret		1,2305
Terrændæk	Isolering		2,0317
Terrændæk	Isolering		1,9043
Terrændæk	Gips		2,4861
Terrændæk	Ler		18,4011
Indervæg	Maling		0,3071
Indervæg	Træbaseret		1,3303
Indervæg	Isolering		1,9123
<hr/>			

Indervæg	Gips		7,2411
Indervæg	Ler		18,1405
Indervæg	Mørtel		0,2033
Fundament	Isolering		0,1987
Etagedæk	Maling		0,1137
Etagedæk	Plastik	Udskiftning, B4	0,1503
Etagedæk	Isolering	(60-årig betragtningsperiode)	2,2229
Etagedæk	Gips		1,1037
Vinduer & dører	Stål		0,0242
Vinduer & dører	Maling		0,0243
Vinduer & dører	Træbaseret		3,4028
Vinduer & dører	Aluminium		0,1492
Vinduer & dører	Plastik		0,6711
Vinduer & dører	Glas		7,5810
Dræning	Plastik		0,6651
Tekniske installationer	Stål		1,8754
Tekniske installationer	Plastik		0,3019
Ydervæg	Træbaseret		19,8761
Ydervæg	Tagpap		1,4642
Ydervæg	Maling		1,0237
Ydervæg	Plastik		0,2833
Ydervæg	Stål		1,8392
Ydervæg	Tekstil		0,0026
Ydervæg	Isolering		38,6943
Ydervæg	Ler		136,6672
Ydervæg	Isolering		17,9737
Ydervæg	Beton		4,9935
Ydervæg	Gips		23,5632
Ydervæg	Brændt ler		3,9461
Ydervæg	Mørtel		0,1950
Tag	Tekstil	Udskiftning, B4	0,9752
Tag	Plastik	(100-årig betragtningsperiode)	0,1192
Tag	Træbaseret		16,8976
Tag	Tagpap		11,4879
Tag	Isolering		13,9913
Tag	Isolering		22,2225
Tag	Stål		0,6922
Tag	Gips		7,7224
Tag	Maling		0,5969
Tag	Beton		1,3611
Tag	Grønt tag		3,6219
Tag	Brændt ler		3,2218
Terrændæk	Plastik		0,2526
Terrændæk	Beton		7,8131
Terrændæk	Træbaseret		11,2129
Terrændæk	Isolering		2,0317
Terrændæk	Isolering		7,4878
Terrændæk	Brændt ler		0,9796

Terrændæk	Mørtel		0,1908
Terrændæk	Gips		5,8339
Terrændæk	Ler		36,8022
Indervæg	Maling		0,6142
Indervæg	Træbaseret		3,9749
Indervæg	Isolering		1,9123
Indervæg	Gips		12,1020
Indervæg	Ler		32,2901
Indervæg	Isolering		0,4690
Indervæg	Brændt ler		1,3302
Indervæg	Mørtel		0,4110
Fundament	Træbaseret		0,4012
Fundament	Beton		7,9932
Fundament	Isolering	Udskiftning, B4 (100-årig betragtningsperiode)	0,1987
Etagedæk	Maling		0,2275
Etagedæk	Plastik		0,5295
Etagedæk	Træbaseret		7,4832
Etagedæk	Isolering		2,7613
Etagedæk	Brændt ler		0,2293
Etagedæk	Mørtel		0,0446
Etagedæk	Stål		0,0739
Etagedæk	Gips		2,3897
Vinduer & dører	Stål		0,0242
Vinduer & dører	Maling		0,0456
Vinduer & dører	Træbaseret		4,9086
Vinduer & dører	Aluminium		0,7673
Vinduer & dører	Plastik		1,8700
Vinduer & dører	Glas		12,1828
Vinduer & dører	Jern		0,0001
Dræning	Plastik		1,1738
Dræning	Stål		0,0466
Dræning	Aluminium		0,0104
Tekniske installationer	Stål		3,1151
Tekniske installationer	Plastik		0,6039
Trapper	Træbaseret		4,4469

Etageboliger

TABEL 23. Etageboliger, træbaseret: Inventory med mængdemængder for en gennemsnitlig etagebolig baseret på seks casebygninger for træbaseret byggeskik i kg/m².

Bygningsdele	Materialer	Livscyklusmodul	Mængde [kg/m ²]
Ydervæg	Plastik		0,1787
Ydervæg	Beton		8,3069
Ydervæg	Gips		12,7949
Ydervæg	Isolering		5,8694
Ydervæg	Træbaseret		25,9869
Ydervæg	Stål		0,2517
Ydervæg	Aluminium		0,0483
Ydervæg	Maling		0,3553
Ydervæg	Brændt ler		1,5961
Ydervæg	Natursten		2,9010
Tag	Træbaseret		4,8690
Tag	Tagpap		3,6503
Tag	Aluminium		0,0181
Tag	Stål		0,5674
Tag	Isolering		5,3123
Tag	Plastik		0,1689
Tag	Gips		2,9575
Tag	Maling		0,0850
Tag	Beton		0,4905
Terrændæk	Stål		2,6767
Terrændæk	Isolering		3,5297
Terrændæk	Beton	Produktionsfase, A1-A3	90,3450
Terrændæk	Plastik		0,2579
Terrændæk	Træbaseret		3,4898
Terrændæk	Aggregater		7,0121
Terrændæk	Brændt ler		0,0511
Terrændæk	Mørtel		0,0089
Indervæg	Stål		0,6694
Indervæg	Beton		23,0508
Indervæg	Plastik		0,1681
Indervæg	Gips		34,4225
Indervæg	Isolering		3,1460
Indervæg	Træbaseret		4,3957
Indervæg	Maling		0,5701
Indervæg	Brændt ler		0,6710
Indervæg	Mørtel		0,2311
Fundament	Isolering		0,1157
Fundament	Beton		105,8458
Fundament	Tagpap		0,0604
Fundament	Plastik		0,0058
Fundament	Stål		3,2451
Fundament	Mørtel		0,3151
Fundament	Træbaseret		0,1266

Fundament	Aggregater		2,8091
Etagedæk	Gips		16,5932
Etagedæk	Isolering		5,5720
Etagedæk	Maling		0,2405
Etagedæk	Træbaseret		34,5826
Etagedæk	Stål		0,3598
Etagedæk	Plastik		0,7912
Etagedæk	Beton		42,3905
Etagedæk	Brændt ler		0,6829
Etagedæk	Mørtel		0,1570
Etagedæk	Aggregater		18,8429
Vinduer & dører	Maling		0,0191
Vinduer & dører	Træbaseret		3,9158
Vinduer & dører	Glas		5,2257
Vinduer & dører	Stål		0,0401
Vinduer & dører	Plastik		0,0646
Vinduer & dører	Aluminium		1,2346
Vinduer & dører	Jern		0,0001
Vinduer & dører	Isolering		0,0384
Dræning	Zink		0,0502
Dræning	Træbaseret	Produktionsfase, A1-A3	0,0363
Dræning	Isolering		0,0222
Dræning	Stål		0,1272
Dræning	Tagpap		0,8333
Dræning	Plastik		0,4687
Søjler & Bjælker	Gips		0,0003
Søjler & Bjælker	Isolering		0,0021
Søjler & Bjælker	Stål		5,6078
Søjler & Bjælker	Træbaseret		4,2524
Tekniske installationer	Stål		2,9124
Tekniske installationer	Beton		4,4570
Tekniske installationer	Plastik		0,3230
Tekniske installationer	Isolering		0,0135
Tekniske installationer	Aluminium		0,3250
Trapper	Træbaseret		1,5696
Trapper	Stål		2,1216
Trapper	Beton		3,8998
Trapper	Aluminium		0,0115
Trapper	Ler		0,8327
Solcellepanel	Glas		0,1488
Solcellepanel	Stål		0,0373
Andet	Træbaseret		4,9334
Andet	Tagpap		0,8997
Andet	Beton		2,4953
Andet	Stål		0,0853
Andet	Glas		0,0974
Andet	Plastik		0,0376
Ydervæg	Plastik		0,0420

Ydervæg	Beton		0,7713
Ydervæg	Gips		4,6722
Ydervæg	Isolering		0,0246
Ydervæg	Træbaseret		5,3896
Ydervæg	Maling		1,0658
Tag	Træbaseret		1,1606
Tag	Tagpap		2,3111
Tag	Stål		0,2044
Tag	Plastik		0,2894
Tag	Maling		0,2396
Tag	Beton		1,4715
Terrændæk	Isolering		0,2304
Terrændæk	Beton		0,5398
Terrændæk	Plastik		0,2161
Terrændæk	Træbaseret	Udskiftning, B4	0,0970
Indervæg	Beton	(50-årig betragtningsperiode)	1,7375
Indervæg	Plastik		0,1316
Indervæg	Maling		1,5719
Fundament	Plastik		0,0044
Etagedæk	Maling		0,5588
Etagedæk	Træbaseret		0,1281
Etagedæk	Stål		0,0587
Etagedæk	Plastik		0,6799
Vinduer & dører	Maling		0,0281
Vinduer & dører	Træbaseret		0,1184
Vinduer & dører	Glas		5,2160
Tekniske installationer	Stål		1,6652
Tekniske installationer	Plastik		0,0170
Trapper	Træbaseret		1,0646
Solcellepanel	Glas		0,1488
Solcellepanel	Stål		0,0373
Andet	Træbaseret		3,2988
<hr/>			
Ydervæg	Plastik		0,0958
Ydervæg	Beton		6,0952
Ydervæg	Gips		10,8259
Ydervæg	Isolering		2,6105
Ydervæg	Træbaseret		11,0565
Ydervæg	Maling		1,0658
Tag	Træbaseret		1,6355
Tag	Tagpap	Udskiftning, B4	2,3111
Tag	Stål	(60-årig betragtningsperiode)	0,2044
Tag	Isolering		3,4072
Tag	Plastik		0,2894
Tag	Gips		1,1616
Tag	Maling		0,2396
Tag	Beton		1,4715
Terrændæk	Isolering		2,6823
Terrændæk	Beton		0,5398

Terrændæk	Plastik		0,2161
Terrændæk	Træbaseret		1,1768
Terrændæk	Brændt ler		0,0511
Terrændæk	Mørtel		0,0089
Indervæg	Beton		1,7375
Indervæg	Plastik		0,1316
Indervæg	Gips		29,2469
Indervæg	Isolering		1,7433
Indervæg	Træbaseret		0,0128
Indervæg	Maling		1,6180
Indervæg	Mørtel		0,0131
Fundament	Isolering		0,1157
Fundament	Plastik		0,0044
Etagedæk	Gips		8,7955
Etagedæk	Isolering		2,2782
Etagedæk	Maling		0,6117
Etagedæk	Træbaseret		6,8448
Etagedæk	Stål		0,0587
Etagedæk	Plastik		0,7105
Etagedæk	Beton		1,2780
Vinduer & dører	Maling	Udskiftning, B4 (60-årig betragtningsperiode)	0,0375
Vinduer & dører	Træbaseret		2,3949
Vinduer & dører	Glas		7,9377
Vinduer & dører	Stål		0,0202
Vinduer & dører	Plastik		0,0021
Vinduer & dører	Aluminium		0,5047
Vinduer & dører	Isolering		0,0384
Dræning	Isolering		0,0222
Dræning	Plastik		0,4687
Søjler & Bjælker	Gips		0,0003
Søjler & Bjælker	Isolering		0,0021
Søjler & Bjælker	Træbaseret		2,5023
Tekniske installationer	Stål		3,2214
Tekniske installationer	Plastik		0,3230
Tekniske installationer	Isolering		0,0135
Tekniske installationer	Aluminium		0,3060
Trapper	Træbaseret		1,0646
Trapper	Stål		1,0543
Solcellepanel	Glas		0,2059
Solcellepanel	Stål		0,0515
Andet	Træbaseret		6,5976
Andet	Glas		0,0974
Andet	Plastik		0,0376
Ydervæg	Plastik		0,1828
Ydervæg	Beton	Udskiftning, B4	9,5583
Ydervæg	Gips	(100-årig betragtningsperiode)	20,1337
Ydervæg	Isolering		5,8940
Ydervæg	Træbaseret		22,0747

Ydervæg	Stål		0,0001
Ydervæg	Aluminium		0,0483
Ydervæg	Maling		2,1316
Ydervæg	Brændt ler		1,5961
Tag	Træbaseret		3,9935
Tag	Tagpap		7,1098
Tag	Aluminium		0,0181
Tag	Stål		0,4088
Tag	Isolering		5,3123
Tag	Plastik		0,5788
Tag	Gips		2,9575
Tag	Maling		0,4792
Tag	Beton		2,9430
Terrændæk	Isolering		3,9906
Terrændæk	Beton		7,7529
Terrændæk	Plastik		0,5016
Terrændæk	Træbaseret		2,6867
Terrændæk	Brændt ler		0,0511
Terrændæk	Mørtel		0,0089
Indervæg	Beton		4,4466
Indervæg	Plastik		0,4313
Indervæg	Gips	Udskiftning, B4	34,4225
Indervæg	Isolering	(100-årig betragtningsperiode)	3,1460
Indervæg	Træbaseret		0,6192
Indervæg	Maling		3,1899
Indervæg	Brændt ler		0,6710
Indervæg	Mørtel		0,2311
Fundament	Isolering		0,1157
Fundament	Beton		5,8984
Fundament	Tagpap		0,0604
Fundament	Plastik		0,0146
Fundament	Mørtel		0,3151
Etagedæk	Gips		15,9692
Etagedæk	Isolering		5,5720
Etagedæk	Maling		1,1720
Etagedæk	Træbaseret		19,7243
Etagedæk	Stål		0,1174
Etagedæk	Plastik		1,8904
Etagedæk	Beton		15,0799
Etagedæk	Brændt ler		0,3433
Etagedæk	Mørtel		0,1267
Vinduer & dører	Maling		0,0657
Vinduer & dører	Træbaseret		3,7764
Vinduer & dører	Glas		13,1536
Vinduer & dører	Stål		0,0213
Vinduer & dører	Plastik		0,0021
Vinduer & dører	Aluminium		1,2346
Vinduer & dører	Jern		0,0001

Vinduer & dører	Isolering		0,0384
Dræning	Træbaseret		0,0363
Dræning	Isolering		0,0222
Dræning	Tagpap		0,8333
Dræning	Plastik		0,4687
Søjler & Bjælker	Gips		0,0003
Søjler & Bjælker	Isolering		0,0021
Søjler & Bjælker	Træbaseret		2,5023
Tekniske installationer	Stål		5,1818
Tekniske installationer	Plastik	Udskiftning, B4	0,3401
Tekniske installationer	Isolering	(100-årig betragtningsperiode)	0,0135
Tekniske installationer	Aluminium		0,3250
Trapper	Træbaseret		2,1292
Trapper	Stål		1,1571
Trapper	Aluminium		0,0115
Solcellepanel	Glas		0,4464
Solcellepanel	Stål		0,1118
Andet	Træbaseret		10,3467
Andet	Tagpap		0,8997
Andet	Beton		0,0212
Andet	Glas		0,0974
Andet	Plastik		0,0376

Kontorer

TABEL 24. Kontorer, træbaseret: Inventory med materialemængder for et gennemsnitligt kontor baseret på fire casebygninger for træbaseret byggeskik i kg/m².

Bygningsdele	Materialer	Livscyklusmodul	Mængde [kg/m ²]
Ydervæg	Træbaseret		9,6263
Ydervæg	Plastik		0,0280
Ydervæg	Beton		45,2252
Ydervæg	Isolering		2,7581
Ydervæg	Stål		4,9550
Ydervæg	Maling		0,1645
Ydervæg	Gips		2,7463
Ydervæg	Brændt ler		1,5483
Ydervæg	Mørtel		0,1642
Ydervæg	Aluminium		1,6950
Ydervæg	Tagpap		0,5085
Ydervæg	Natursten		0,9211
Ydervæg	Zink		0,0514
Ydervæg	Glas		1,5696
Tag	Plastik		0,0623
Tag	Træbaseret		14,7140
Tag	Isolering		11,3997
Tag	Stål		4,5628
Tag	Tagpap		3,1289
Tag	Beton		3,0526
Tag	Aluminium		0,0831
Tag	Sedum tag	Konstruktionsfase, A1-A3	0,3148
Tag	Natursten		0,0033
Tag	Maling		0,0031
Terrændæk	Beton		170,8233
Terrændæk	Isolering		2,2398
Terrændæk	Plastik		0,2170
Terrændæk	Stål		13,2688
Terrændæk	Brændt ler		3,6292
Indervæg	Isolering		1,1427
Indervæg	Træbaseret		12,5293
Indervæg	Stål		12,4386
Indervæg	Beton		130,6740
Indervæg	Plastik		0,0833
Indervæg	Gips		17,0841
Indervæg	Glas		1,2720
Indervæg	Maling		0,3073
Indervæg	Aluminium		0,2396
Indervæg	Tekstil		0,0104
Indervæg	Brændt ler		0,5449
Indervæg	Mørtel		0,0555
Fundament	Beton		182,4868
Fundament	Aggregater		6,3125

Fundament	Stål		7,2345
Fundament	Isolering		0,1698
Etagedæk	Gips		11,3967
Etagedæk	Plastik		0,8074
Etagedæk	Isolering		2,3196
Etagedæk	Træbaseret		41,4174
Etagedæk	Brændt ler		0,5310
Etagedæk	Mørtel		0,1405
Etagedæk	Stål		11,4756
Etagedæk	Beton		215,6717
Etagedæk	Tekstil		0,0804
Etagedæk	Maling		0,0478
Etagedæk	Aluminium		0,1139
Etagedæk	Natursten		1,3792
Etagedæk	Isolering		0,0010
Vinduer & dører	Aluminium		0,7514
Vinduer & dører	Glas		3,9818
Vinduer & dører	Stål		0,2778
Vinduer & dører	Maling		0,0091
Vinduer & dører	Træbaseret		2,0086
Vinduer & dører	Plastik	Konstruktionsfase, A1-A3	0,1055
Vinduer & dører	Isolering		0,0001
Dræning	Stål		1,4874
Dræning	Glas		0,0356
Dræning	Plastik		0,1336
Søjler & bjælker	Stål		12,9459
Søjler & bjælker	Træbaseret		23,0047
Søjler & bjælker	Beton		19,2465
Søjler & bjælker	Gips		0,0389
Søjler & bjælker	Maling		0,0007
Søjler & bjælker	Isolering		0,0122
Tekniske installationer	Stål		2,5898
Tekniske installationer	Isolering		0,4075
Tekniske installationer	Plastik		0,1386
Tekniske installationer	Aluminium		0,8298
Tekniske installationer	Glas		0,0783
Tekniske installationer	Messing		0,0013
Trapper	Stål		0,2385
Trapper	Beton		3,2358
Trapper	Træbaseret		0,4805
Trapper	Aluminium		0,0071
Solcellepanel	Glas		0,0999
Solcellepanel	Stål		0,0251
Andet	Træbaseret		0,3680
Andet	Jern		0,0024
Ydervæg	Træbaseret	Udskiftning, B4	0,0751
Ydervæg	Maling	(50-årig betragtningsperiode)	0,4934
Ydervæg	Tagpap		0,0399

Ydervæg	Glas		0,1114
Tag	Plastik		0,0173
Tag	Træbaseret		0,0612
Tag	Tagpap		0,9902
Tag	Maling		0,0092
Terrændæk	Plastik		0,2170
Indervæg	Træbaseret		0,0105
Indervæg	Plastik		0,0037
Indervæg	Gips		0,5624
Indervæg	Maling		0,4647
Indervæg	Tekstil		0,0005
Etagedæk	Gips		0,0078
Etagedæk	Plastik		0,0440
Etagedæk	Isolering		0,0113
Etagedæk	Træbaseret		0,1118
Etagedæk	Stål		0,0094
Etagedæk	Tekstil	Udskiftning, B4	0,0804
Etagedæk	Maling	(50-årig betragtningsperiode)	0,0994
Vinduer & dører	Glas		3,9135
Vinduer & dører	Maling		0,0231
Vinduer & dører	Træbaseret		0,1251
Vinduer & dører	Plastik		0,0025
Dræning	Plastik		0,1336
Søjler & bjælker	Maling		0,0022
Tekniske installationer	Stål		0,6316
Tekniske installationer	Plastik		0,1386
Tekniske installationer	Aluminium		0,8298
Tekniske installationer	Glas		0,0783
Tekniske installationer	Messing		0,0013
Trapper	Aluminium		0,0071
Solcellepanel	Glas		0,0999
Solcellepanel	Stål		0,0251
<hr/>			
Ydervæg	Træbaseret		0,0922
Ydervæg	Isolering		2,1979
Ydervæg	Maling		0,4934
Ydervæg	Gips		2,7463
Ydervæg	Aluminium		0,2058
Ydervæg	Tagpap		0,0399
Ydervæg	Glas		0,2179
Tag	Plastik	Udskiftning, B4	0,0173
Tag	Træbaseret	(60-årig betragtningsperiode)	0,0774
Tag	Isolering		8,4433
Tag	Tagpap		0,9902
Tag	Maling		0,0092
Terrændæk	Isolering		2,2398
Terrændæk	Plastik		0,2170
Indervæg	Isolering		0,7901
Indervæg	Træbaseret		0,6314

Indervæg	Stål		0,0012
Indervæg	Beton		0,0120
Indervæg	Plastik		0,0391
Indervæg	Gips		13,8297
Indervæg	Glas		1,2632
Indervæg	Maling		0,6171
Indervæg	Tekstil		0,0104
Indervæg	Brændt ler		0,3188
Indervæg	Mørtel		0,0159
Fundament	Isolering		0,1698
Etagedæk	Gips		7,1303
Etagedæk	Plastik		0,2814
Etagedæk	Isolering		1,2645
Etagedæk	Træbaseret		2,8930
Etagedæk	Brændt ler		0,2122
Etagedæk	Mørtel		0,0365
Etagedæk	Stål		0,0224
Etagedæk	Beton		0,0728
Etagedæk	Tekstil		0,0804
Etagedæk	Maling	Udskiftning, B4	0,1141
Etagedæk	Aluminium	(60-årig betragtningsperiode)	0,1067
Etagedæk	Isolering		0,0010
Vinduer & dører	Aluminium		0,0434
Vinduer & dører	Glas		3,9150
Vinduer & dører	Maling		0,0245
Vinduer & dører	Træbaseret		0,6749
Vinduer & dører	Plastik		0,0025
Vinduer & dører	Isolering		0,0001
Dræning	Glas		0,0356
Dræning	Plastik		0,1336
Søjler & bjælker	Gips		0,0389
Søjler & bjælker	Maling		0,0022
Søjler & bjælker	Isolering		0,0122
Tekniske installationer	Stål		1,9448
Tekniske installationer	Isolering		0,4075
Tekniske installationer	Plastik		0,1386
Tekniske installationer	Aluminium		1,6485
Tekniske installationer	Glas		0,0783
Tekniske installationer	Messing		0,0013
Trapper	Stål		0,0007
Trapper	Aluminium		0,0071
Solcellepanel	Glas		0,0999
Solcellepanel	Stål		0,0251
Ydervæg	Træbaseret		1,2792
Ydervæg	Plastik	Udskiftning, B4	0,0017
Ydervæg	Beton	(100-årig betragtningsperiode)	7,2913
Ydervæg	Isolering		2,7024
Ydervæg	Stål		0,0048

Ydervæg	Maling		0,9867
Ydervæg	Gips		2,7463
Ydervæg	Brændt ler		1,5483
Ydervæg	Mørtel		0,1642
Ydervæg	Aluminium		1,6950
Ydervæg	Tagpap		0,5684
Ydervæg	Glas		1,7875
Tag	Plastik		0,0526
Tag	Træbaseret		3,1124
Tag	Isolering		11,2434
Tag	Stål		0,0068
Tag	Tagpap		4,6142
Tag	Aluminium		0,0831
Tag	Maling		0,0183
Terrændæk	Isolering		2,2398
Terrændæk	Plastik		0,6511
Indervæg	Isolering		1,1427
Indervæg	Træbaseret		1,2237
Indervæg	Stål		0,0059
Indervæg	Beton		1,4206
Indervæg	Plastik		0,0429
Indervæg	Gips		17,7709
Indervæg	Glas	Udskiftning, B4	1,2720
Indervæg	Maling	(100-årig betragtningsperiode)	1,0818
Indervæg	Aluminium		0,2240
Indervæg	Tekstil		0,0115
Indervæg	Brændt ler		0,5449
Indervæg	Mørtel		0,0555
Fundament	Beton		2,2954
Fundament	Isolering		0,1698
Etagedæk	Gips		11,4098
Etagedæk	Plastik		0,8514
Etagedæk	Isolering		2,0352
Etagedæk	Træbaseret		7,8803
Etagedæk	Brændt ler		0,5310
Etagedæk	Mørtel		0,1405
Etagedæk	Stål		0,0369
Etagedæk	Beton		6,0239
Etagedæk	Tekstil		0,2413
Etagedæk	Maling		0,2134
Etagedæk	Aluminium		0,1139
Etagedæk	Natursten		1,3792
Etagedæk	Isolering		0,0010
Vinduer & dører	Aluminium		0,7514
Vinduer & dører	Glas		7,8953
Vinduer & dører	Stål		0,2567
Vinduer & dører	Maling		0,0476
Vinduer & dører	Træbaseret		1,5901

Vinduer & dører	Plastik		0,0086
Vinduer & dører	Isolering		0,0001
Dræning	Stål		1,0380
Dræning	Glas		0,0356
Dræning	Plastik		0,3241
Søjler & bjælker	Gips		0,0389
Søjler & bjælker	Maling		0,0044
Søjler & bjælker	Isolering		0,0122
Tekniske installationer	Stål	Udskiftning, B4	3,3246
Tekniske installationer	Isolering	(100-årig betragtningsperiode)	0,4075
Tekniske installationer	Plastik		0,2771
Tekniske installationer	Aluminium		2,4816
Tekniske installationer	Glas		0,2349
Tekniske installationer	Messing		0,0027
Trapper	Stål		0,0062
Trapper	Beton		0,1694
Trapper	Træbaseret		0,2963
Trapper	Aluminium		0,0143
Solcellepanel	Glas		0,2998
Solcellepanel	Stål		0,0752
Andet	Jern		0,0024

BILAG 2 – LIVSCYKLUS-INVENTORY FOR MODELLERING AF MATERIALER I EXIOBASE

Dette bilagskapitel indeholder detaljeret information om LCA-modelleringen. Derfor vises nedenfor relevante LCI-tabeller, der forbinder materialer med anvendte EXIOBASE sektorer.

Nedenfor i tabel 25 ses en oversigt over links til de relevante sektorer i baggrundsdatabase, EXIOBASE, for hvert byggemateriale. Den overordnede materialetype ligger til grund for modelleringen set nedenfor, mens underopdelinger indenfor materialetyper ikke er modelleret, med udtagelse af beton, mørtel og træbaseret. Da EXIOBASE er i tørvægt er følgende konverteringsfaktorer benyttet: 0.87 for træ (Ceylan, 2010) og 0.55 for maling (Flügger, 2021).

TABEL 25. EXIOBASE sektorer anvendt til materialer.

Materiale	EXIOBASE sektorer
Aggregater	_32 Quarrying of stone
Aluminium	_76 Aluminium production
Træbaseret	Modificeret version af: _18 Forestry, logging and related service activities _50 Manufacture of wood. Baseret på erstatningsår. Se tabel 28 og tabel 29
Tagpap	_34 Mining of chemical and fertilizer minerals, production of salt
Kobber, messing	_80 Copper production
Ler	_33 Quarrying of sand and clay
Beton	Hybridproces. Se tabel 26.
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 27.
Natursten	_32 Quarrying of stone
Maling	_63 Chemicals nec
Gips	_69 Manufacture of cement, lime and plaster
Plastik	_59 Plastics, basic
Stål, jern	_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 26 nedenfor ses hybrid-modelleringen af beton. Inputs er baseret på Ecoinvent (2019) databasen.

TABEL 26. Modellering af beton baseret på Ecoinvent (2019) med anvendte EXIOBASE sektorer.

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 27 nedenfor ses hybrid-modelleringen af mørtel. Inputs er baseret på Ecoinvent (2019) databasen.

TABEL 27. Modellering af mørtel baseret på Ecoinvent (2019) med anvendte EXIOBASE sektorer.

Flows	Enhed	EXIOBASE sektor	
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}

Neden for i tabel 28 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 restbiomasse 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 dobbeltregnskab, er inputtet af træ til savværket fjernet.

TABEL 28. Modellering af træ baseret på Schmidt & Dalgaard (2016) med anvendte EXIOBASE sektorer.

Flows	Enhed	EXIOBASE sektor	
Output: Referenceprodukt			
Industrielt træ	kg	1	
Inputs			
Svensk nåletræ	kg	2.14	Se tabel 29.
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

I tabel 29 nedenfor vises modellering af svensk nåletræ.

TABEL 29. Modellering af svensk nåletræ for år nul.

Flows	Enhed	EXIOBASE sektor	
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 5.2, udregnes et nyt resultat fra skovmodellen for hvert relevant år, hvor træ erstattes i byggeriet (se resultater i tabel 30). Her korrigeres kulstofoptag ift. den 100-årige GWP₁₀₀-tidshorisont. For eksempel vil træ benyttet i år 15 modelleres som det genplantede træ i år 15, hvormed den 88-årige rotationstid ikke vil være inden for den 100-årige tidshorisont. Af denne grund vil der være markante afvigelser i skovmodellens resultater for kulstofoptag- og afgivelse fra henfald af grene mv., når træerne bliver plantet i senere år end år nul. 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 30. 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

I tabel 31 vises samme oversigt for skovmodellens resultater for cellulosetræ.

TABEL 31. 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

I tabel 32 nedenfor vises 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 32. Bidragsanalyse for træ anvendt i byggeriet i år nul, produktionsfasen, for både svensk nåletræ og fortrængt cellulosetræ, i 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 34 nedenfor ses modelleringen af materialehåndtering ved endt levetid for hvert materiale i dette studie.

TABEL 33. Oversigt over håndtering af materialer ved endt levetid.

Materiale	Genanvendelse	Forbrænding	Deponi	Kilde
Aggregater			100%	Antaget
Aluminium	90%		10%	Antagelse for metaller. Baseret på Miljøstyrelsen (2020)
Træbaseret	90%	10%		Som: Schmidt & Dalgaard (2016)
Tagpap	90%		10%	Baseret på Miljøstyrelsen (2020)
Kobber, messing	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 Bygcirkulaert (no date)
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, jern	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 34.

TABEL 34. Oversigt over anvendte EXIOBASE sektorer ifm. modlæring af endt levetid af materialer.

Materiale	Genanvendelse	Forbrænding	Deponi
Aggregater			157 Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
Aluminium	77 Re-processing of secondary aluminium into new aluminium		157 Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
Træbaseret	_51 Re-processing of secondary wood material – med modificeret substitution	145 Incineration of waste: Wood – med modificeret CO2 emission fra skovmodel.	
Tagpap	115 Re-processing of secondary construction material into aggregates		
Kobber, messing	_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, jern	_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 3 – FORKLARING AF MILJØPÅVIRKNINGSKATEGORIER

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

TABEL 35. Beskrivelse af miljøpåvirkningskategorierne i Stepwise 2006.

Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Original reference		Forklaring
		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 EcoIndicator (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).
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).
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).
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).
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 CFC11 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).

TABEL 36. 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 4 – BILAGSREFERENCER

Bygcirkulaert. (n.d.). *Viden om glas*. <http://www.bygcirkulaert.dk/portfolio-items/viden-om-glas/>

Ceylan, I. (2010). Determination of drying characteristics of timber by using artificial neural networks and mathematical models. *Drying Technology*, 26(12), 1469–1476. <https://doi.org/10.1080/07373930802412132>

Ecoinvent. (2019). *Ecoinvent*. <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/>

Flügger. (2021). *Produktblad - Interior High Finish 5*.

Goedkoop, M. and Spriensma, R. (2001) The Eco-Indicator'99. A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report. 3rd Edition, PRé Consultants, Amersfoort.

<http://www.pre.nl>

Hauschild, M. & Potting, J. (2005). *Spatial differentiation in Life Cycle impact assessment - The EDIP2003 methodology*.

Jolliet, O., Margni, M., Charles, R. et al. IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. *Int J LCA* 8, 324–330 (2003). <https://doi.org/10.1007/BF02978505>

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

Miljøstyrelsen. (2020). *Affaldsstatistik 2020* (Issue 2217).

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

Weidema, B. P. (2009). Using the budget constraint to monetarise impact assessment results. *Ecological Economics*, 68(6), 1591–1598. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2008.01.019>

Weidema, B. P., Wesnae, M., Hermansen, J., Kristensen, I., & Halberg, N. (2008). Environmental improvement potentials of meat and dairy products (EUR 23491). In *JRC - European Commission* (Vol. 23491, Issue JCR 46650). <https://doi.org/10.2791/38863>

Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik

I takt med det øgede fokus på byggeriets klima- og miljøpåvirkninger er der sket et skift fra en konventionel byggeskik, som i Danmark typisk baseres på materialer som beton, stål og tegl, til en mere biobaseret byggeskik, der fokuserer på anvendelsen af fornybare materialer som træ, træfiber og andre biobaserede produkter. De miljømæssige konsekvenser af et sådant skift i byggeskikken blev undersøgt i 2023 i rapporten Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik (BUILD Rapport 2023:22, (Hansen et al., 2023a)) for Social- og Boligstyrelsen (SBST). Rapporten identificerede en række scenarier, som viste både potentielle forøgelse og reduktioner af miljøpåvirkninger ved et skift i byggeskikken, men afdækkede samtidig betydelige usikkerheder, som kræver nærmere analyse.

Som opfølgning på BUILD Rapport 2023:22 (Hansen et al., 2023a) har SBST bedt BUILD – Institut for Byggeri, By og Miljø ved Aalborg Universitet om at undersøge de usikkerheder, der relaterer sig til de anvendte casebygninger, nærmere. Formålet er at afklare, hvordan casebygningernes design, udformning og materialesammensætning kan påvirke vurderingen af miljøpåvirkninger ved et skift i byggeskikken og dermed bidrage til en mere solid forståelse af de miljømæssige konsekvenser ved øget anvendelse af træbaserede byggematerialer i Danmark.