

Ressourceforbrug på byggepladsen

Klimapåvirkning af bygningers udførelsesfase

Kanafani, Kai; Magnes, Jonathan; Garnow, Agnes; Lindhard, Søren Munch; Balouktsi, Maria

Publication date:
2023

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Kanafani, K., Magnes, J., Garnow, A., Lindhard, S. M., & Balouktsi, M. (2023). *Ressourceforbrug på byggepladsen: Klimapåvirkning af bygningers udførelsesfase*. (1 udg.) Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet. BUILD Rapport Bind 2023 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

2023:14

Ressourceforbrug på byggepladsen

Klimapåvirkning af bygningers udførelsesfase

Kai Kanafani, Jonathan Magnes, Agnes Garnow, Søren Munch Lindhard & Maria Balouktsi

Ressourceforbrug på byggepladsen

TITEL	Ressourceforbrug på byggepladsen
UNDERTITEL	Klimapåvirkning af bygningers udførelsesfase
SERIETITEL	BUILD-rapport 2023:14
FORMAT	PDF
UDGAVE	1. Udgave
UDGIVELSEÅR	2023
UDGIVET DIGITALT	2023
FORFATTER	Kai Kanafani, Jonathan Mages, Agnes Garnow, Søren Munch Lindhard, Maria Balouktsi
KVALITETSSIKRING	Jørgen Rose
SPROG	Dansk
SIDEANTAL	62
LITTERATURHENVISNINGER	56
EMNEORD	Byggeplads, klimapåvirkning, livscyklusvurdering, LCA, A4, A5, ressourceforbrug
ISBN	978-87-563-2116-7
ISSN	2597-3118
FORSIDE FOTO	JPF A/S
UDGIVER	BUILD, Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København E-mail build@build.aau.dk www.build.aau.dk Publikationen er beskyttet i henhold til Ophavsretsloven.

Indhold

Forord	4
Sammenfatning	5
English summary	7
1.0 Introduktion	9
2.0 Regelgrundlag	11
2.1 Transport A4	12
2.2 Opførelse A5	16
3.0 Internationale erfaringer	18
3.1 Definitioner	18
4.0 Analyse	23
4.1 Metode: Transport A4	23
4.2 Metode: Opførelse A5	26
4.3 Resultater	32
5.0 Dokumentation	40
5.1 Dokumentationskrav	40
6.0 Økonomiske konsekvenser	44
7.0 Optimeringspotentiale	48
8.0 Bilag	52
9.0 Referencer	56

Forord

Denne analyse har til formål at kortlægge ressourceforbrug på byggepladser ved nybyggeri og på denne baggrund udforme nøgletal samt dokumentationsmetode, som kan understøtte implementering i bygningsreglementets klimakrav.

Rapporten indleder med en gennemgang af de tekniske standarder på området, som danner grundlag for klimakravene i bygningsreglementet. Eftersom enkelte lande allerede er begyndt at stille tilsvarende krav i national lovgivning, undersøges ligheder og forskelle i disse tilgange. Endelig kortlægges byggeprocessens klimapåvirkninger baseret på en række byggepladser og ved hjælp af andre tilgængelige datakilder. Resultater er opsummeret i nøgletal for klimapåvirkning.

På baggrund af den erfaring, som forskerne og de deltagende virksomheder har opbygget i løbet af de sidste år, præsenteres en beskrivelse af dokumentationskrav, der kan bruges til rapportering af byggepladsens klimapåvirkninger.

Med udgangspunkt i de udviklede dokumentationskrav vurderes de økonomiske konsekvenser ved implementering af disse krav i bygningsreglementet.

Afslutningsvis gives et kort overblik over kendte optimeringspotentialer, der kan nedbringe byggepladsens klimapåvirkninger.

Projektet blev udført af BUILD, som i april 2021 fik opdraget af Bolig- og Planstyrelsen (nu Social- og Boligstyrelsen). Lektor Kai Kanafani har været projektleder, og øvrige projektdeltagere har været Jonathan Magnes, Agnes Garnow, Søren Munch Lindhard og Maria Balouktsi.

Aalborg, september 2023

Tine Steen Larsen

Sektionsleder

Sammenfatning

Denne rapport har til formål at udvikle kvantitative nøgletal og dokumentationskrav for implementering af byggeprocessfasen i bygningsreglementets klimakrav. I januar 2023 blev der indført obligatoriske CO₂-grænseværdier for nye bygninger [1]. Grænseværdien og om nødvendigt metoden vil blive revideret i 2025, 2027 og 2029 for at sikre reelle CO₂-reduktioner af nye bygninger i henhold til den nationale strategi for bæredygtigt byggeri [2]. Men også for at forberede byggebranchen på de forventede EU klimakrav for bygninger i revisionen af Bygningsdirektivet [3].

Klimakravene omfatter faserne Produkt (modul A1, A2, A3), Udskiftning (B4), Energiforbrug til bygningsdrift (B6), Endt levetid (C3, C4) og Processer udenfor projektet (D). Byggeprocessen, som omfatter Transport til byggeplads (A4) og Installation (A5), er ikke en del af de nuværende krav på grund af mangel på data, samt en harmoniseret tilgang og praktisk erfaring i Danmark.

I rapporten kortlægges og analyseres metoden for A4 og A5 i henhold til internationale standarder. Enkelte lande har allerede inkluderet A4 og A5 i den nuværende eller planlagte lovgivning, og disse forskellige krav er blevet kortlagt og sammenlignet. At udvide klimakravene indenfor byggeprocesserne i Danmark vil betyde introduktionen af nye typer af monitoreringsdata, og det vil dermed involvere entreprenører og leverandører mere, end det er tilfældet ved de nuværende klimakrav. Klimakrav i de omkringliggende lande viser en vifte af tilgange til at justere omfanget af inkluderede processer, dokumentationskrav og graden af tilladte standardværdier. Forskellene formodes at være resultat af den generelle tilgang til klimakrav, rådgivnings- og byggepraksis, men også varierende geografi, geologi og klima.

Den valgte tilgang til beregning og dokumentation af A4 og A5 tager udgangspunkt i alle processer nævnt i standardiseringen, bortset fra vandforbrug og tab under transport. For at kompensere for svært tilgængelige data for nogle processer er der udviklet et sæt standardværdier, som lovgiveren kan stille til rådighed for at lette afrapporteringen.

Undersøgelsen af transport i A4 er udført i to trin. Det første omfatter udvikling af standard emissionsfaktorer for byggevarer baseret på en analyse af 90 miljøvaredeklarationer (EPD). På det næste trin er disse faktorer blevet anvendt til at

beregne emissioner i 9 udvalgte bygninger af varierende anvendelse og type. Den resulterende klimapåvirkning for modul A4 er 0,4 kgCO₂e/m²år (median).

Undersøgelsen af Installation i A5 omfatter forbrug af el, varme, brændstof og byggeaffald samt transport på og fra pladsen. Analysen er baseret på måldata fra 52 byggepladser og er beregnet med de forventede lavere emissioner for energisystemet i 2025. Dermed udgør byggeaffald langt den største andel af klimapåvirkning i A5 med 38 %. Den resulterende median for modul A5 er 1,0 kgCO₂e/m²år.

Den samlede byggeproces med begge moduler svarer til 1,4 kgCO₂e/m²år eller 13 % af de samlede emissioner i nye bygninger, når der anvendes en reference på 9,5 kgCO₂e/m² år for modul A1-3, B4, B6 og C3-4 [4].

Denne rapport er resultat af projektet *Ressourceforbrug på byggepladsen*, som BUILD gennemfører i perioden 2021-2024 med finansiering fra Social- og Boligstyrelsen [5].

English summary

This report aims at developing quantitative key figures and reporting criteria for implementing the building process stage in the whole-life carbon requirements of the Danish building regulations. In January 2023 mandatory carbon limits for new buildings were introduced. The limit value and, if necessary, method will be revised in 2025, 2027 and 2029 to secure an effective mitigation of carbon in new buildings according to the national strategy for sustainable construction [2] and to prepare the Danish building sector for the expected introduction of EU-wide carbon regulation in the Building Directive revision [3].

Current Danish carbon regulation includes the stages Product (modules A1, A2, A3), Replacement (B4), Operational energy use (B6), End-of-Life (C3, C4) and processes beyond the project (D). The construction process encompassing Transport to site (A4) and Installation (A5), is not part of the current requirements due to a lack of data, a harmonised approach and practical experience in Denmark.

In a first step, the methodology for A4 and A5 according to international standards is mapped and analysed. Few countries have already adopted A4 and A5 in current or planned regulation. These varying requirements are collected and analysed too. Expanding the current scope with transport and installation will introduce new sorts of processes and the need for a greater engagement of contractors and suppliers and, not at least, new types of data. International legislation shows different approaches to adjust the scope of included processes, reporting information and the degree of allowed standard values, all of which attempt to meet regional circumstances. Differences root in the general approach to building carbon regulation, consultancy, and construction practices, but also in varying conditions of geography, geology, or climate.

Concluding the method development, an approach is chosen, where all processes in both modules is included in the analysis and subsequent regulation as a rule. The only omitted processes are water use and losses during transportation. Since some of the necessary data will not be available under feasible conditions, a set of standard values are developed. The legislator can use them as an instrument for simplifying reporting effort during the implementation stage.

The study of carbon emissions related to transport to the site is conducted in two steps. The first includes developing average emissions for building product groups,

based on an analysis of 90 environmental product declarations (EPD). These standard emission factors were then applied to assess emissions in 9 selected building cases of varying building types and uses. The resulting median for module A4 is 0,4 kgCO_{2e}/m²y.

Installation processes include the use of electricity, heating energy, fuel and construction waste. Also, transport on and from the site is included. The analysis is based on monitoring data from 52 construction sites and takes the larger expected share of renewable energy in 2025 into account. Construction waste has the largest share in A5 with 38%. The resulting median for module A5 of 1,0 kgCO_{2e}/m²y.

The total construction process including both modules equals 1,4 kgCO_{2e}/m²y or 13% of the total emissions in new buildings, when using a 9,5 kgCO_{2e}/m²y reference for modules A1-3, B4, B6 and C3-4 [4].

This report is a result of the project *Ressourceforbrug på byggepladsen* [5], which BUILD is conducting between 2021-2024 on commission by the Danish Authority of Social Services and Housing.

1.0 Introduktion

Den 1. januar 2023 er de nye klimakrav i bygningsreglementet trådt i kraft [1]. Kravene er baseret på metoden livscyklusvurdering (LCA) og indeholder væsentlige dele af bygningers livscyklus i henhold til EN 15978:2011 [6]. Blandt de udeladte områder er byggeriets udførelsesfase, som omfatter transport til og fra byggepladsen samt anvendelse af materialer og energi på byggepladsen. Udførelsesfasen er endnu ikke inkluderet i klimaberegningen, da der hidtil har manglet en afprøvet metode for dokumentation og et tilstrækkeligt datagrundlag. Formålet med denne rapport er at bidrage til dette grundlag.

Ifølge den Nationale strategi for bæredygtigt byggeri [7] er der et politisk ønske om at styrke vidensgrundlaget om ressourceforbrug på byggepladser med henblik på nye krav i bygningsreglementet, der kan reducere byggeriets udslip af drivhusgasser. Dette har blandt andet resulteret i to initiativer, som er relevante for nærværende projekt. Initiativ 15 i den nationale strategi er *Mindre spild af materialer på byggepladsen*, mens initiativ 1 er en *Regulering med afsæt i den frivillige bæredygtighedsklasse, (FBK)* [8]. FBK skal skabe et bedre vidensgrundlag om blandt andet bygningers klimapåvirkning, og give byggebranchen mulighed for at opbygge erfaringer gennem deltagelse i den toårige testfase. Derfor blev der udformet delkrav 2 i FBK om *Ressourceforbrug på byggepladsen* i tilknytning til delkrav 1 om *Livscyklusvurdering (LCA)*. Sidenhen er delkrav 1 om LCA blevet implementeret i bygningsreglementet per 1. januar 2023.

I forlængelse af testperioden udfører BUILD, Aalborg Universitet en erfaringsopsamling af FBK samt et omfattende baggrundsstudie *Ressourceforbrug på Byggepladsen*, som udføres for Social- og Boligstyrelsen (SBST) i perioden 2021-24. Projektet har kortlagt ressourceforbrug i udførelsesfasen på danske byggepladser og indsamlet erfaringer om tilgængelighed af forbrugsdata og muligheder for dokumentation.

Denne rapport skal skabe forskningsbaseret viden om ressourceforbrug på byggepladser samt transport forbundet med byggeriets udførelsesfase, med henblik på implementering af regulering i bygningsreglementets krav om bygningers klimapåvirkning. Specifikt udvikler rapporten nøgletal for regulering af klimapåvirkning samt dokumentationskrav, der kan indgå i bygningsreglementet. Dokumentationskravene tager hensyn til byggebranchens mulighed for registrering og dokumentation for at undgå uforholdsmæssig høje byrder ved implementering.

I undersøgelsen indgår der både cases fra FBK testfasen og andre cases, som byggeindustrien har stillet til rådighed. En omfattende evaluering af FBK testfasen bliver offentliggjort i en BUILD-rapport i 2024. Status for kortlægningen af opførelsesfasens klimapåvirkning er allerede offentliggjort i en videnskabelig publikation [9]. Nærværende rapport indeholder en række opdateringer og har et større fokus på den praktiske implementering i et reguleringsperspektiv.

Her i rapporten bliver klimapåvirkning på bygningsniveau altid angivet per areal og delt med referenceperioden på 50 år jævnfør BR klimakrav. Formålet er at bruge en enhed, som gør det muligt at sammenligne påvirkninger blandt alle dele af bygningens livscyklus. Den faktiske udledning vil derimod ske inden ibrugtagning og ikke fordelt over årene. Derfor er udførelsesprocessen oplagt til at opnå målbare og tidsnære reduktioner af bygningers bidrag til den globale opvarmning.

Undersøgelsen har kun været muligt på grund af byggebranchens bidrag i testfasen af den frivillige bæredygtighedsklasse og engagement i RE:BYG netværket [10]. Forfatterne vil derfor gerne sige tak til de deltagende virksomheder og enkeltpersoner, der har stillet tid, ekspertise og data til rådighed.

2.0 Regelgrundlag

Den første definition af registrering af ressourceforbrug og transport i Danmark er delkrav 1 og 2 i FBK [11]. Målet med FBK var både at udvikle et første bud på dokumentationskrav for byggeprocessen og samtidig høste forbrugsdata og erfaringer til evaluering og senere kravudvikling. I løbet af projektperioden og i takt med høst af erfaringer fra praksis har der vist sig behov for justering af anbefalinger for mulige krav. Til dels skyldes justeringen også, at tilsvarende krav i bygningsreglementet ikke har formål om dataindsamling som FBK testfasen har, hvorfor mulige krav i højere grad kan fokusere på en styrende effekt til at begrænse bygningers klimapåvirkning. Metoden for A4 og A5 er nærmere beskrevet i de respektive afsnit.

I disse år skrider regulering af byggeriets drivhusgasudslip gennem livscyklusbaserede lovkraav og grænseværdier frem i de europæiske lande. Det sker foran et bagtæppe af den igangværende revision af Bygningsdirektivet [3], som foreslår obligatoriske livscyklusvurderinger for nye bygninger inklusive opførelsesperiodens moduler A4 og A5.

Ved indførelsen af FBK i 2020 har der ikke været lovkraav om dokumentation eller reduktion af ressourceforbrug specifikt for byggepladsen. Det lovpligtige Energisyn af store virksomheder, herunder entreprenører, omfatter ligeledes ikke selve byggeaktiviteterne. Med EU Taxonomiforordningen [12] og tilhørende retsakter, som er ved at blive rullet ud i medlemslandene, er der blevet indført lovkraav om dokumentation af finansielle investeringers miljømæssige bæredygtighed. Kravene skal overholdes af finansielle virksomheder, som så videregiver dokumentationsbyrden til investeringer i byggeprojekter. Når en investor vil foretage en bæredygtig investering i et byggeri, skal entreprenører og rådgivere kunne dokumentere overholdelse af en række kriterier [13]. Ifølge kapitel 7.1 om opførelse af nye bygninger skal der udføres beregning af klimapåvirkning af nye bygninger over 5.000 m² over alle livscyklusfaser, herunder modul A4 og A5. Beregningen skal overholde EN 15978:2011 med hensyn til metode og den fælles EU-niveauramme Level(s) indikator 1.2 med hensyn til anvendelsesområde. Mulige nationale værktøjer eller lovkraav kan dog også anvendes til dokumentation, som i Danmark findes i form af bygningsreglementets klimakrav.

Den internationale anerkendte metode for LCA af bygninger, herunder modulerne A4 og A5, er fastlagt i standarden for bygningers miljøvurderinger EN 15978:2011 [6], som er den gældende version ved rapportens udgivelse. Standarden er i øjeblikket under revision, hvor der blev udgivet et udkast i 2021 [14]. Henvvisninger til udkastet af revisionen sker kun til orientering og markeres tydeligt.

Bygningsreglementets nuværende klimakrav fra januar 2023 overholder disse standarder, men omfatter et begrænset omfang af livscyklusmoduler (Tabel 1). Der er tale om en trinvis implementeringsproces, som også kan ses i andre landes nationale lovgivning, se næste afsnit. Nærværende rapport undersøger implementering af de nye moduler Transport A4 og Opførelse og montering A5. Begge moduler er processuelt uafhængige i henhold til standarden, så dokumentationen kan ske separat i praksis.

Tabel 1. Livscyklusmoduler i henhold til EN 15978. De grå markerede moduler indgår i bygningsreglementets klimakrav fra 2023. Den sorte boks markerer byggeprocessen, som undersøges i denne rapport.

Fase	Produkt			Byggeproces		Brug							Endt levetid		Udenfor system		
	Råmaterialer	Transport	Fremstilling	Transport	Opførelse, montering	Brug	Vedligeholdelse	Reparation	Udskiftning	Renovering	Energiforbrug til drift	Vandforbrug til drift	Nedtagning, nedrivning	Transport	Affaldsbehandling	Bortskaffelse	Potentiale for genbrug, genanvendelse og
Modul	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

2.1 Transport A4

Transport er en væsentlig proces i bygningens livscyklus, som udover den her behandlede byggeproces i modul A4 også finder sted i Produktfasens modul A2 og Endt-levetid fasens C2. Det her præsenterede regelgrundlag er baseret på EN 15978:2011 [6] henholdsvis 15804:2012 [15], som er de komplementære standarder om livscyklusvurdering for henholdsvis bygnings- og produktniveau. Eftersom de to standarder ikke er særlig specifikke med hensyn til dokumentation af transport på implementeringsniveau, anvendes yderligere ISO 14083:2023 [16] om drivhusgasudledninger i transport, hvor det er nødvendigt med en mere detaljeret metodespecifikation.

Afgrænsning af transport ifølge EN 15978 er vist i Tabel 2. Udover transport af materialer fra fabriksport til byggeplads indgår transport af materiel fra dets sidste placering til byggepladsen og retur. Hvis materiel transporteres fra plads til plads, kan der anvendes en gennemsnitsbetragtning. Det kan indebære transport af ikke-vejpgående maskiner, mobilkran, rambuk til pælefundering, stillads, mandskabsmoduler mv. Da modulet skal indeholde alle påvirkninger forbundet med fragt til byggepladsen, er også tabte materialer omfattet i denne aktivitet. Transport af byggevarer til en elementfabrik kan udgøre størstedelen af transportkæden, især for byggevarer med lang afstand til produktion. Dette transportled er dog ikke nævnt, selvom det generelle udgangspunkt siger at alle processer, der er nødvendige for etableringen af bygningen, skal medtages. Inddragelse af påvirkninger fra produktion af materiel fx kraner og stillads bliver ikke nærmere specificeret og anses derfor at ligge udenfor afgrænsningen.

Tabel 2. Afgrænsning af A4 ifølge EN 15978

Emne	Definition
Hvilken fragt	Materialer, produkter, materiel, men ikke persontransport
Hvilke transport	Hele transportkæde, herunder lagring og distribution, fra fabriksporten til byggepladsen For materiel medtages både transport til og fra byggepladsen
Tab	Påvirkninger for fragt, som er gået tabt eller blev beskadiget under transporten

Standarden kommer ikke nærmere ind på den konkrete dokumentation af forskellige typer af transportkæder fx med hensyn til returture, opfyldelsesgrad, detaljeringsgrad, datatyper og afgrænsning.

Revisionen prEN 15978 indeholder stadig ikke væsentlige tilføjelser til transport A4. Undtagelsen er at der nu eksplicit indgår returture og at der gives nogle informative overvejelser om dokumentation og datakilder. Derudover henviser den til EN 16258:2012 i den informative del om modul B8.

Transportbranchen anvender den internationale branchevejledning GLEC - Global Logistics Emissions Council [17] til beregning af drivhusgasudledning langs transportkæder. Vejledningen er baseret på den europæiske standard for beregning af drivhusgasser i transport EN 16258 [18] og supplerende internationale standarder, databaser [19] og værktøjer [20]. Standarden er for nylig blevet afløst af ISO 14083:2023 [16], som anvendes i denne rapport. GLEC prøver at give en udtømmende anvisning, som forener de mest autoritative standarder og værktøjer til ét fælles regelgrundlag for alle transportformer. Metoden anvendes også af danske logistikvirksomheder. GLEC er ligeledes blevet opgraderet til version 2023, som dog ikke kunne nå at indgå i denne rapport.

ISO 14083 indeholder en omfattende terminologi, som kan bruges til at definere transport (Tabel 3). Ifølge standarden er klimapåvirkninger i forbindelse med transport baseret på energiforbruget til transport og i fragtterminaler eller logistikcentre, hvor fragten omlastes mellem transportformer, fx fra skib til lastbil. Både transport- og terminalprocesser betegnes som transportled og opgøres separat som del af en transportkæde. Herved indgår den indledende lastning i den første transport og den endelige aflastning i den sidste. Alle mellemliggende omlastningsprocesser tilskrives terminalernes transportled. Udelukket er produktion, vedligehold mv. af transportmidler og infrastruktur, som derved flugter med EN 15978.

Tabel 3. Begreber for transport baseret på ISO 14083

Begreb	Betydning	Begreb i originalsprog
Transportkæde	De samlede aktiviteter til transport fra udgangspunkt til destination	Transport chain
Transportled	Transport- eller terminalaktivitet i en transportkæde	Transport chain element
Transport drift	Bevægelse af fragt ved hjælp af et transportmiddel	Transport operation
Terminal drift	Fx omlastning, håndtering, re-emballering / emballagens affaldsbehandling	Hub operation
Transportmiddel	Fx lastbil >26 tons, eller containerskib under transportformerne vej, skib, tog, luft osv.	Vehicle
Transport drift kategori	Transportens kontekst med hensyn til fx type af fragten, regelmæssighed, samlede eller delte leverancer	Transport operation category
Terminal drift kategori	Fx distributionscenter eller havn og deres aktiviteter af håndtering af fragten	Hub operation category
Emissionsfaktor	Klimapåvirkning i kgCO ₂ e per aktivitet fx per tonkilometer lastbil	Greenhouse gas emission intensity
Primære data	Målte data direkte knyttet til transportaktiviteten fx dieselforbrug, kørte kilometer, forsendelsens vægt	Primary data
Sekundære data	Ikke primære data fx historiske forbrugsdata, standardværdier, beregnede værdier	Secondary data

Beregning af de totale transportemissioner (tidligere well-to-wheels, WTW) består af de to processer. Den første er energiproduktion, tidligere well-to-tank (WTT) og den anden er energiforbrug i drift, tidligere tank-to-wheels (TTW).

I beregningen af transportpåvirkninger deles transporten ifølge ISO 14083 op i de forskellige transportled, som den samlede transportkæde kan bestå af. Efter transportleddenes energiforbrug fx i liter diesel, er opgjort, beregnes deres klimapåvirkning ved hjælp af standardiserede emissionsfaktorer. Da det faktiske energiforbrug ikke altid kan opgøres på grund af kompleksiteten eller manglende tilgængelighed af data, kan de være nødvendigt at supplere disse primære data med sekundære data, som er baseret på generaliserede antagelser baseret på statistiske data. Værktøjet EcoTransIT World indeholder en række af disse antagelser, som igen bygger på vidensdatabaser, som fx Handbook of emission factors for road transports [19].

ISO 14083 kræver at der anvendes de mest repræsentative data, især i forbindelse med data, der har indflydelse på den resulterende klimapåvirkning. Standarden anerkender dog kompleksiteten i beregningen samt den begrænsede tilgængelighed af data langs transportkæder og behov for forenkling. Derfor tages der forbehold for tilgængeligheden af data og der gives eksempler på generiske antagelser. Tabel 4 viser hvilke parametre der indgår i standardens metode. Det målte energiforbrug er det ideelle udgangspunkt. Når energiforbruget ikke entydigt kan tilskrives en byggevare, eller når det ikke er kendt, skal der anvendes en række andre parametre til beregning af transportpåvirkninger. Ved beregninger for det enkelte byggeprojekt er det dog nødvendigt at udvikle en række forenklinger og standard emissionsfaktorer for at sikre den praktiske anvendelighed især for mindre virksomheder.

Tabel 4. Parametre i klimaberegningen af transport. Eksempel på vejbaseret godstransport.

Parameter ¹	Beskrivelse
Fragtens vægt	Vægten er den primære måleenhed for transport, kombineret med enten energiforbrug eller afstand
Energiforbrug	Målt energiforbrug fx liter diesel er den bedste datakilde og overflødig gør de fleste øvrige parametre
Energikilde / drivmiddel	Emissionsfaktorer for fx diesel, biodiesel, el, som indeholder påvirkninger fra fremstilling, distribution og forbrug
Afstand	Afstand benyttes hvor energiforbrug ikke er tilgængelig.
Udnyttelsesgrad	Fragtens andel af den tilladte totalvægt, tilpasset med andelen af tomgang og tomkørsel (forud for første pålæsning og inklusive returørsel)
Korrekturfaktor for afstanden	Den faktiske transportrute kan afvige fra den direkte geografiske afstand
Køretøjets vægtsklasse	Fx lastbilers tilladte totalvægt
Køretøjets emissionsklasse	Fx Euro standarder i Europa
Vejmodstand	Afhængigt af fx topografi, vejtype og trafikforhold
Emballagens vægt	Fx paller eller indpakning. Ikke fragtkontainere. Indgår ofte i fragts totale vægt

1) Baseret på ISO 14083

Emissionsfaktorer for drivmidler er rygraden i miljøvurderingen, se Tabel 5 for eksempler på klimapåvirkning for de vigtigste brændsler indenfor byggeri. ISO 14083 anses for at have de mest opdaterede generiske faktorer på nuværende tidspunkt, som erstatter forældede tal i GLEC, EN 16258 og JEC rapporten fra 2020 [21].

Tabel 5. Eksempler på emissionsfaktorer for brændstoffer i ISO 14083 (ikke bindende) for det europæiske marked. Værdier viser klimapåvirkning (GWP). Den totale klimapåvirkning er et gennemsnit, der består af energikildens produktion, distribution og brug.

Brændstof ¹	GWP (total) ² [kg CO ₂ e/l]	GWP (total) [kg CO ₂ e/kg]	GWP (total) [g CO ₂ e/MJ]	Densitet [kg/l]
Diesel	3,112	3,740	87,300	0,832
Biodiesel (50% rapsolie, 40% vegetabilsk affaldsfedt, 10% sojabønner)	1,267	1,420	38,300	0,892
HVO / HEFA (SAF) (50% rapsolie, 50% madolieaffald)	0,970	1,260	28,600	0,770
LPG	2,041	3,710	81,600	0,550
LNG	-	3,710	75,500	-
Fly kerosin (Jet A-1, Jet A), flybrændstof	2,912	3,640	84,700	0,800
HFO (2,5% svovl), skibsbrændstof	3,414	3,520	85,400	0,970

1) Aktual emissionsfaktor for el findes i det gældende bygningsreglementets bilag 2, tabel 8.

2) Beregnet fra GWP per kg og densitet

Påvirkninger fra første generations biodiesel (EN 14214) samt anden generations HVO (hydrobehandlet vegetabilsk olie efter EN15940) kan svinge i praksis på grund af varierende sammensætninger. Emissionsfaktorer for specifikke leverancer af drivmidler fremgår af deres *Proof of Sustainability* dokument i henhold til EU direktiverne om vedvarende energi [22] og om kvaliteten af benzin og dieselolie [23]. Her dokumenteres den konkrete sammensætning af eksempelvis HVO.

Når energiforbruget ikke er kendt, kan klimapåvirkningen beregnes på forskellige detaljeringsniveauer. Forenkede emissionsfaktorer for transportmidler er angivet i Tabel 6. Denne type data er kendt fra FBK delkrav 2 om byggepladsen [8]. Disse faktorerne er en statistisk generalisering af en lang række forskellige typer transportmidler, udnyttelsesgrader, brændstof, varevægt og geografi mv. Eksempelvis ligger bag lastbilen over 20 tons total vægt et spænd i de mere detaljerede tabeller i GLEC på 32-140 gCO₂e/ton km. De nærværende aggregerede faktorer bruger lidt andre kategorier, men ligner værdierne i FBK.

Tabel 6. Udvalgte generiske emissionsfaktorer for transport fra GLEC. Værdier viser klimapåvirkning (GWP) og bruges ved ukendt energiforbrug. Den totale klimapåvirkning er et gennemsnit af transportmidlets energiforbrug per transporteret ton fragt inklusive tomgang, tomkørsel og returkørsel.

	Transportmiddel	GWP (total)	Enhed
Tog	EU gennemsnit (ukendt baggrund)	17	gCO ₂ e/ton km
	EU gennemsnit (diesel)	28	
	EU gennemsnit (EU el-mix)	10	
	Europa, byggematerialer / fabrikerede produkter / container	23 / 24 / 25	
Vej	Varevogn <3,5t	680	gCO ₂ e/ton km
	Lastbil 3,5-7,5t	370	
	Lastbil 7,5-20t	200	
	Lastbil >20t	92	kWh/ton km
	Varevogn <3,5t (eldreven)	1,1	
	Lastbil 3,5-7,5t (let / gennemsnit) (eldreven)	0,90 / 0,51	
	Lastbil 7,5-12t (let / gennemsnit) (eldreven)	0,68 / 0,39	
Skib	Fragtskib < 10.000 dødvægt tonnage (HVO)	19	gCO ₂ e/ton km
	Fragtskib 10.000-20.000 dødvægt tonnage (HVO)	13	
	Roll-on/roll-off færge (HVO)	45-210	
	Containerskib	7,6	
Terminaler	Omladning	3.400 ¹	gCO ₂ e/ton

Lagring og omladning	1.700 ¹
Lager	1.900 ¹
Containerterminal i havn	3.010 ^{1,2}

1) Foreløbige værdier, som forventes at blive opdateret

2) Omregnet fra 30.100 per container, hvor fragten antages 10 tons per container (twenty foot equivalent unit)

EPDer i henhold til EN 15804 kan også indeholde påvirkninger for transport i A4. Disse kan enten være et gennemsnit baseret på statistik af transport til forskellige byggepladser over et tidsrum eller generiske påvirkninger, som skal skaleres i henhold til det specifikke projekt. Den første mulighed skal vurderes med hensyn til om scenariet er repræsentativt for det pågældende projekt, herunder om der er tale om leverance til danske byggepladser. Generiske værdier skal vurderes kritisk, herunder med hensyn til om scenariet dækker over hele transportkæde. De anvendte beregningsforudsætninger og standardværdier for transport i EPDer, herunder transportafstande, skal baseres på eventuelt gældende regnereglerne (PCR) for de enkelte produktkategorier.

2.2 Opførelse A5

Ifølge standarden medtager modul A5 de fleste processer, materiale- og energistrømme, som forekommer direkte i forbindelse med opførelsen af byggeri. Tabel 7 indeholder en liste over alle eksplicit nævnte inkluderede og ikke inkluderede processer. For tidsperioden nævnes blot opførelsesprocessen. De mulige processer, der kan forekomme på byggepladsen, nævnes kun på overordnet niveau og ikke i termer, der anvendes til organisering af byggeprocesser. Da modulet skal omfatte hele udførelsesfasen, bør det som udgangspunkt antages at en given proces vil være inkluderet frem for det modsatte.

Tabel 7. Afgrænsning af opførelse i modul A5 ifølge EN 15978.

1.	Jordarbejde og landskab
2.	Installation af byggevarer i bygningen, herunder yderligere materialer, som ikke er medtaget i produkt-EPDen inkl. transport til byggeplads op mod affaldsbehandling (fx formolie eller engangsforskalling)
3.	Lagring af produkter, herunder beskyttelse
4.	Transport på pladsen, men uden persontransport
5.	Midlertidige konstruktioner, herunder på anden lokation end selve byggepladsen
6.	Insitu produktion og forarbejdning
7.	Præfabrikation af elementer, moduler eller komponenter udenfor byggepladsen
8.	Varme, køling, ventilation, fugtkontrol mv. under opførelsesprocessen
9.	Vandforbrug til køling af materiel eller rengøring
10.	Affaldshåndtering af affald produceret på byggepladsen, som inkluderer alle processer, herunder transport fra byggepladsen, op til affaldsbehandling
11.	Produktion, transport og affaldsbehandling af produkter og materialer, der gik tabt under opførelsen

Standarden inkluderer udtrykkeligt både jordarbejdet, bygningen og landskabet i punkterne 1 og 2. En nærmere afgrænsning eller funktionel sammenhæng mellem bygningen og uderummet er ikke angivet, derved er der åbenhed for afgrænsning ved definition af genstand af undersøgelsen og den funktionelle enhed. Revisionsudkastet præciserer, at jordarbejder også inkluderer byggemodning og foreslår at transport af arbejdere til og fra pladsen kan indgå som frivillig dokumentation. En nærmere afgrænsning er dog vigtig for at bestemme grænsefladerne mellem hvilke dele af matriklen og eventuelle sekundære bebyggelser der medregnes og hvilke dele der ikke medregnes.

Det fremgår ikke direkte, hvorvidt livscykluspåvirkninger (produktion, vedligehold, bortskaffelse osv.) fra materiel, som fx kraner, skal medregnes. Revisionsudkastet specificerer, at der kun skal medtages det materiel, som bliver fabrikeret til en specifik byggeplads, eksempelvis maskinfundamenter.

Punkt 8 om forbrug af varme, køling mv. nævner ikke specifikt, hvorvidt der menes forbrug fra råhuset, personalekure eller materialecontainere. Derudover fremgår belysning på byggepladsen ikke. Revisionsudkast præciserer, at der menes faciliteter til arbejderne, hvormed skurbyen er omfattet. At belysning på pladsen også må regnes at være omfattet, fremgår ved, at opstillingen ikke er udtømmende og at lys og vand til arbejderne må sidestilles med øvrige indretninger for opretholdelse af arbejdsmiljø. Dette omfatter også råhuset.

3.0 Internationale erfaringer

3.1 Definitioner

En del lande er begyndt at stille livscyklusbaserede krav til byggeri, herunder vedrørende byggepladsaktivitet. Tabel 8 giver et overblik over de vigtigste definitioner.

I Norge skal der ifølge det Norske bygningsreglement TEK 17 [24] med tilhørende vejledning [25] udføres en obligatorisk klimaberegning. Metoden er fastlagt i den Norske Standard NS 3720:2018 [26]. Kravene skal indeholde modulerne A1-3, A4, B2 og B4, mens A5 er under udarbejdelse. Fokus i A5 ligger ikke på affald, men på spild og metoden er egnet til en beregning baseret på indkøb eller kalkulation, men ikke på bortkørt affald fra byggepladsen. En ny Norsk standard prNS 3770 for emissionsfrie byggepladser er under udvikling. I Norge er der generelt stor fokus på at reducere udledning af drivhusgasser fra byggeaktiviteter, som understøttes af en række udviklingsaktiviteter som ConZerW projektet [27] og regulering på kommunalt niveau som i Oslo [28], som har et politisk mål om emissionsfrie byggepladser i 2030. Konkret prøver myndigheder at nedbringe den resterende fossile andel af energiforbruget til vejgående transport, materiel og midlertidig opvarmning [29].

Klimakravene i Sverige med tilhørende vejledning [30] og national emissionsdatabase [31] har været gældende siden januar 2022. De svenske klimakrav omfatter indtil videre kun A1-5 og kun den bærende konstruktion, klimaskærm og indvendige vægge. Af denne grund omfatter A4 og A5 kun disse dele af bygningsinventaret. Fokus i A5 ligger ikke på affald, men på spild og metoden er egnet til en beregning baseret på indkøb eller kalkulation, men ikke på bortkørt affald fra byggepladsen. Energiforbruget i A5 omfatter ikke terrænarbejde. Transport af materiel, skure og øvrige materialer i A4 er også undtaget. Transport kan dokumenteres ved 3 forskellige metoder: (1) Baseret på faktisk energi- eller brændstofforbrug, (2) Baseret på fragtet vægt, distance og transportform og (3) baseret på fragtet vægt alene. Den nationale emissionsdatabase [32] stiller emissionsfaktorer til rådighed for energikilder, herunder brændstof. Der findes ikke standardværdier på et mere aggregeret niveau. En ny rapport anbefaler at udvide klimadeklarationen til at indeholde terrænarbejde fra 2027. Denne del bør dog deklareres separat fra de øvrige resultater og der anbefales ingen grænseværdier foreløbig på grund den store variation i jordbundsforhold. Afgrænsningen skal ligge indenfor to meter fra facade. I fremtiden kan det tænkes at denne afgrænsning bliver udgangspunkt for bygningens grænseværdi inklusive terrænarbejde.

Finland har vedtaget klimakravene, som kommer til at gælde fra januar 2024 [33]. Kravene er baseret på den finske anvisning for bygnings-LCA [34] og den nationale emissionsdatabase [35] med tilhørende baggrundsrapporter. Klimakravene omfatter modulerne A1-3, A4, A5, B4, B6, C1-4 og D. Modulerne C1 og C2 håndteres som fremtidsscenerier og på lignende vis som A4 og A5. Der er udgivet standardværdier, som kaldes konservative værdier til byggetilladelse, for A5 opdelt i tre bygningstyper samt separate værdier for jordarbejde og jordarming. Derimod er fundamentet ikke med i de øvrige modulers afgrænsning på grund af de forskellige jordforhold i Finland. Standardværdier for transport, herunder for anvendelse i A4, findes både for transportformer og for 1 m² bygningsdel. Emissionsfaktorer for transportformerne er meget detaljeret med hensyn til transportform, vejtype og udnyttelse. Der er ikke standardværdi for A4 som samlet modul.

Obligatoriske LCA-kravene og grænseværdier i Nederlandene er ældst og er baseret på den nationale metode for LCA [36], som er administreret af fonden Stichting Nationale Milieudatabase (SNM). Udførelsesfasen spiller dog en underordnet rolle i klimaberegning af byggeri sammenholdt med anlægsarbejder ifølge SNM.

Frankrigs obligatoriske klimaregulering med grænseværdier for bygninger RE2020 er trådt i kraft i 2022 og skal strammes hvert tredje år. Tilgangen for grænseværdier er en parametrisk tilpasning til varierende egenskaber af bygninger og byggegrunde. Den franske INIES database indeholder miljøvaredeklarationer, mens generiske data findes på Mlab platformen. I det praktiske arbejde er der en generel opdeling i påvirkninger fra materialer, herunder byggeaffald, og påvirkninger fra andre processer, herunder energiforbrug i opførelsesprocessen.

Tabel 8. Definition af modul A4 og A5 i udvalgte landes nationale lovkrav. Kilder er nævnt i ovenstående afsnit.

	Norge	Sverige	Finland	Nederlandene	Frankrig	
A4+A5	Gældende fra	Juli 2022 med overgangsperiode til juli 2023	Januar 2022	Januar 2024	2018	2022
	Gælder for	Det færdige byggeri	Det færdige byggeri	Klimadeklarationen skal afleveres i forbindelse med byggeanddragende og givetvis opdateres før ibrugtagning	Det færdige byggeri	Boligbyggeri, kontorbyggeri, undervisningsbyggeri
		Nybyggeri og omfattende renoveringer, som sidestilles nybyggeri. Boliger med under 4 enheder er undtaget	Væsentlige bygningsdele	Kun nybyggeri af boliger og kontorbyggeri over 100 m ²	Kun nybyggeri af boliger og kontorbyggeri over 100 m ²	Planlagt udvidelse
				Fra 2024 er alt nybyggeri omfattet		
				LCA modul A4 også påkrævet i udbud		
	Grænseværdi	Nej	Nej (indføres tidligst i 2025)	Nej	Ja	Ja
	Emissionsdata	EPD	National database	National database	National database	National database
		Generiske data fra anerkendte kilder, herunder internationale, skal forøges med 25% medmindre tillæg er allerede inkluderet	(Boverkets klimadatabas)	(Emissionsdatabase for byggeri)	(NMD)	(INIES)
		Generiske data fra anerkendte værktøjer	EPD	EPD		Generiske data på Mlab platformen
						EPD, PEP ecopassport
A4	Omfattede transport	Kun for byggevarer og spild, men ikke emballage, interims- og øvrige materialer	Kun væsentlige bygningsdele inkl. emballage (i henhold til øvrige faser)	Ikke materiel	ikke defineret nærmere	Byggevarer
			Ikke materiel og bortkørsel af jord			
	Udnyttelsesgrader	Frem: ikke fastlagt	Frem: ikke fastlagt	Frem: ikke fastlagt	Frem: ikke fastlagt	Frem: ikke fastlagt

	Norge	Sverige	Finland	Nederlandene	Frankrig	
	Retur: Ikke fastlagt	Retur: 0%	Retur: 0%	Retur: 0% (eller specifik)	Retur: Ikke fastlagt	
Standardværdier [kgCO ₂ e/m ² år]	Beton 50 km, andre varer 300 km plus eventuel import	Generiske værdier for energi og brændstof til A4 og A5 Generiske værdier for A4 og A5 per materialevægt Baggrund for generiske værdier: Distribution 1,0 MJ/ton km Udlevering 1,5 MJ/ton km	A4 til brug ved byggeandragende: 0,43 Yderligere emissionsfaktorer for forskellige transportmidler med varierende udnyttelse afhængigt af vejmodstand	Klapmateriale: 50 km Byggevarer: 150 km Specifik beregning for import (til Utrecht ved ukendt gennemsnitlig afstand)	-	
Dokumentation	1. EPD, skal omregnes til konkret afstand 2. Forsimplet beregning med Euro 5 lastbil 16 – 32 ton med 50 % fyldingsgrad (transportkalkulator på lca.no) og standardemissionsfaktorer 3. Detaljeret beregning	1. Baseret på faktisk brændstofforbrug 2. Beregning baseret på vægt, afstand og transportmiddel 3. Forsimplet beregning baseret på vægt	Specifik beregning	-	-	
A5	EI	Modul A5 er ikke omfattet (med undtagelse til spild)	Ja, men ikke for terrænarbejde	Ja, kun købt energi	-	Ja
	Varme			Ja, kun købt energi		Ja
	Brændstof			Ja, kun købt brændstof		Ja
	Vand		Nej	Nej		Ja
	Byggeaffald	Produktion af spild Produktion af emballage antages inkluderet i A1-3 Interims- og øvrige materialer ikke inkluderet Allokeres i modul A1-3	Ja, men kun materialespild og kun fra væsentlige bygningsdele Spild kan også anvendes fra EPDer	Ja	Al affald, også under transport er allokeret i A5 Affaldsscenerier kan enten være generiske eller specifikke	Påvirkninger er inkluderet i EPD
	Transport	Nej	Kun transport på pladsen Ikke bortkørsel af affald	Bortkørsel af affald	Ja	Bortkørsel af affald og udgravet jord

	Norge	Sverige	Finland	Nederlandene	Frankrig
Standardværdier [kgCO ₂ e/m ² år] (1)	Spild: Generiske data fra anerkendte værktøjer	Spildprocenter for alle byggevarer, herunder Flydende beton 3% Sten/blokke: 5% Byggeplader: 10-12%	Kontor: 1,56 Boliger: 0,92 Skole, institutioner: 1,2 Terrænarbejde: 0,14 Jordstabilisering: 0,04 kgCO ₂ e/kg stabilisator	Spildandel (byggeaffald): Præfabrikation: 3% Insitu: 5% Overflader mv.: 15%	Forsimplinger for nogle anvendelser baseret på grundstørrelse, brug af kraner og andre parametre
Dokumentation	Spild vil normalt beregnes som difference mellem leveret og estimeret materialemængde fx i udbudsprogrammer	Spild vil normalt beregnes som difference mellem leveret og estimeret materialemængde fx i udbudsprogrammer	Enten standardværdier eller specifik beregning Der kan anvendes nationale emissionsdata eller data fra andre anerkendte kilder	A5 er ofte ikke inkluderet i praksis	Frivillig dokumentation af en række øvrige indikatorer

1) Klimapåvirkning på bygningsniveau er altid angivet per areal og delt med referenceperioden på 50 år jf. BR klimakrav

I Storbritannien har brancheforeningen RICS udgivet et regelsæt [37] for bygningers klimaberegning, som er frivillig at bruge. Metoden indeholder følgende standardafstande for transport i A4 afhængigt af herkomsten af byggevaren:

- Lokal produceret (beton, grus, jord): 50 km lastbil
- National produceret (gipsplader, mursten, isolering): 300 km lastbil
- Europæisk produceret (CLT, facadeelementer, tæpper): 1.500 km lastbil
- Global produceret (speciel stenbeklædning): 200 km lastbil, 10.000 km containerskib

Derudover findes en standardværdi for hele modul A5 baseret på anlægsomkostninger. Ved beregning af byggeaffald kan der bruges standard spildprocenter fra WRAP affaldsberegneren.

Der kan drages en række konklusioner fra denne gennemgang. Da landene er underlagt EU/EØS samarbejdet, kan der ses en generel udvikling hen imod en fuld deklaration af livscyklussen. Ifølge det reviderede Bygningsdirektiv [3] skal der kræves en fuld LCA for alle nye bygninger over 2.000 m² i år 2027 og alle nye bygninger i 2030, som forventes at harmonisere landenes tilgange og afgrænsninger over de kommende år.

Forskelle i metoder ligger mest i, hvordan lovgiveren eller administratoren prøver at lette overgangen til de nye regler, så der ikke opstår u hensigtsmæssig høje administrative omkostninger. Derfor anvendes generiske og standardværdier lidt forskellig afhængig af det pågældende lands øvrige lovkrav og byggebranchens praksis. I Norge bygger metoden i stor grad på brug af EPDer, som passer til den høje dækningsgrad af EPDer i landet. De øvrige lande har nationale emissionsdatabaser til sikring af tilgængelige data for alle dele af klimaberegningen. Alle nordiske naboer er tilbageholdende med at inddrage energiforbrug til opførelsesprocessen som en regulær del af klimaberegningen og grænseværdi i lyset af den større variation af jordforhold og muligvis klimaforholdene sammenlignet med Danmark. Gennemgående for Norge og Sverige er dokumentation af den beregnede mængde af spildmaterialer,

det vil sige uden brug af den faktiske affaldsmængde. Det kræver en opgørelse af alle leverancer til byggepladsen i samme struktur som udbudslisten samt en beregning eller et estimat af spildprocenten. Til gengæld er der sikkerhed i bestemmelsen af hvilke materialer der går til spilde sammenlignet med en affaldscontainer, hvis sammensætning kan variere for blandet affald.

De nordiske naboer udelader følgende krav fra EN 15978:

- Transport af materiel i A4
- Tab i forbindelse med transport i A4
- Transport fra pladsen i A5 (bortkørsel af affald og jord)

Parametre som udnyttelsesgrader af transportmidler og tom returkørsel behøves ikke dokumenteres eller der kan benyttes standardiserede nationale data eller EPD.

Der findes ikke løsninger for håndtering af påvirkninger fra præfabrikation udenfor byggepladsen, eksempelvis i element- eller modulfabrik. Påvirkninger kan indebære processer som transport af varer til fabrikken, energiforbrug til præfabrikation samt spild og affald. EPD og nationale emissionsdata specifikt udviklet for præfabrikerede produkter indeholder allerede disse påvirkninger i modul A2 og A3. Her bør påvirkningerne ikke opgøres igen i A4 og A5. Hvis emissionsdata for produktionen ikke indeholder disse processer, skal disse dokumenteres i A4 og A5. Bortset fra denne regelmæssige produktionsvirksomhed kan der forekomme præfabrikation eller montering på en midlertidig lokation udenfor bygningens matrikel.

Standardværdier er et bærende element i alle landes implementering af LCA i lovregulering. Gennemgående er at disse generiske emissionsdata eller beregningsforudsætninger indebærer højere klimapåvirkninger en brug af specifikke data. Grunden er at der anvendes forøgelsesfaktorer, som tillægges den beregnede eller målte værdi, der ligger til grund for standardværdien. Generiske data til direkte anvendelse i byggeprojekter som Ökobaudat eller nationale databaser anvender oftest tillæg i størrelsesorden af 10-30% afhængig af forskellige forhold. Standardværdien vil såmænd ligge i den høje ende af de mulige faktiske forhold og udgør en konservativ tilgang, der normal ville overvurdere påvirkninger. Dermed giver standardværdier fortsat incitament til at arbejde med specifikke data, der giver mulighed for at bedre resultat. PrEN 15941 [38], som er forslag til en revideret standard for den praktiske anvendelse af generiske miljødata og EPD, herunder vurdering af kvalitet og repræsentativitet, foreslå brug af tillægsfaktorer i tilfælde af usikkerhed i data. Ifølge standarden er fastlæggelsen af korrektionens størrelsesordenen en konkret vurdering. Standardens anvendelsesområder ligger i øvrigt udenfor brug til udvikling af nationale databaser.

Ifølge et litteraturstudie i forskningspublikationen [9] findes der kun få internationale analyser af ressourceforbrug og klima- og miljøpåvirkninger under byggeprocessen. Heri har 9 studier specificeret emissionerne i modulerne A4 og A5, men med varierende metoder og omfang. Resultaterne for transport ligger mellem 0,05 og 0,72 (median 0,33) kgCO₂e/m² år. mens opførelsen ligger mellem 0,45 og 1,43 (median 0,67). Den finske miljødatabase [35] oplyser standardværdien 0,45 kgCO₂e/m² år i modul A4 og værdier varierende afhængigt af anvendelsen mellem 0,77 og 1,30 (median 1,00) i modul A5, som kan anvendes til byggeanddragende. I disse tal er 20% usikkerhedsmargen fjernet. I Storbritanniens frivillige ordning [37] ligger standardværdien for A5 på 0,6 kgCO₂e/m² år [37]. Den britiske værdi er beregnet som sum af standardværdi for byggepladsprocesser og byggeaffald.

4.0 Analyse

4.1 Metode: Transport A4

4.1.1 Definitioner

Kortlægningen af transportpåvirkninger skal afspejle de anbefalede dokumentationskrav for at give retvisende referencetal. At metoden for analysen og dokumentationskrav er beskrevet hver for sig skyldes ønsket om at holde redegørelsen for analysen og kravstilling adskilt. Definitioner er opsummeret i Tabel 9 og forklares i det følgende.

I kortlægningen har det ikke været muligt at indsamle et tilstrækkeligt datagrundlag af specifik transport på et nævneværdigt antal byggeprojekter. Derfor blev der i stedet udviklet standardværdier for alle væsentlige grupper af byggevarer ud fra forskellige tilgængelige kilder, som indbefatter EPD, brancheforeninger og producenter. Disse værdier anses som en første version af standardværdier, som bør justeres regelmæssigt i forhold til tilgængeligt repræsentative data.

Tabel 9. Definitioner i modul A4 anvendt i analysen.

Emne	Definition
Hvilken fragt	Alle byggevarer, der indgår i bygningsmodellen. Emballage indgår delvist. For transport af materiel anvendes en standard emissionsfaktor på 0,02 kgCO ₂ e/m ² år per projekt. For transport af spild og materialer udover bygningsmodellen anvendes en standardværdi på 0,02 kgCO ₂ e/m ² år per projekt.
Hvilke transport	I standard emissionsfaktorer for produktgrupper indgår der alle typiske transportled fra fabrik, herunder import, distribution og udlevering til byggeplads. For terminalprocesser anvendes en standardværdi på 0,02 kgCO ₂ e/m ² år per projekt.
Emissionsfaktorer	Standard emissionsfaktorer for en række byggevarer er udviklet fra EPDer. Manglende data er suppleret med egne beregninger ved brug af GLEC emissionsfaktorer for transportmidler. Disse standardværdier er derefter brugt til at beregne modul A4 i 9 specifikke bygningscases.
Udnyttelsesgrad, tomgang, tomkørsel, returkørsel	Disse kapacitetsparametre indgår allerede i de anvendte datakilder til udvikling af emissionsfaktorer.
Tab under transporten	Medtages ikke.
Sum af anvendte standard emissionsfaktorer	0,06 kgCO ₂ e/m ² år per projekt.

Kortlægningen medtager alle byggevarer, der indgår i de undersøgte projekters bygningsmodeller. Emballage indgår kun for så vidt det er inkluderet i anvendte EPDer og dermed i standard emissionsfaktorer for produktgrupper. Der blev ikke indsamlet empirisk data for terminalprocesser og transport af materiel, som begge erstattes med en standardværdi baseret på et kvalificeret skøn.

Kapacitetsparametrene indgår i de anvendte GLEC emissionsfaktorer og EPDer. Forudsætningerne varierer dermed afhængigt af de tilgrundliggende datakilder og regneregler for produktkategorier. Transport af overskydende byggevarer eller hjælpematerialer er ikke en del af dataindsamlingen. Standardværdien er sat på et niveau svarende til spildprocenten for byggevarer med høje transportpåvirkninger som elementer og blokke, der ligger på højst 5%. Det vurderes yderligere at der ikke sker nævneværdige tab under transport. Affald grundet transport-tab vil indgå som byggeaffald i modul A5. Alt i alt indgår alle tre standardværdier i analysen, som tilsammen udgør et tillæg på 0,06 kgCO₂e/m² år per projekt.

Der er anvendt de mest aktuelle emissionsfaktorer for transport og brændstofforbrug med henblik på at skabe et datagrundlag for implementering af krav i bygningsreglementet i 2025. Kilden er den aktuelle GLEC version 2 fra 2019, men bør opdateres efter den nye udgave af GLEC fra 2023.

4.1.2 Standard emissionsfaktor for produktgrupper

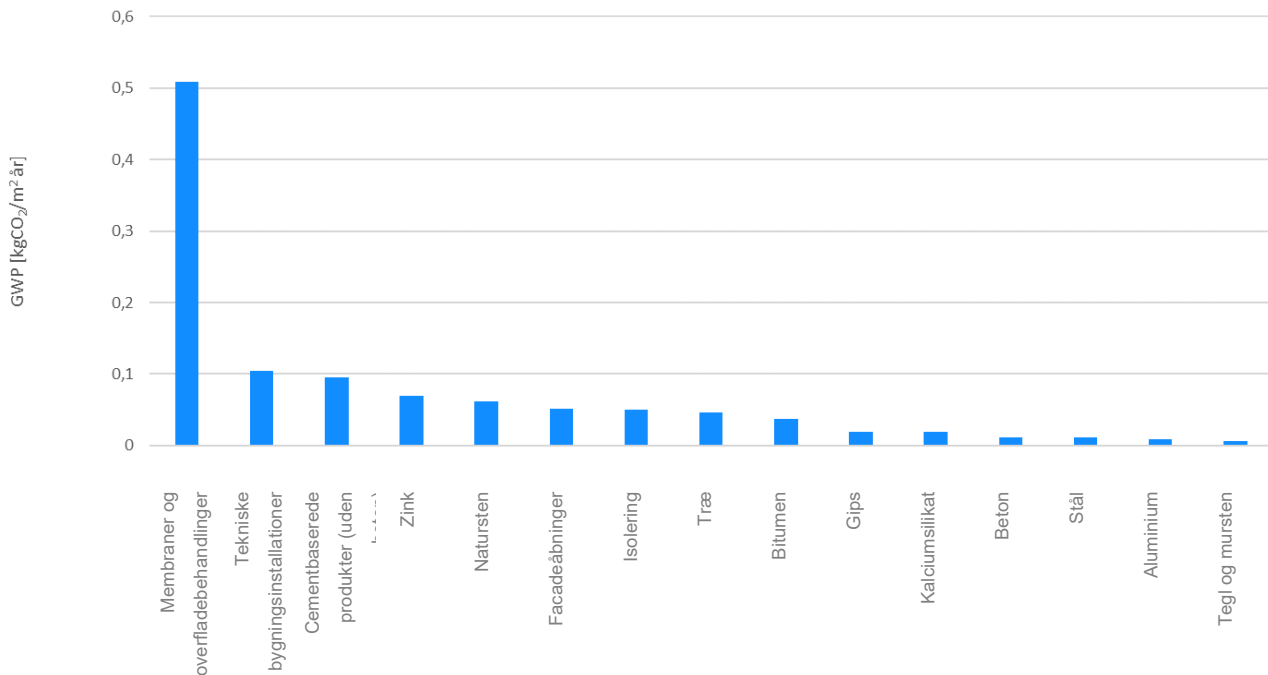
Der findes ikke statistik over transportforhold specifikt for byggeriet. I projektet blev der undersøgt, hvorvidt det er muligt at kortlægge transportforhold på basis af følgesedler og fakturaer. Dette har vist sig at være behæftet med usikkerhed, da følgesedler ofte angiver adressen for salgsafdelingen, som ikke nødvendigvis stemmer overens med lageradressen. Transportoplysninger i EPDer kan være nyttige, men angiver ofte ikke de faktiske transportforhold, men en generisk værdi på 50 eller 100 km, som skal skaleres med projektspecifikke oplysninger. For at muliggøre en tilnærmelsesvis beregning af A4 i byggeprojekter har det derfor været nødvendigt at udvikle referenceværdier for transport for væsentlige grupper af byggevarer. Værdierne er forhøjet med en faktor på 1,25 for at tage højde for usikkerhed i generiske værdier. Resultaterne udgør samtidig standard emissionsfaktorer, som kan anvendes til dokumentation af kommende krav.

Dataen er i overvejende grad baseret på relevante EPDer og er beregnet som gennemsnit af relevante byggevarer for det danske marked indenfor grupperne. I enkelte tilfælde blev der indsamlet statistisk branchedata fra leverandør eller brancheorganisationer. Manglende data blev suppleret med en afsøgning af relevante produktionssteder, herunder fra EPDer. Importvarers transportafstand blev beregnet med Odense som destination, som har en beliggenhed tilnærmelsesvis i midten af landet. For oversøisk import antages omlastning i Hamborg havn, hvis ikke andet er oplyst. Transport for tekniske bygningsinstallationer er generelt baseret på en estimeret afstand på 500 km på grund af kompleksiteten og manglende data for varegruppen. Der er ikke taget højde for transport af byggevarer til præfabrikation.

I et indledende step blev byggevarer, som er en del af bygningsmodellen, kategoriseret i grupper efter materialetype. Grupperne blev dernæst opdelt i undergrupper, der skal afspejle mulige forskelle i transportforhold, som kan forekomme på det danske marked. Der blev som minimum indsamlet ét sæt transportdata i hver undergruppe. Afhængig af repræsentativiteten blev der beregnet et gennemsnit af transportforhold mellem flere kilder. Udvalg af repræsentative EPDer og deres vægtning er baseret på skøn, da der ikke findes en markedsstatistik over de leverede produkter til nybyggeri og heller ikke hvilke transportkæder der er knyttet til dem. I udviklingen indgår 90 datasæt, hvoraf 81 er produkt- eller branche EPD med deklarerede påvirkninger i A4. Hvor EPDen kun oplyser generisk afstand, er påvirkninger skaleret med den antagne typiske afstand. Påvirkninger er omregnet fra den funktionelle enhed til vægt hvor nødvendigt. I 5 EPD, som ikke deklarerer A4, er påvirkninger beregnet efter de deklarerede oplysninger om transport. Fire datasæt om tekniske bygningsinstallationer anvender en standardafstand på 500 km og emissionsfaktor for tung lastbil grundet manglende datagrundlag.

Tabel 10 og Figur 1 viser standard emissionsfaktorer for produkt undergrupper per kg. Baseret på vægt ses her at membraner og maling samt natursten har et højt aftryk. Gruppen af tekniske installationer trækkes op af den oversøiske solcelleproduktion. Tunge

varer som beton, mursten og stål har forholdsvis lave aftryk grundet den lokale forarbejdning til endelige produkter. For armeringsstål kan det virke misvisende, da der ikke er produktion af rå stål i Danmark. Grunden, hvorfor import ikke er medregnet, er at den endelige forarbejdning finder sted i Danmark.



Figur 1. Klimapåvirkning for transport af produktgrupper, sorteret efter gennemsnit af klimapåvirkning. De bagvedliggende standard emissionsfaktorer for undergrupper er angivet i Tabel 10. Resultater indeholder en usikkerhedsfaktor på 1,25.

Tabel 10. Klimapåvirkning for transport (modul A4) af grupper og undergrupper per 1 kg produkt. Resultater indeholder usikkerhedsfaktor på 1,25. Værdier for undergrupper udgør standardemissionsfaktorer.

Gruppe	GWP [kgCO ₂ e/kg]	Undergruppe (standard emissionsfaktorer)	GWP [kgCO ₂ e/kg]
Beton	0,0116	Fabriksbeton	0,0024
		Væg- og dækelementer	0,0110
		Øvrige elementer	0,0214
Træ	0,0460	Konstruktionstræ	0,0074
		Træplader, brædder og gulve	0,0491
		Træelementer	0,0814
Stål	0,0108	Armeringsstål	0,0091
		Plader og profiler	0,0124
Aluminium	0,0086	Plader og profiler	0,0086
Gips	0,0188	Gipsplader	0,0166
		Mørtel og puds	0,0209
Tegl og mursten	0,0068	Mursten	0,0045
		Tagsten	0,0090

		Porebeton	0,0701
Cementbaserede produkter (uden beton)	0,0951	Letklinker	0,0041
		Fibercement	0,2011
		Cementbaseret mørtel og puds	0,1050
		Kalciumsilikat	0,0185
Kalciumsilikat	0,0185	Kalksandsten	0,0185
Zink	0,0695	Zinkbeklædninger	0,0695
Bitumen	0,0378	Tagpap	0,0378
Facadeåbninger	0,0518	Vinduer og døre	0,0846
		Curtain wall facader	0,0190
Natursten	0,0614	Natursten	0,0614
Isolering	0,0495	EPS	0,0609
		Kalciumsilikat	0,0029
		Cellulose	0,0721
		Træfiber	0,0920
		Mineraluld	0,0196
Membraner og overfladebehandlinger	0,5086	Dampspærre	0,9375
		Paint	0,0798
Tekniske bygningsinstallationer	0,1041	Solceller	0,2960
		Ventilation og køl	0,0561
		Varme	0,0561
		Mekaniske anlæg	0,0561
		Vand og afløb	0,0561

Tabel 24 i bilaget viser transportafstande fra de undersøgte EPD til orientering. Emissionsfaktorer er først og fremmest beregnet ud fra deklarerede emissionsdata i modul A4 og kun undtagelsesvis ved hjælp af lokation og afstand, hvor emissionsdata ikke var tilgængelig.

4.1.3 Case analyse

Casestudiet anvender de her udviklede standardværdier for transportpåvirkninger på konkrete bygninger. Resultater viser derfor variation i mængdeforhold af byggevarer i casene, men ikke specifikke transportforhold. Projekterne er fra 2015-23 og udgør et bredt udvalg af anvendelser og skalaer for at illustrere variation bedst muligt (Tabel 25). Materiale mængderne blev leveret af rådgivere og kvalitetstjekket af BUILD. De forskellige anvendelser er sammenfattet i koder i henhold til Tabel 13. Til forbedring af resultaterne repræsentativitet bør der indsamles en større mængde data fra leverandører og konkrete registreringer af transportkæder i projekter i fremtiden.

4.2 Metode: Opførelse A5

4.2.1 Definitioner

Udførelsesfasen i modul A5 indeholder ret forskellige processer som energiforbrug, transport og affaldsproduktion. El- og varmemeforbrug måles i forvejen og betales regelmæssigt til forsyningsvirksomhed. Affald bliver ligeledes registreret systematisk hos den håndterende virksomhed. Brændstofforbrug fra alle aktører i byggeperioden og transportforhold ved bortkørsel registreres normalt ikke, da deres omkostninger ikke faktureres separat. Data i nærværende analyse blev indhentet dels som samling af fakturaer hos entreprenør og som udtræk fra leverandør. De anvendte definitioner i analysen er baseret på EN 15978, se

oversigten i Tabel 11. Undtagelsen er at vandforbrug ikke er inkluderet, da klimapåvirkning forbundet med vandproduktion er forsvindende lille og vandforbrug som ressourceparameter ikke indgår i BR klimakravene på nuværende tidspunkt. Hvor nødvendigt blev standardens anvisninger fortolket til at opnå en mere detaljeret definition, herunder med hensyn til vedvarende energiproduktion, præfabrikation samt bagatelgrænser. Data for bortkørsel af jord og affald har ikke været tilgængelig i kortlægningen og blev erstattet med en standardværdi baseret på et kvalificeret skøn.

Energiforbrug til opvarmning af råhus, skure eller skurby er påvirket af de konkrete vejrforhold. Målinger kunne i princippet korrigeres for disse forhold ved hjælp af graddagskorrektion, som også benyttes i energimærkningsordningen. Dette anbefales dog ikke, da varmen også kan frembringes via el, hvis forbrug indeholder både el til opvarmning og andre processer, som ville føre til forkerte resultater. Det skyldes, at der normalt ikke måles el til opvarmning separat.

Tabel 11. Definitioner i modul A5 anvendt i analysen.

Emne	Definition
Måleperiode	Fra eventuel byggemodning til tidspunktet for ibrugtagningstilladelse. Forudgående nedrivning er ikke inkluderet.
Inkluderede processer	Målt forbrug af el, varme og brændstof i måleperioden. Vandforbrug indgår ikke. Geografisk medtages processer i direkte tilknytning til opførelse af bygningsværket. Udover byggegrunden indebærer det øvrige beliggenheder, der anvendes til opførelsesprocessen, herunder til midlertidigt lager eller montage. Der blev ikke indsamlet data om ressourceforbrug under præfabrikation.
Elforbrug	Elforbrug dækker alle former for forbrug, det vil sige skurby, byggestrøm og råhus. Ingen case har produceret vedvarende el under byggeperioden.
Varmeforbrug	Indsamlet data har udelukkende været fjernvarme. Ingen case har produceret vedvarende varme under byggeperioden.
Brændstofforbrug	Der blev indsamlet de tilgængelige registreringer af brændstofforbrug. Underentreprenører var ikke inkluderet i dataindsamlingen. En bagatelgrænse for maskiner er ikke fastlagt. Brændstofforbrug er udelukkende diesel. Andelen af midlertidigt brug af brændstof til opvarmning eller udtørring er muligt, men ikke registreret. Eldrevne maskiner indgår i elforbrug.
Byggeaffald	Alt bortkørt byggeaffald indgår som udgangspunkt. Eventuel separat bortkørsel af underentreprenør er ikke registreret. Byggeaffald indgår som materialers produktion (moduler A1-3) og bortskaffelse (C3-4). Moduler beregnes med samme metode som bygningen i øvrigt. Der er udviklet standard emissionsfaktorer for fraktioner i denne rapport, som er baseret på det estimerede indhold af byggevarer i fraktioner. Fraktioner er forsøgt harmoniseret, da affaldsbranchen bruger forskellige betegnelser ved fakturering.
Transport	Der blev ikke indsamlet data om vejtransport i modul A5, såsom bortkørsel af byggeaffald og jord eller transport mellem forskellige beliggenheder. For bortkørsel af jord anvendes en standard emissionsfaktor på 0,06 kgCO ₂ e/m ² år per projekt. For bortkørsel af byggeaffald anvendes en standard emissionsfaktor på 0,06 kgCO ₂ e/m ² år per projekt.
Emissionsfaktorer	

Tabel 12 giver et overblik over de anvendte emissionsfaktorer.

For el og varme anvendes bygningsreglementets emissionsfaktorer for 2025. For byggeaffald benyttes standard emissionsfaktorer udviklet i denne rapport. For brændstof og transport benyttes emissionsfaktorer i henhold til definitioner for modul A4 i denne rapport.

Sum af anvendte standard emissionsfaktorer 0,12 kgCO₂e/m² år per projekt.

Der er anvendt de mest aktuelle emissionsfaktorer for at skabe et datagrundlag for implementering af krav i bygningsreglementet i 2025. Se

Tabel 12 for en oversigt. Faktorer for energi er derfor baseret på år 2025, men faktorer for byggeaffald er baseret på det generiske datagrundlag til den kommende opdatering af bygningsreglementet i 2025. Faktorer for transport er fra GLEC version 2 fra 2019.

Tabel 12. Emissionsfaktorer i modul A5, som blev anvendt i analysen.

	Delemne	GWP	Enhed	Kilde
	El	0,135		
Energi (år 2025)	Fjernvarme	0,0878	kgCO ₂ e/kWh	BR, bilag 2, tabel 8 [1]
	Ledningsgas	0,189		
	Diesel	3,11168	kgCO ₂ e/l	
Transport	Lastbil >20t	92	gCO ₂ e/ton km	Flere værdier findes i Tabel 6 og GLEC vejledning [17]
Byggeaffald	Fraktioner	-	kgCO ₂ e/kg	Se Tabel 14

4.2.2 Case analyse

Undersøgelsen bygger på indsamling af forbrugsdata fra nyere danske byggepladser til nybyggeri, se fordeling af etagearealer i bilagets Tabel 25. De forskellige anvendelser er sammenfattet i overordnede koder i henhold til Tabel 13. Her har blandet anvendelse af bolig med erhverv sin egen kategori og en lang række offentlige institutioner er slået sammen under institutioner. Der er i alt brugt 46 cases, hvorfra 38 stammer fra opsøgende arbejde og 8 er testprojekter, som blev indleveret på evalueringsplatformen til den frivillige bæredygtighedsklasse. Byggepladser er fordelt på regionerne: Hovedstaden (23), Midtjylland (9), Syddanmark (6), Nordjylland (2) og anonym placering (7). Dataindsamlingen foregik i perioden 2021-2023 og projekterne er blevet færdigmeldt mellem 2016-2023. Kilde til dataindsamlingen er fordelt på 6 entreprenørvirksomheder, 4 typehusfabrikanter, 5 arkitekttegnestuer og 1 rådgivende ingeniørfirma, det vil sige 16 virksomheder i alt.

AI dataindsamling er baseret på en dialog mellem Build og de virksomheder, som gerne ville dele data om fremgangsmåde og omfang af indsamlingen. I dialogen blev der ydermere indsamlet viden om virksomheders mulighed for denne type dataleverancer på afsluttede projekter samt udsagn om, hvilke igangværende og mulige fremtidige tiltag der vil kunne understøtte en mere smidig dokumentation.

Tabel 13. Anvendelseskoder til casestudier i både modul A4 og A5.

Kode	Anvendelseskategorier	Casenes oplyste anvendelse
BE	Bolig & Erhverv	Bolig & Erhverv
EB	Etageboliger	Etageboliger

EKR	Enfamiliehuse, kædehuse, rækkehuse	Rækkehus Enfamiliehus
ER	Erhverv	Hotel Detailhandel
IN	Institution	Døgninstitution Hospital Skole Børneinstitution Kultur Fritidshjem Daginstitution Ældrebolig Kollegie
KB	Kontorbyggeri	Kontorbyggeri

4.2.3 Dataindsamling

Beregningen af klimapåvirkning af ressourcerne el, varme, brændstof og byggeaffald er typisk sket baseret på data fra entreprenør eller entreprenørens leverandører. Formatet har enten været fakturaer eller udtræk fra leverandørens kundekartotek. El, varme og byggeaffald bliver typisk afregnet hver måned. Summen af disse fakturaer giver det samlede forbrug i byggeperioden. Opgørelsen har vist sig at være forholdsvis tidsbesparende ved en korrekt indregistrering af de modtagne fakturaer. Hvor muligt har leverandørudtræk været det foretrukne valg med hensyn til kvalitet og tidsforbrug.

Brændstof afregnes på forskellig vis afhængigt af projektets form og skala. Større projekter kan have en fælles byggepladstank, som tankes op via en central aftale med tankselskab. Disse forbrugsdata er tilgængelig på samme vis om energi og vand, det vil sige som fakturaer hos kunde og kundedata hos leverandør. Andet forbrug kan forekomme, når der ikke benyttes en tank i mindre projekter eller når dieseldrevet materiel kun bruges kortvarigt uden optankning på pladsen. Det var ikke muligt i de leverede data om brændstofforbrug at verificere, hvilket omfang af forbrug der var inkluderet og hvilket forbrug der ligger udenfor. Det gælder også forbrug knyttet til eventuelle underleverandører. Brændstofforbruget må derfor antages som lavt sat.

I byggeaffald indgår der alt bortkørt erhvervsaffald i henhold til affaldsbekendtgørelsen. Dette indebærer både materialespild knyttet til transport, lagring, håndtering såsom fugtskader, afskær og rester. Emballage og affald knyttet til temporære konstruktioner er også medtaget. Forudgående nedrivning indgår ikke. Metoden for indsamlingen har derfor omfattet alt bortkørt byggeaffald fra pladsen, som oftest blev håndteret af en professionel transportør. Data om bortkørt mængde af de enkelte fraktioner fremgår faktura til entreprenør eller hentes fra kundesystemet hos transportøren. Affaldet kildesorteres i fraktioner, som kan variere i projekterne. Det har ikke været muligt at rekvirere data om indholdet af blandede fraktioner fra affaldsmottagere.

En alternativ metode til at opgøre materialespild er at beregne forskellen mellem leverede og monterede byggevarer, som anvendes i Norge og Sverige. Fordelen kan være en mere præcis mængdeberegning af de bortskaffede byggevarer sammenlignet med estimeringer af materialeindhold i affaldsfraktioner ved hjælp af standard emissionsfaktorer. Metoden bør afprøves i Danmark og potentialer undersøges nærmere. På grund af de markant forskellige tilgange anbefales det ikke at tillade begge metoder på nuværende tidspunkt. Da opgørelse baseret på byggeaffald har været afprøvet og praktiseres siden test af den frivillige bæredygtighedsklasse 2020-23, anvendes denne metode her. Fordelen er en lav arbejdsbyrde, da beregningen er baseret på den i

forvejen tilgængelige affaldsmængde. Beregningsforudsætninger og udvikling af standard emissionsfaktorer for byggeaffald bliver gennemgået i efterfølgende afsnit.

De fleste cases mangler data indenfor en eller flere delemler. Manglende el- eller varmekonsum forekommer typisk, hvor bygherre stiller energi til rådighed og afregner direkte med forsyningselskab. I enfamiliehusbyggeri bliver fjernvarme ofte ikke afregnet før ibrugtagningen starter. Brændstofforbrug bliver som udgangspunkt ikke registreret, hvor der ikke benyttes en byggepladstank, som ofte er tilfældet for mindre projekter. Der indgår derfor i undersøgelsen forholdsvis få projekter med brændstofforbrug, hvor nogle forbrug er mål og andre er beregnet baseret på maskintimer i henhold til FBK vejledningen.

Det er forsøgt kun at medtage registrerede forbrug, som vurderes at være korrekt og fyldestgørende indenfor hvert delemne. Kvaliteten blev vurderet med hensyn til måleperiode, antal af målinger og dokumentation. Fra 139 indsamlede cases blev der anvendt resourcedata for 52 cases. Udover specifikke fejlkilder ligger der en potentiel systematisk fejl med hensyn til forbrug hos underentreprenører. Disse kan stå for en mindre del af byggeaffald, hvis ikke de deltager i den fælles affaldsordning, og derudover er de oftest selv ansvarlige for drivmidler, hvorfor de ikke må benytte sig af byggepladstanken. Det har ikke været muligt i dette studie at indsamle forbrugsdata fra underentreprenører eller estimere deres typiske andel af forbruget. Da den potentielle størrelsesorden er ukendt, kan resultaterne ikke korrigeres med et tillæg på nuværende tidspunkt. I de udvalgte cases til analysen vurderes det, at både byggeaffald og brændstof er opgjort fyldestgørende.

4.2.4 Standard emissionsfaktorer for affaldsfraktioner

Byggeaffaldet opgøres i fraktioner og blandinger heraf, som typisk samles i affaldscontainere eller sække og afhentes af transportør til aflevering hos modtagerstation. Resultatet er en lovpligtig opgørelse af de bortkørte affaldsfraktioners mængde på faktura til entreprenør. Data er også tilgængelige i transportørens kundekartotek, som med fordel kunne udlevere en opgørelse ved afslutning af byggepladsen. En klimapåvirkning af byggeaffald kræver viden om fraktioners indhold. Da data om indhold af affaldsfraktioner i større skala ikke er tilgængelige, er sammensætningerne blevet estimeret i dialog med branchen, se Tabel 14.

De valgte affaldsfraktioner er bestemt ud fra de modtagne registreringer fra fakturaer og udtræk fra transportører. I praksis anvendes der flere forskellige og ikke ensartede navne for fraktioner. Her var det nødvendigt at oprette en ensrettet datastruktur, som indeholder mindst mulige, men dækkende og entydige navne for fraktioner. EAK-koder, som modtageranlæg benytter til den miljømæssige afrapportering, kan ikke bruges her, da de ikke er en del af kommunikationen mellem transportør og entreprenør. Dette område bør videreudvikles således de specifikke vejninger kan afløse de her udviklede standardværdier for fraktioner, som er behæftet med betydelig usikkerhed.

Tabel 14. Standard emissionsfaktorer for 1 kg fraktion af byggeaffald og den estimerede materialesammensætning.

Fraktion	GWP [kgCO ₂ /kg]	Andel [%]	Materiale
Plast	5,92	80	EPS
		20	Dampspærre
Glas	2,02	100	Rude
Metal	1,97	90	Stålprofil
		10	Aluminiumprofil

		20 Byggepap
		20 OSB
Brændbart	1,94	20 Træ
		20 Pap
		20 EPS
Vinduer	1,49	67 Rude
		33 Træ
Gips	0,77	100 Gipsfiberplade
Isolering	0,69	100 Mineraluldsisolering
		80 Beton
Deponi	0,66	10 Mineraluld
		10 PVC rør
		56 Beton
		24 Mursten
		10 Mineraluld
Blandet	0,45	2 Byggepap
		2 OSB
		2 Træ
		2 Tagpap
		2 EPS
Pap	0,44	100 Pap
		10 OSB
Træ	0,14	90 Træ
Tegl	0,36	100 Mursten
		70 Beton
Brokker	0,23	30 Mursten
Beton	0,17	100 Beton
Asfalt	0,07	100 Asfalt

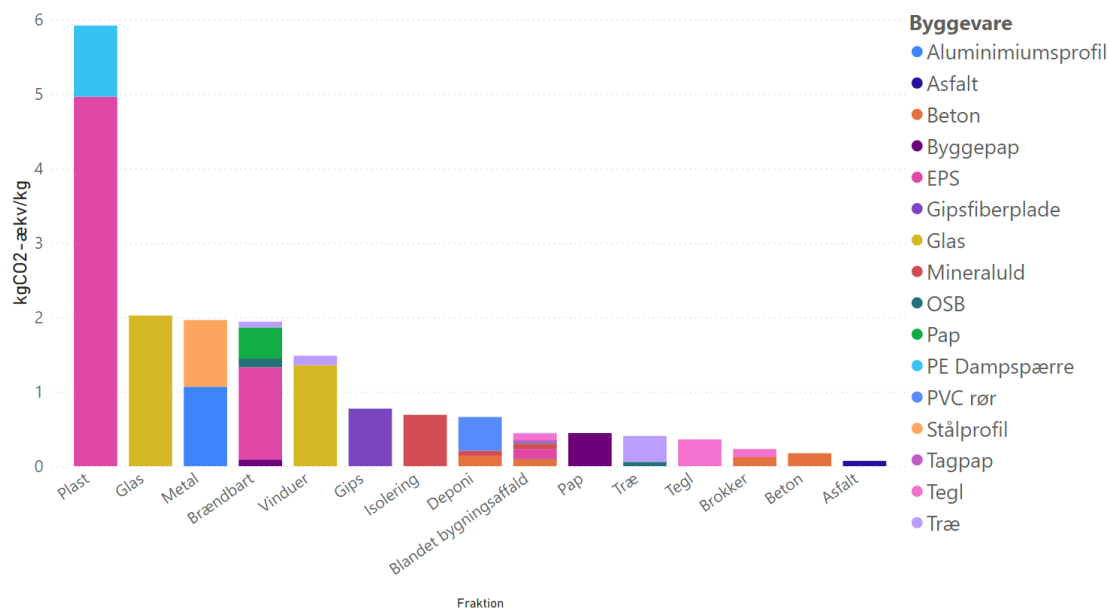
Affaldsfraktionernes klimapåvirkning er baseret på de kommende generiske klimadata i BR bilag 2, tabel 7 for 2025 [39]. Alle materialer i affaldsfraktionerne indgår med påvirkninger for produktion (A1-3) og affaldsbehandling (C3-4). Påvirkninger vil dog allokeres til modul A5. Byggeaffald forårsager også påvirkninger indenfor transport (A4). Det bedste datagrundlag til at beregne transportpåvirkninger er dog mængden af leverede materialer, som i forvejen indgår i modul A4. Her indgår transport og ofte emballage afhængig af metode. Hjælpe-materialers andel i byggeaffald vurderes at være lav og deres transport indgår ikke.

I beregning af affaldsbehandling tages udgangspunkt i generiske affaldsscenarioer og ikke den faktiske behandlingsform. Dermed opretholdes en ensartet metode i hele bygningens livscyklus jævnfør BR klimakravene, som er baseret på generiske affaldsscenarioer. Derudover er viden om den faktiske behandlingsform erfaringsmæssigt forbundet med usikkerhed. Det er også en tidlig barriere at dokumentere en behandling, som eventuelt først sker efter bygningens ibrugtagning, herunder at finde en

aftager til genbrug og genanvendelse. Til sidst udgør C3-4 kun en mindre andel af affaldets klimapåvirkning, hvorfor en større validitet ville ske på bekostning af en øget dokumentationsbyrde.

I de indsamlede cases er der ikke taget hensyn til eventuel affaldsmængde fra underentreprenør udover den registrerede affaldsmængde.

Standard emissionsfaktorerne afspejler materialernes typiske klimapåvirkning efter vægt. Det betyder at eksempelvis et stort forbrug af fossile brændsler eller en lav densitet kan være årsag til en høj emissionsfaktor. En høj andel af stenmaterialer eller træ vil derimod føre til en lav klimapåvirkning per vægtenhed, se Figur 2.

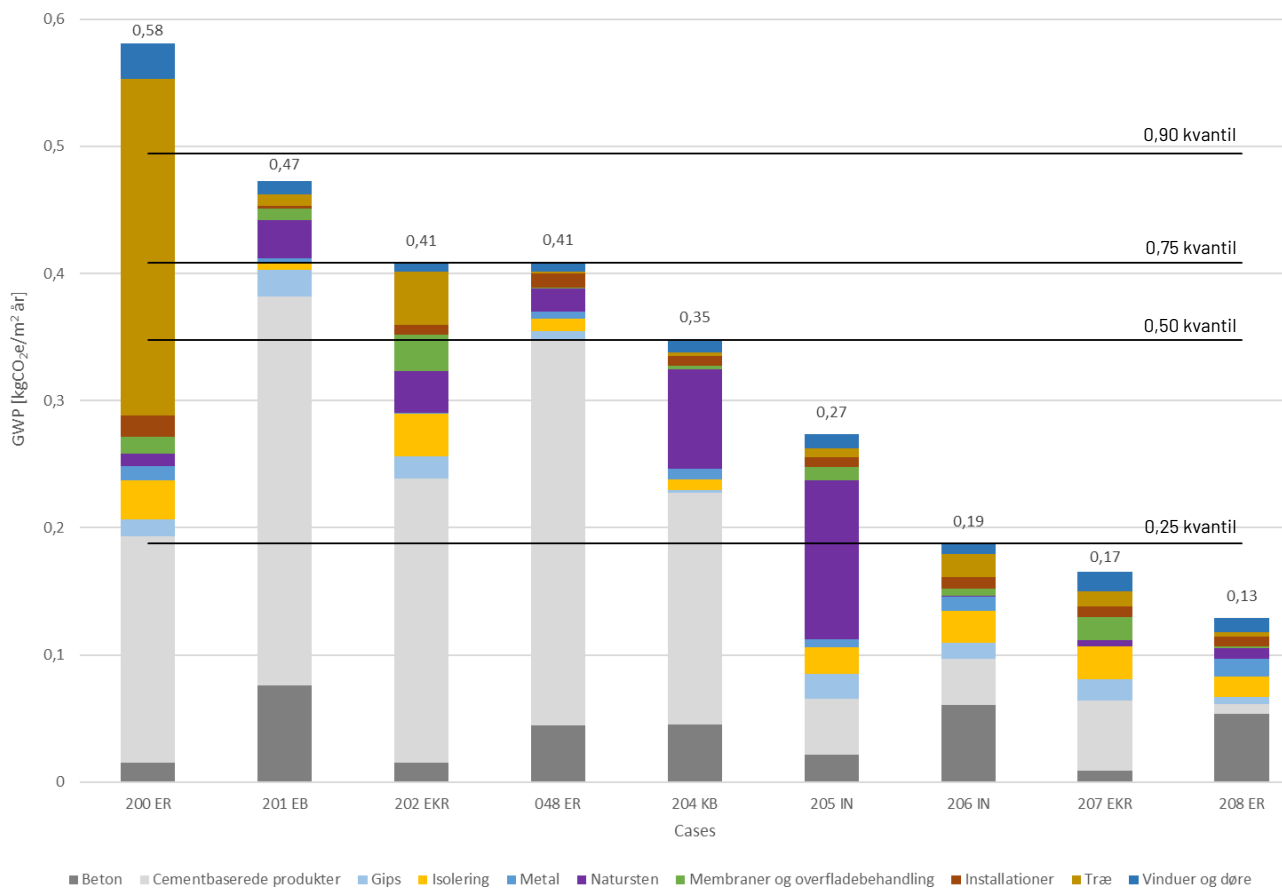


Figur 2. Standard emissionsfaktorer for 1 kg byggeaffaldsfraktion samt bidrag af den estimerede materialesammensætning

4.3 Resultater

4.3.1 Transport A4

Figur 3 viser resultatet af de anvendte emissionsfaktorer for produktgrupper (fra Tabel 10) på 9 bygningseksempler. Resultaterne er dermed ikke kun påvirket af transportforhold, men også mængdeforholdet af byggevarer i bygningsmodellen. Case 200 er konstrueret af importerede CLT-elementer, som har stor indflydelse på transportemissionerne. Nøgletal med kvartiler findes i Tabel 15.

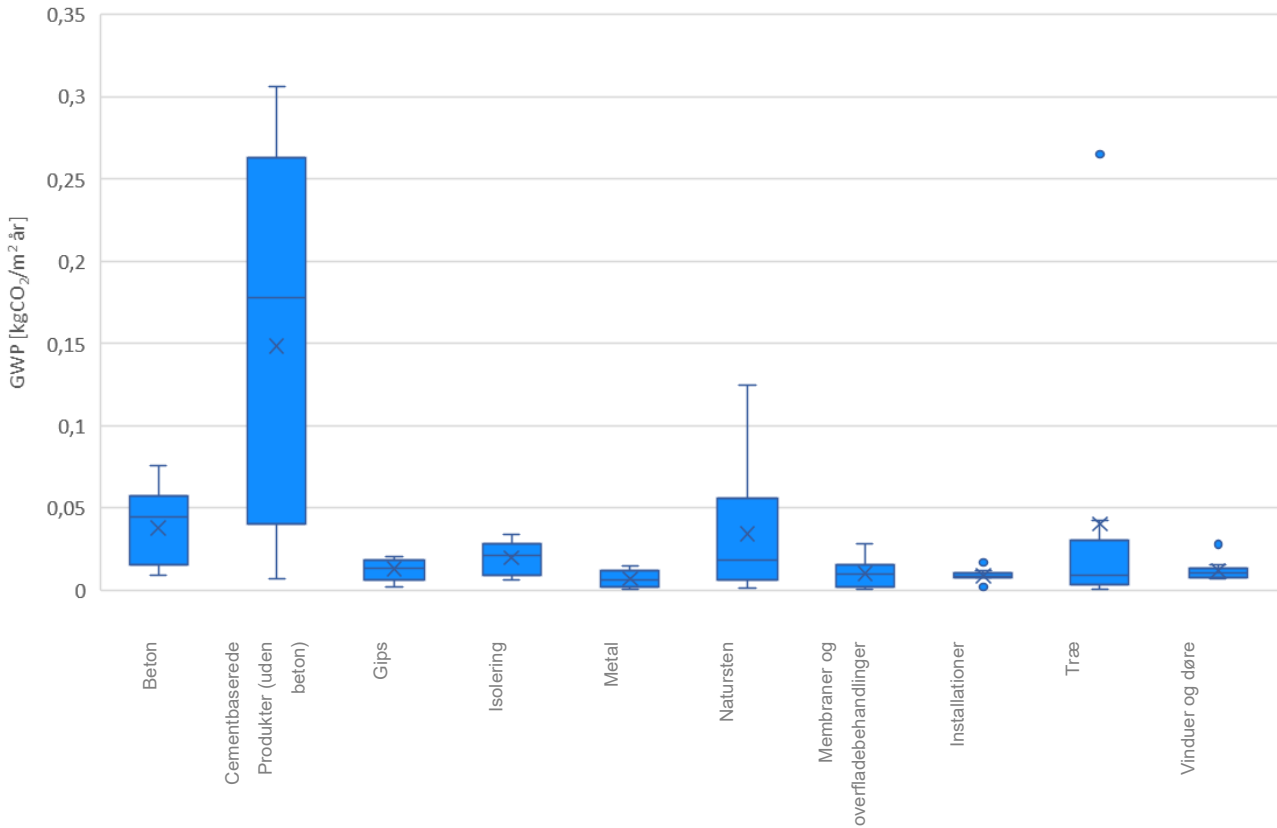


Figur 3. Klimapåvirkning for transport i modul A4 i 9 cases, opdelt i produktgrupper. Baseret på standard emissionsfaktorer for produktgrupper, som indeholder en usikkerhedsfaktor på 1,25.

Anvendelseskoder:

- BE Bolig & Erhverv
- EB Etageboliger
- ERK Enfamiliehuse, kædehuse, rækkehuse
- ER Erhverv
- IN Institution
- KB Kontor

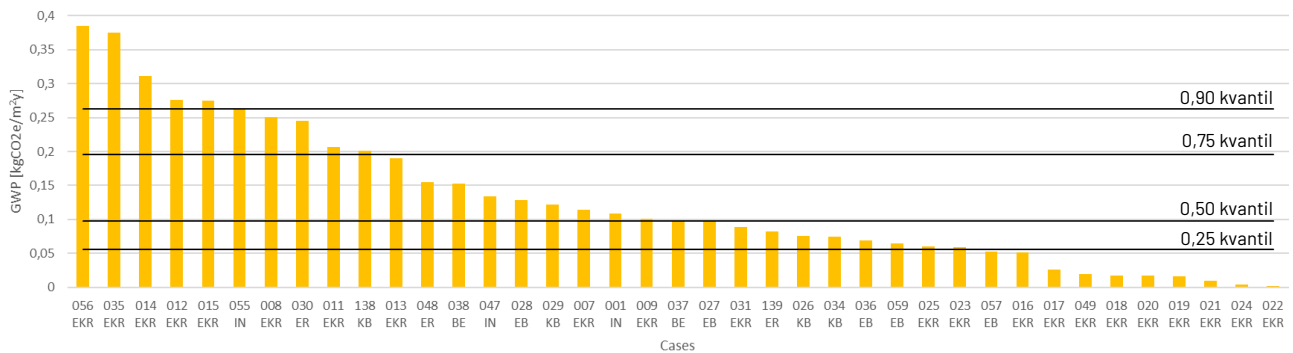
Figur 4 viser fordelingen af byggevarers klimapåvirkning blandt casene. De største påvirkninger kommer fra cementbaserede produkter som porebeton, som udgør en høj vægtandel i projekter, som ikke er elementbyggeri. Fabriksbeton og betonelementer er også betydningsfulde grundet deres store vægt og det på trods af den antagede begrænsede transportafstand.



Figur 4. Klimapåvirkning for transport (modul A4) i case analysen. Beregningen afspejler de specifikke mængder i de 9 cases, men er baseret på standard emissionsfaktorer for produktgrupper.

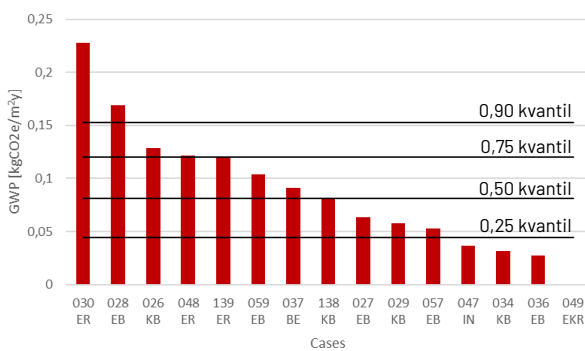
4.3.2 Opførelse A5

I det følgende gennemgås resultater for klimapåvirkning fra el, varme, brændstof og bygningsaffald. Talværdier for resultater er angivet i bilag Tabel 25. Nøgletal med kvantiler findes i Tabel 15. Klimapåvirkning for elforbrug (Figur 5) inkluderer eventuelt el-baserede varmekilder. I alt har 39 cases rapporteret data for analysen.



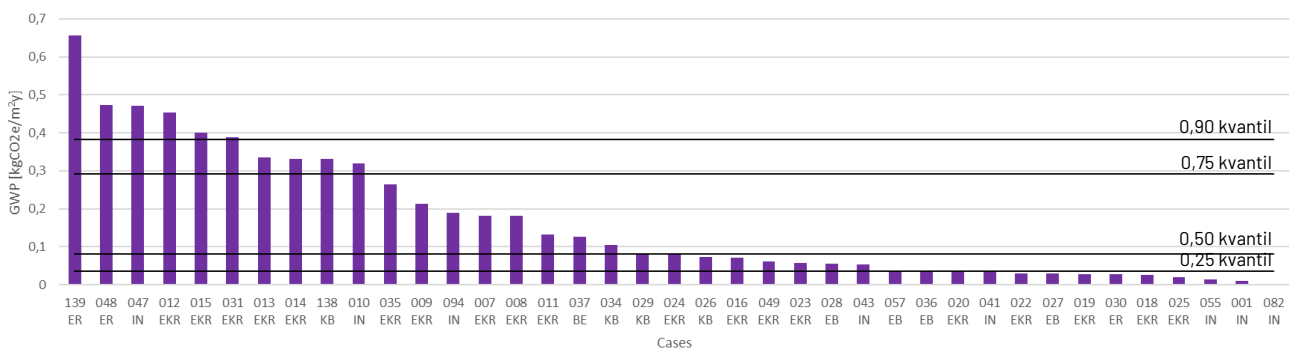
Figur 5. Klimapåvirkning for elforbrug fra 39 cases.

Resultater for varmeforbrug vises i Figur 6, som er baseret på 15 ud af 52 cases. Der er to typer forklaringer, der kan ligge til grund for det lave antal rapporterede data. For det ene kan det være at der ikke har været forbrug af fjernvarme eller ledningsgas. Det sker i bygninger opvarmet med varmepumper, hvor forbruget vil ligge under elforbrug. Alternativt kan råhuse være opvarmet med midlertidig opvarmning baseret på brændstof. Byggeperioden kan også ligge udenfor varmesæson, så der ikke var behov for opvarmning generelt. Når der faktisk har være benyttet fjernvarme eller ledningsgas, kan det stadig forekomme at forsyningsselskabet ikke kræver målere opsat under byggeperioden i småhusbyggeri. De viste medianer er beregnet på basis af de 15 cases, der har leveret data. Den valgte tilgang vil sandsynligvis overvurdere kvartilerne, da muligheden for cases uden varmeforbrug ignoreres.



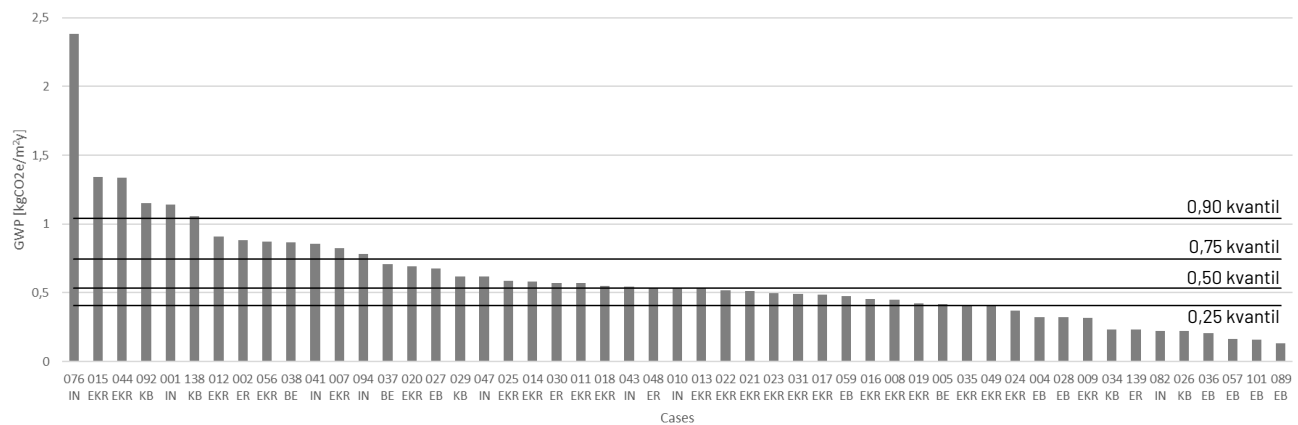
Figur 6. Klimapåvirkning for varmeforbrug fra 15 cases.

Figur 7 viser resultater for brændstofforbrug fra 39 cases, som udelukkende bestod af dieselforbrug. Den store spredning kan forklares ved at der indgår væsentligt forskellige processer blandt de enkelte projekter, som rækker fra let byggeri med ukomplicerede jordforhold og kort monterings tid til projekter med dyb byggegrube og kælder. Derudover afviger det bearbejdede areal rund om bygningen og der medtages varierende grader af landskab, parkering og lignende elementer. Til sidst kan det ikke udelukkes at nogle projekter medtager det totale forbrug og andre kun medregner hovedentreprenørens forbrug, der stod for kontakten i dataindsamlingen.

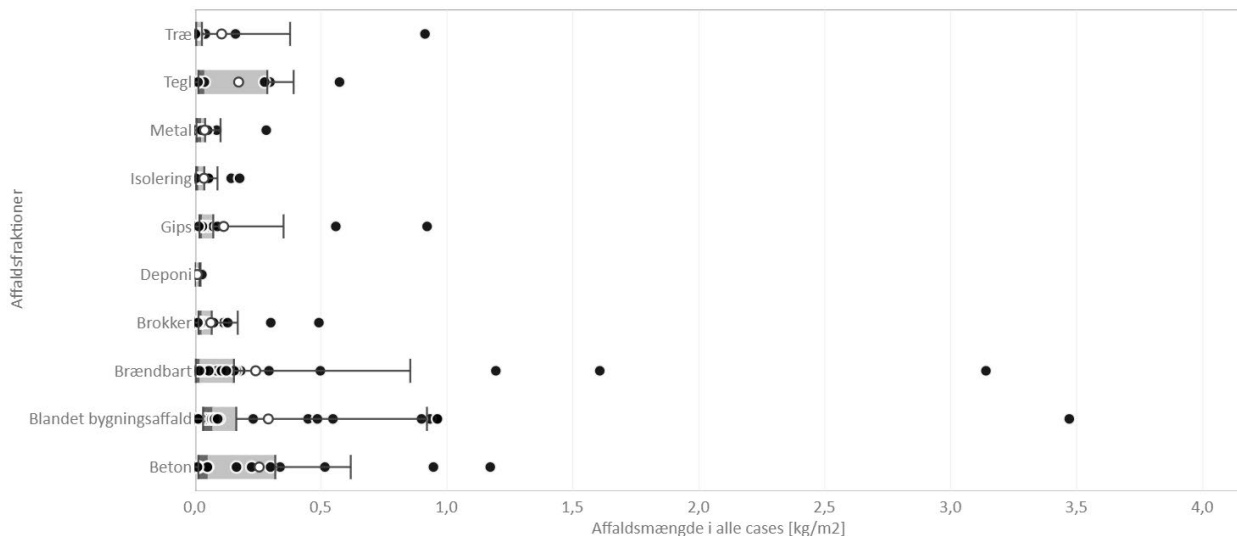


Figur 7. Klimapåvirkning for brændstofforbrug fra 39 cases.

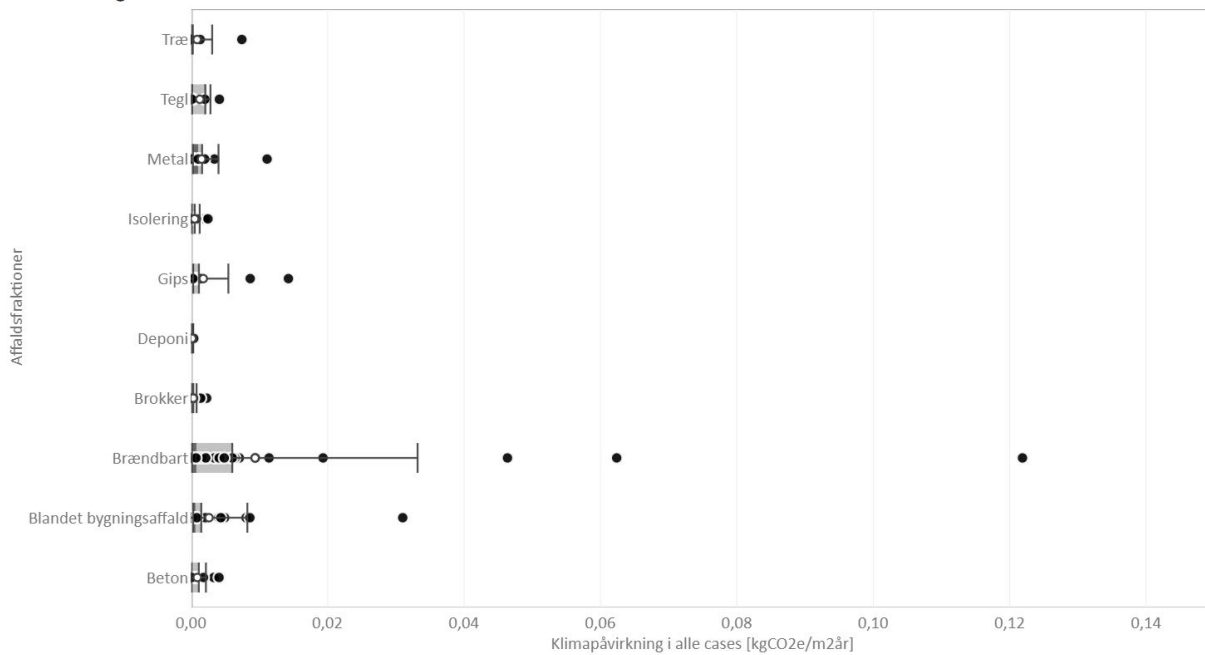
Figur 8 viser resultater for byggeaffald fra 51 cases. Beregningen er baseret på standard emissionsfaktorer for affaldsfraktioner, som blev udviklet i Tabel 14, kombineret med de målte affaldsmængder i casene. I Figur 9 ses fordelingen af affaldsmængder fra alle cases kontra fordelingen af klimapåvirkning i Figur 10. Bortset fra ekstreme cases står de blandede og brændbare fraktioner for en stor mængde og samtidig høje indlejrede påvirkninger. Forbedringspotentialet ville ligge i en reduktion og bedre kildesortering med specifik beregning af indholdet af disse fraktioner. Betonaffald vejer tungt, men ikke nødvendigvis i klimapåvirkning. En større mængde betonaffald vil normalt kun forekomme ved klip af rammede betonpæle. Overskydende fabriksbeton indgår ikke her, da der kun blevet taget højde for affaldscontainere. Klimapåvirkning for bortkørsel af affald er ikke blevet undersøgt.



Figur 8. Klimapåvirkning for byggeaffald fra 51 cases.

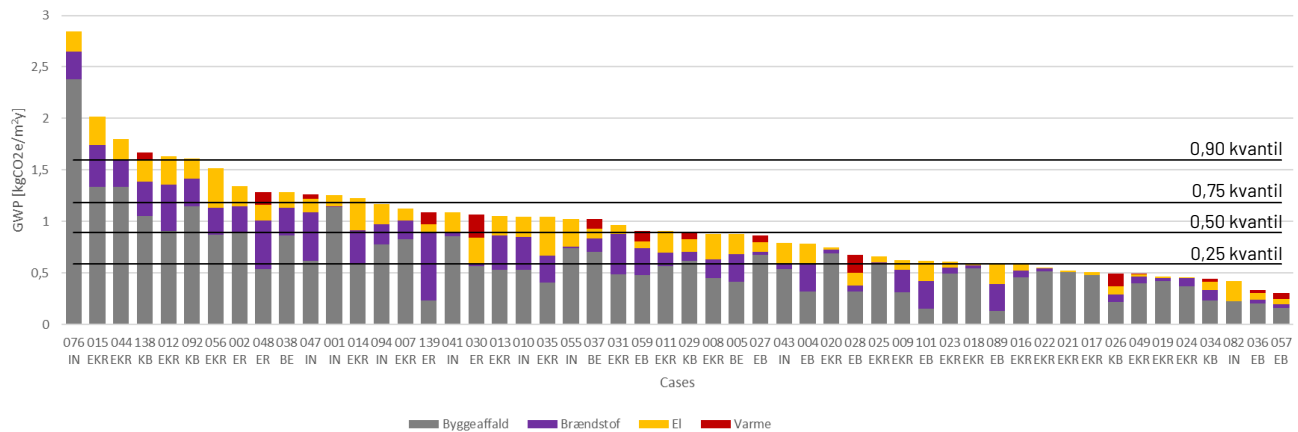


Figur 9. Affaldsfraktioners mængde i kg på tværs af alle cases, der har rapporteret affaldsmængder. Resultatet vist som boksplot, hvor sorte prikker viser affaldsmængden per fraktion i én case.



Figur 10. Affaldsfraktioners klimapåvirkning per etageareal på tværs af alle cases, der har rapporteret affaldsmængder. Resultatet vist som boksplot, hvor sorte prikker viser klimapåvirkning af fraktion i én case.

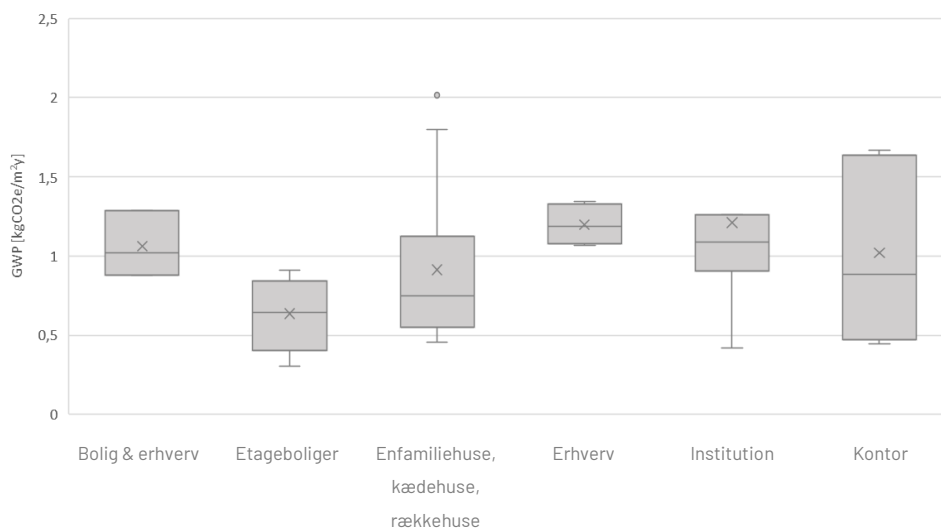
Figur 11 viser klimapåvirkning for el, varme, brændstof og byggeaffald for alle cases. De højeste samlede påvirkninger ses overvejende i cases med fyldestgørende data for el, brændstof og varme, som tyder på at de faktiske case-resultater ville samles i højere grad omkring midten end det er tilfælde her. I nøgletallene vises også resultater, der blev korrigeret for manglende indrapporteringer, dog uden at korrigere varme, da det ikke kan udelukkes, at manglende data reelt svarer til fravær af forbrug.



Figur 11. Samlet klimapåvirkning for byggeaffald, brændstof og varme i modul A5. Manglende data er erstattet med delemnernes pågældende kvantiler.

Sammenhængen mellem klimapåvirkning og bygningens anvendelse er vist i Figur 12. Enfamiliehuse mv. og etageboligbyggeri har de laveste værdier, mens øvrige anvendelser ligger lidt højere. Etagearealet viser heller ikke en entydig trend, hvorfor det ikke er

medtaget her. Begge parametre bør dog undersøges med flere cases for at kunne konkludere om en mulig sammenhæng. Uanset antallet af cases formodes der være andre projektegenskaber og specifikke processer, der vil kunne forklare variationen og eventuelt forudsige forbruget til en vis grad. Disse faktorer ligger overordnet indenfor bygningsgeometri og byggegrunden. For det ene vil dybden af byggegruben og eventuelle kælderetager medføre et stigende energiforbrug. Omvendt vil flere etager fordele påvirkninger fra gravearbejdet på et større areal. For det andet har jordens beskaffenhed stor indflydelse på energiforbrug til udgravning med henblik på funderingsmetode, grundvang og modstand for udgravning. Disse parametre bør undersøges nærmere for at differentiere referenceværdier og optimeringspotentiale.



Figur 12. Fordeling af klimapåvirkning i modul A5 afhængig af bygningstype. Boksplot-graferne viser især spredningen af klimapåvirkning indenfor de enkelte bygningstyper.

4.3.3 Nøgletal for A4 og A5

Resultater fra analysen i begge moduler vises i Tabel 15 og opgives på fire forskellige niveauer (kvantiler). Disse repræsenterer forskellige udsnit af resultaterne, som kan indgå i overvejelser om grænseværdier. I opsummering af hele moduler indgår manglende data med den respektive kvantil af delemnet, med undtagelse af varme, som ikke korrigeres. Korrektionen medfører at modulernes tal afviger lidt fra sum af de enkelte processer.

Samlet set er påvirkninger relateret til energi overvurderet lidt, da alle tre energikilder (el, varme, brændstof) indgår samtidig. Dette er normalt ikke tilfældet i konkrete projekter, hvor der ikke samtidig forbruges varme til den samme proces, som eksempelvis opvarmning og udtørring.

Der anvendes estimerede konstanter for en række processer, som der ikke er datagrundlag for. Disse indgår med samlet set 0,2 kgCO₂e/m² år svarende til 9 pct. af 0,90 kvantilen.

Tabel 15. Nøgletal for klimapåvirkning i kgCO₂e/m² år for modul A4 og A5. Manglende data er erstattet med delemnernes pågældende kvantiler. Resultat baseret på case analyser og estimerede konstanter. Beregning baseret på flere cifre.

Modul	Delemne	0,25 kvantil	0,50 kvantil	0,75 kvantil	0,90 kvantil
		[kgCO ₂ e/m ² år]			
A4	Transport af byggevarer	0,187	0,348	0,409	0,494
	Transport af spild ⁽¹⁾		0,020		
	Transport af materiel ⁽¹⁾		0,020		
	Terminalprocesser ⁽¹⁾		0,020		
	Sum A4	0,247	0,408	0,469	0,554
A5	El	0,068	0,143	0,196	0,262
	Varme	0,045	0,081	0,028	
	Brændstof	0,036	0,157	0,264	0,383
	Byggeaffald	0,407	0,536	0,753	1,042
	Bortkørsel af jord ⁽¹⁾		0,060		
	Bortkørsel af byggeaffald ⁽¹⁾		0,060		
	Sum A5	0,713	1,016	1,302	1,720
A4 + A5	0,960	1,424	1,771	2,274	

1) Konstanter baseret på kvalificeret skøn.

5.0 Dokumentation

5.1 Dokumentationskrav

De her præsenterede definitioner er baseret på byggebranchens mulighed for at frembringe dokumentation af forbrugsdata, som ligger til grund for beregning af klimapåvirkning i modul A4 og A5. Vurderingen af branchens status beror på erfaringer og dialog under udviklingen af delkrav 2 om byggeplads i den frivillige bæredygtighedsklasse og nærværende kortlægningsprojekt i årene 2020-23. Metoden er forankret i EN 15978 beregningsmetoden, men dokumentationen er tilpasset med henblik på de observerede muligheder og udfordringer, som kendetegner den danske byggebranche på nuværende tidspunkt. Tabel 16 og Tabel 17 giver et overblik over dokumentationskrav, opdelt i de to moduler og delemner. Arbejdsbyrden kan tilpasses ved at anvende to typer af standard emissionsfaktorer. De anvendte standard emissionsfaktorer er derudover opsummeret i Tabel 18.

Dokumentationskravene kan indgå i bygningsreglementets bestemmelser om bygningers klimapåvirkning. Definitioner og emissionsfaktorer skal holdes opdateret med hensyn til den tekniske udvikling og ændringer i de tilgrundliggende tekniske standarder. Kravene anvendes som basis til vurdering af de økonomiske konsekvenser i efterfølgende afsnit.

Tabel 16. Dokumentationskrav for modul A4.

Emne	Dokumentationskrav
Omfattet fragt	Der skal medtages alle byggevarer, der indgår i bygningsmodellen. Emballage bør indgå hvis data er tilgængelig.
	Transport af materiel til og fra byggepladsen dokumenteres projektspecifikt. Alternativt kan der benyttes en standardværdi på 0,02 kgCO ₂ e/m ² år per projekt.
	Transport af spild og materialer udover bygningsmodellen dokumenteres projektspecifikt. Alternativt kan der benyttes en standardværdi på 0,02 kgCO ₂ e/m ² år per projekt.
Omfattet transport	Alle transportled fra fabrik til byggeplads, herunder import, distribution, terminalprocesser og udlevering. Standard emissionsfaktorer for produktgrupper kan anvendes for hele transportkæder. Ved transport i flere led, hvor kun data for udlevering til byggepladsen er kendt, anvendes en afstand på 300 km og transportmidlet Lastbil >20t for resten af transportkæden.
	Hvis transport af byggevarer til sammensatte leverancer ikke indgår i modul A2, skal den manglende transport dokumenteres i A4. Det gælder eksempelvis vinduer, beton- eller træelementer og boksmoduler.
	Terminalprocesser dokumenteres projektspecifikt ved brug af standard GLEC faktorer. I henhold til GLEC medtages kun omlastning mellem forskellige

	<p>transportmidler, men ikke i starten og slutningen af transportkæden. Alternativt kan der benyttes en standardværdi på 0,02 kgCO₂e/m² år per projekt.</p>
Emissionsfaktorer	<p>Beregning af transport skal baseres på de faktiske forhold hos de ansvarlige i transportkæden. Ved ukendte forhold følges forudsætninger i GLEC vejledningen, herunder emissionsfaktorer på brændstof, transportmidler og terminaler. Emissionsfaktor for elforbrug skal være den gældende værdi i bygningsreglementets generiske datagrundlag i bilag 2, tabel 2.</p> <p>Alternativt kan der anvendes værdier fra EPDer, forudsat at de anvendte forudsætninger svarer til de faktiske forhold. Generiske afstande skal tilpasses de faktiske. Eventuel manglende transportled skal dokumenteres i henhold til nærværende dokumentationskrav.</p> <p>Alternativt kan der anvendes standard emissionsfaktorer til undergrupper, som dækker over hele transportkæden.</p> <p>Hvis der kun dele af transport dokumenteres specifikt (fx det sidste led til byggeplads), skal denne klimapåvirkning fratrækkes standard emissionsfaktor for den pågældende produktgruppe uden usikkerhedstillæg efter følgende formel:</p> <p>Klimapåvirkning for leverance = SEP x 0,8 – SD</p> <p>Hvor</p> <p>SEP = Standard emissionsfaktor for undergruppen</p> <p>SD = Specifik dokumentation af transportled</p> <p>0,8 = Fjerner usikkerhedsfaktor på 1,25 i SEP</p>
Udnyttelsesgrad, tomgang, tomkørsel, returkørsel	<p>Kapacitetsparametrene dokumenteres projektspecifikt. Ved brug af standard emissionsfaktorer for transportmidler eller produktgrupper er der allerede taget højde for disse forhold. Regelmæssig intern distribution og transport til leverandør kan beregnes som gennemsnit ud fra nyere historiske data på minimum 6 måneder.</p>
Tab under transporten	<p>Medtages ikke.</p>

Tabel 17. Dokumentationskrav for modul A5.

Emne	Definition
Måleperiode	<p>Fra eventuel byggemodning til tidspunktet for ibrugtagningstilladelse. Forudgående nedrivning er ikke inkluderet.</p>
Inkluderede processer	<p>Målt forbrug af el, varme og brændstof i måleperioden. Geografisk medtages processer i direkte tilknytning til opførelse af bygningsværket. Udover byggegrunden indebærer det øvrige beliggenheder, der anvendes til opførelsesprocessen, herunder til midlertidigt lager eller montage.</p> <p>Præfabrikation inkluderes for så vidt det ikke allerede indgår i modul A3.</p> <p>Vandforbrug indgår ikke.</p>

Elforbrug	Elforbrug dækker alle former for forbrug, det vil sige skurby, byggestrøm, råhus og mobile strømlagre. Vedvarende elproduktion indgår ikke. Emissionsfaktorer fra BR bilag 2, tabel 8 skal anvendes.
Varmeforbrug	Alle former for varmeforbrug som fjernvarme og ledningsgas, men ikke el. Vedvarende varmeproduktion indgår ikke. Emissionsfaktorer fra BR bilag 2, tabel 8 skal anvendes eller alternativ dokumentation baseret på EPD jf. BR.
Brændstofforbrug	Brændstofforbrug indebærer alle former for drivmidler. Forbrug fra underentreprenører skal inkluderes. Forbrug af maskiner under 1 tons vægt kan udelades. Eldrevne maskiner indgår i elforbrug. Alternativt kan forbruget beregnes ved hjælp af bredt anerkendte metoder, eksempelvis det danske værktøj InfraLCA fra Vejdirektoratet og Banedanmark [40].
Byggeaffald	Alt bortkørt byggeaffald indgår. Det indebærer normalt al indhold i affaldsbeholdere, overskydende fabriksbeton, emballage mv. Returvare til salg som ny vare indgår ikke. Klimapåvirkning for byggeaffald beregnes som produkt af vægt i kg multipliceret med de passende standard emissionsfaktorer for byggeaffald. Som alternativt til standard emissionsfaktorerne kan klimapåvirkning beregnes baseret på de faktisk bortskaffede byggevarer ved eftervisning. Her anvendes miljødata efter regler i BR klimakrav, det vil sige enten retvisende EPD eller det generiske datagrundlag i BR bilag 2, Tabel 8.
Transport	Transport mellem byggepladsens beliggenheder, herunder mellem præfabrikation, lager og byggeplads. Derudover bortkørsel af jord og affald. Transport mellem forskellige beliggenheder indgår kun hvis relevant. Transport fra præfabrikation indgår kun, hvis ikke det allerede er inkluderet i modul A3. Alternativt kan der anvendes standard emissionsfaktor for bortkørsel af jord på 0,06 kgCO ₂ e/m ² år per projekt. Alternativt kan der anvendes standard emissionsfaktor for bortkørsel af byggeaffald på 0,06 kgCO ₂ e/m ² år per projekt.
Emissionsfaktorer	For el og varme anvendes BR emissionsfaktorer for 2025 i bilag 2, tabel 8. For byggeaffald benyttes standard emissionsfaktorer udviklet i denne rapport. For brændstof og transport benyttes emissionsfaktorer i henhold til GLEC vejledning. Alternativt benyttes specifikke emissioner for brændstof fra leverandørens dokumentation (Proof of Sustainability) efter gældende regler [22, 23].

Tabel 18. Standard emissionsfaktorer for modulerne A4 og A5. Niveauer angiver forenklingsgraden i stigende rækkefølge.

Niveau →	1. Specifik	2. Proces	3. Delemne	4. Modul
A4	Emissionsfaktor jf. GLEC	Produktgrupper jf. Tabel 10 ⁽¹⁾	Transport af byggevarer jf. Tabel 24	Jf. Tabel 15
			Transport af spild = 0,02 ⁽²⁾	
			Transport af materiel = 0,02 ⁽²⁾	
			Terminalprocesser = 0,02 ⁽²⁾	
A5	Emissionsfaktor jf. BR	Affaldsfraktioner jf. Tabel 14	Byggeaffald jf. Tabel 15	Jf. Tabel 15
			El jf. Tabel 15	
			Varme jf. Tabel 15	
			Brændstof jf. Tabel 15	
			Bortkørsel af jord = 0,06 ⁽²⁾	
Emissionsfaktor jf. GLEC	Bortkørsel af byggeaffald = 0,06 ⁽²⁾			

1) Indeholder usikkerhedsfaktor på 1,25

2) Klimapåvirkning per projekt angivet i [kgCO₂e/m² år]

6.0 Økonomiske konsekvenser

6.1.1 Scenarie

Vurderingen af de økonomiske konsekvenser kræver en række antagelser, som har stor indflydelse på resultatet. Udgangspunktet for vurderingen er at krav om dokumentation af modulerne A4 og A5 for alle nybyggerier i bygningsreglementet træder i kraft i 2023 og er baseret på de i denne rapport anbefalede dokumentationskrav. Det antages at en eventuel grænseværdi ikke vil gøre det nødvendigt at iværksætte ressourcebesparende tiltag, hvorfor der ses bort fra heraf eventuel resulterende udgifter eller gevinster. Ligeledes antages ikke at ressourceforbrug skal kunne monitoreres med kort tidsafstand for løbende overvågning og justering, da der er tale om den mindste nødvendige indsats. I stedet for vurderes udelukkende administrative meromkostninger til at frembringe den fornødne dokumentation, både hos entreprenøren og andre aktører i værdikæden, herunder leverandører.

Tidsforbruget hos entreprenøren opstår ved at indføre nye rutiner til systematisk registrering af udgifter, eventuel justering af projektstyring og manuel administration af data samt overlevering til den ansvarlige for klimaberegnings, typisk rådgiver. Nogle leverandører skal tilpasse deres fakturering og kundesystemer, så de indeholder de fornødne data om forbrug og transport. Forsyningsselskaber for el og varme samt affaldstransportører forventes kun et mindre behov for tilpasninger. En større indsats ligger i opsamling af data om brændstof og transport, som indebærer flere leverandører og eventuelt underentreprenører. Her medtages tid til at justere gensidige aftaler og at afstemme nye former for dataleverancer. Der tages også hensyn til investeringer i digital systemudvikling og anskaffelse af nye systemer.

Dokumentationsbyrden er væsentligt drevet af tilgængelighed af data og valgt dokumentationsmetode. Da data om leverancer produceres og gemmes hos leverandøren, er tilgængeligheden et spørgsmål om, hvorvidt leverandøren deler dem. I dag leveres data ikke altid i tilstrækkeligt omfang og format med kunderne på grund af manglende efterspørgsel. En anden grund er at data kan ligge i flere led i værdikæden, herunder underentreprenører og byggevareproducenter, der leverer til forhandler og andre producenter. Scenariet bag tidsforbruget hos entreprenør og underentreprenør skal derfor tage højde for, i hvilken grad leverandøren forventes at stille de ønskede data til rådighed eller om entreprenøren aktivt skal indsamle og forarbejde disse.

Udviklingen på området, herunder i forlængelse af den frivillige bæredygtighedsklasse, certificeringssystemer og nærværende analyseprojekt, peger på at leverandører forbereder sig på dataleverancer til deres kunder med henblik på mulige lovkrav. Dette kommer i stigende grad til udtryk i mere kundeportaler, hvor leverandøren kan tilpasse, hvilke dele af den store mængde data kunderne har brug for.

Det andet væsentlige parameter i det økonomiske scenarie er dokumentationsmetoden. Det afgørende for tidsforbruget er, i hvilket omfang bygherren må anvende mulige standardværdier til eftervisning af overholdelse af krav. Det er muligt at der i dele af byggeprojekter må anvendes standardværdier for hele moduler A4 og A5 i en overgangsperiode. Dette ville ikke medføre noget tidsforbrug. Da dette er uklart på nuværende tidspunkt og andelen af disse projekter i byggeaktiviteten ikke kan estimeres, ses helt bort fra denne mulighed i vurderingen. I stedet antages, at alle projekter som minimum leverer en delvis specifik dokumentation. Brug af standardværdier for delemner jævnfør Tabel 18 antages i 50% af dokumentationen, men kun af de erfaringsmæssigt tunge dele af dokumentationen transport og brændstofforbrug.

Endelig antages det at der foreligger værktøjer til opsamling og afrapportering af A4 og A5 ved ikrafttrædelsen af kravet. Derfor omfatter tidsforbruget ikke udvikling af værktøjer eller klimaberegning, men udelukkende indsamling og forarbejdning af data samt de forberedende investeringer i værdikæden.

6.1.2 Økonomisk model

Ud fra scenariets parametre er der estimeret tidsforbrug for et parcelhus i år 4, se Tabel 19. Tidsforbruget skaleres i takt med projektets størrelse. Udviklingen er dog ikke lineært, da tidsforbruget i de her relevante aktiviteter kun følger i mindre grad antallet af leverancer og aktører eller byggeperioden.

Tabel 19. Anslået tidsforbrug ved dokumentation af modul A4 og A5 i hele værdikæden. Angivet i timer i afhængighed af bygningens størrelse på 3. år fra ikrafttrædelse af kravet og indgår med faktor 1,00 i Tabel 20 og Tabel 21.

Bygningsstørrelse, m ²	65	70	75	80	90	100	120	150	180	200	250
Tidsforbrug, timer	8,3	8,9	9,3	9,6	10,2	10,6	11,3	12,0	12,5	12,8	13,4
Bygningsstørrelse, m ²	500	750	1.000	1.500	2.000	3.000	5.000	10.000	20.000	30.000	40.000
Tidsforbrug, timer	14,9	15,8	16,4	17,2	17,8	18,6	19,6	21,0	22,3	23,1	23,7

Tidsforbruget i de forskellige størrelser af projekter er et væsentligt grundlag for de økonomiske beregninger i Tabel 20. Her anvendes tidsforbruget på den forventede byggeaktivitet indenfor nybyggeri. Beregningen bruger den samme grundmodel som beskrevet i BUILD-rapport 2023:21 [41], herunder med henblik på byggeomkostninger, timesatser og segmentering af byggeaktivitet. Endvidere antages en generel effektivitetsforøgelse for håndtering af ens bygninger eller ens kontraktforhold indenfor enfamilies- og rækkehusbyggeri. I nærværende afsnit redegøres der derfor kun for de specifikke forhold, der gælder for dokumentation af modul A4 og A5.

I Tabel 20 og Tabel 21 er meromkostninger 0 de første to år, som ligger inden ikrafttræden af de nye krav. Udgangspunktet er år 5 (2027), som indgår med en faktor på 1,00, hvor det antages at de største udgifter til omstilling er afholdt og at der er etableret en form for rutine på et niveau, som er iagttaget hos de fremmeste aktører på markedet i dag. I år 3-4 forventes dog en indfasningstid med højere tidsforbrug og investeringer til omstilling, hvorfor der anslås forhøjede omkostninger med 100% i år 3 og 25% i år 4. Derimod regnes omkostninger at falde med 10% i de to efterfølgende år 6-7 som følge af en generel effektivisering. Det skyldes et stigende omfang af rutinemæssige dataleverancer fra leverandører og afklaring af ansvarsforhold i aftaler med underentrepriser.

Tabel 20. Årlige meromkostninger fordelt på bygningernes anvendelse (i kroner uden moms).

Faktor:		0,00	0,00	2,00	1,25	1,00	0,90	0,80
Kode	År:	1	2	3	4	5	6	7
110	Stuehuse	0	0	974.000	609.000	487.000	438.000	390.000
120	Parcelhuse	0	0	20.970.000	13.106.000	10.485.000	9.436.000	8.388.000
130	Rækkehuse	0	0	12.165.000	7.603.000	6.083.000	5.474.000	4.866.000
140	Etageboliger	0	0	9.252.000	5.782.000	4.626.000	4.163.000	3.701.000
150	Kollegier	0	0	319.000	199.000	159.000	143.000	127.000
160	Døgninstitutioner	0	0	818.000	511.000	409.000	368.000	327.000

190	Andre helårsboliger	0	0	307.000	192.000	153.000	138.000	123.000
220	Produktionsbygninger	0	0	2.092.000	1.307.000	1.046.000	941.000	837.000
320	Kontor og handel	0	0	5.344.000	3.340.000	2.672.000	2.405.000	2.138.000
323	Lager	0	0	1.944.000	1.215.000	972.000	875.000	778.000
330	Hotel og service	0	0	1.000.000	625.000	500.000	450.000	400.000
410	Kultur	0	0	731.000	457.000	365.000	329.000	292.000
420	Undervisning	0	0	1.731.000	1.082.000	866.000	779.000	693.000
430	Sundhed	0	0	457.000	285.000	228.000	205.000	183.000
440	Daginstitutioner	0	0	804.000	502.000	402.000	362.000	322.000
490	Kaserne eller fængsel	0	0	274.000	171.000	137.000	123.000	110.000
520	Ferie	0	0	537.000	335.000	268.000	242.000	215.000
530	Idræt	0	0	1.521.000	951.000	760.000	684.000	608.000
	Sum	0	0	61.240.000	38.272.000	30.618.000	27.555.000	24.498.000
Total for hele perioden								182.183.000

Tabel 21. Årlige meromkostninger fordelt på ejerskab (i kroner uden moms).

Kode	Faktor:	0,00	0,00	2,00	1,25	1,00	0,90	0,80
	År:	1	2	3	4	5	6	7
10	Privatperson	0	0	27.781.000	17.363.000	13.890.000	12.501.000	11.112.000
20	Almennyttig	0	0	3.311.000	2.069.000	1.655.000	1.490.000	1.324.000
30	Selskab	0	0	19.443.000	12.152.000	9.722.000	8.749.000	7.777.000
40	Forening	0	0	2.983.000	1.864.000	1.492.000	1.342.000	1.193.000
41	Andelsbolig	0	0	68.000	43.000	34.000	31.000	27.000
50, 60	Kommune	0	0	3.098.000	1.936.000	1.549.000	1.394.000	1.239.000
70	Region	0	0	444.000	278.000	222.000	200.000	178.000
80	Staten	0	0	442.000	276.000	221.000	199.000	177.000
90, 99	Andet	0	0	3.667.000	2.292.000	1.834.000	1.650.000	1.467.000
	Sum	0	0	61.237.000	38.273.000	30.619.000	27.556.000	24.494.000
Total for hele perioden								182.179.000

6.1.3 Perspektivering

Der anslås samlede meromkostninger for nybyggeri på 182 mio. kr. over 7 år. Disse økonomiske konsekvenser er baseret på konservative antagelser, der muligvis overvurderer de reelle omkostninger. Omkostninger vil kunne nedbringes, hvis følgende betingelser indtræffer.

Parcel- og rækkehuse forårsager cirka halvdelen af udgifterne. Hvis der indføres lempeligere dokumentationskrav til byggeri under 1000 m², i takt med indføring af klimakrav i 2023, ville omkostningerne cirka halveres. Dette kunne gennemføres ved at tillade dette segment at bruge standard emissionsfaktorer for hele modulerne A4 og A5, så en specifik dokumentation er frivilligt i en overgang.

Derudover er der valgt en fordobling af udgifter i det første år, sammenlignet med en specifik vurdering af det reelle tidsforbrug i dag. De igangværende udviklingsprojekter og den observerede omstilling hos de større branchedeltager giver anledning til at dokumentationen formentlig vil blive mindre arbejdstungt i år 2025.

Endelig tager vurderingen ikke højde for positive økonomiske effekter. Når byggebranchens ressourceforbrug og klimapåvirkning bliver eksponeret som følge af de nye krav, forventes der en større interesse fra bygherrer og branchen at igangsætte optimeringstiltag. Det kan være at bygherren bliver mere opmærksom på el- og varmekonsum, som bygherren selv afholder. Desuden vil der høstes lavthængende frugter som energibesparelse gennem mindre standby tid, mindre tomkørsel, mere effektiv teknologi mv. Endelig kan branchen forvente økonomiske fordele ved at kunne tilbyde særlig klimavenlige løsninger til bygherren, ikke mindst i lyset af kommende EU-krav og eksportmuligheder.

7.0 Optimeringspotentialer

Optimeringspotentialer er ikke blevet undersøgt i nærværende analyser. Baseret på erfaringer fra tidligere studier vurderes dog et klart potentiale for at nedbringe klimapåvirkning af udførelsesfasen. Dette afsnit giver et overblik over initiativer indenfor ressourceeffektive byggepladser, som ofte er ensbetydende med en reduktion af klimapåvirkning. Da optimering ikke er blevet undersøgt direkte i projektet, viser afsnittet ikke de konkrete tal, men henviser til de studier, der har arbejdet med det.

En vurdering af klimabesparende effekter af enkelttiltag på byggepladsen er vanskelig, da tiltagene normalt ikke kan isoleres fra de talrige variabler, som processerne er underlagt. Dertil kommer at den typisk observerede spredningen i resultaterne fra case til case, som ses i mange studier, eksempelvis fra Finland [42] og Sverige [43] ikke kun stammer fra variation i projektforhold, men kan også skyldes varierende metoder for dataindsamling. Optimeringspotentialer vil blive illustreret på tre forskellige måder. Den første udleder besparelsepotentialer fra nærværende analyse, den anden sammenfatter potentialer fra aktuelle nordiske publikationer og den sidste er et studie af forskningspublikationer.

Selvom sammenligninger på tværs af projekter, grundet unikke projektkarakteristika, skal gøres med stor forsigtighed, kan casestudiet give en første indikation af potentialer. Dette kan opnås ved at beregne besparelsepotentialer som forskel af resultaternes median med nedre kvartil (0,50 kvartil minus 0,25 kvartil i henhold til Tabel 15). For A4 er den potentielle reduktion 0,161 svarende til 39% og for A5 er potentialer 0,303 svarende til 30%. Det samlede potentiale er 33%, som er niveauspringet fra median niveauet, som halvdelen af cases tilhører, til lavemissionsniveau, som kun en fjerdedel af de indsamlede cases har opnået.

De aktuelle emissionsfaktorer i bygningsreglementets bilag 2, tabel 8, som er baseret på vedtagne politiske planer, varsler en reduktion på henholdsvis 70% for el, 23% for fjernvarme og 44% for ledningsgas i perioden mellem 2025 og 2040. Af den grund vil omstilling fra fossile brændsler til vedvarende energi få en nøglerolle i byggepladsens dekarbonisering. Det til trods, kan der stadig hentes økonomiske besparelser ved reduktion af energiforbrug, da energipriser ikke forventes at falde. Da Norge allerede i dag har en overvejende vedvarende elproduktion, viser nabolandet et fremtidsscenario for Danmark. Her kan det observeres en overvejende fokus på udfasning af fossile brændsler og overgang til elektrificeret materiel [28].

Analysen viste at byggeaffald udgør det største bidrag til udførelsesfasens klimapåvirkninger. Mens energiforbruget kan allerede nedbringes ved at høste lavhængende frugter indenfor energieffektivisering, kræver en reduktion af affaldsmængden ændringer i planlægning og logistik. To nyere danske rapporter har påpeget [44][45] har kortlagt hvilke processer der er årsag til materialespild og hvilke forbedringstiltag der findes. De overordnede anbefalinger er samarbejdsorienterede, herunder længerevarende kontrakter, tidlig inddragelse af byggeriets parter, mere gennemarbejdede projektgrundlag, forbedret logistik, samt bedre udnyttelse af det almene tekniske fællesseje. Konkrete handlinger for de udførende omfatter en bedre håndtering og opbevaring af materialer, øget genbrug, modulært bygningsdesign og leverancer på mål. En radikal affaldsfri tilgang er affaldsfrie byggepladser, hvor produktion af plader eller metervare forsøges at omstilles fra faste mål til projektspecifikke mål, som ellers kun kendes fra meget store projekter.

Et ældre studie [46] har kortlagt energisparepotentialerne og fundet fire områder med de største potentialer: Opvarmning af råhus, opvarmning af mandskabsskure og byggepladskontorer, energi til proces-el og belysning samt udtørring af bygningen.

Klimapartnerskabet har udgivet en lang række besparelspotentialer af enkelttiltag på overslagsbasis [47]. Tiltag inkluderer den tidlige tilslutning af byggegrunden til kollektiv energiforsyning og mest mulig brug af den endelige varmekilde, fossilfri materiel, bedre planlægning og monitorering, samt reduktion af spild gennem bedre planlægning og håndtering.

Tabellen nedenunder oplister de væsentlige tilgængelige forskningspublikationer, der findes fra de seneste år. Tiltagene er kategoriseret efter processer.

Tablet 22: Forskningsartikler med tiltag for reduktion af klimapåvirkning i modul A4 og A5.

Kategori	Fokus	Tiltag	Kilder	
Transport	Afstand	- Optimering og reduktion af transportafstande	[48] [49] [50]	
		- Indkøb af materialer lokalt	[48] [51]	
	Læsning	- Optimering af læsning og udnyttelse af lastbilens kapacitet	[49]	
		- Anvendelse af letvægts materialer	[52]	
	Type	- Øget anvendelse af gods eller skibstransport	[48] [51]	
	Materiel	Effektivitet og brændstof	- Anvendelse af lav-emissions materiel	[53]
- Anvendelse af ikke fossile brændstoffer herunder vind og sol.			[48] [54]	
- Anvendelse af alternative brændstoffer såsom hydrogen og vegetabiliske olier			[55] [56]	
		Forbedret vedligehold af materiel	[53] [57] [58] [59]	
Udnyttelse og tomgang		- Anvendelse af multifunktionel og arbejds-specifik materiel for at reducere byggetiden	[48] [57] [60] [54]	
		- Forbedret planlægning og tidsplanlægning	[48] [49] [54] [61] [62]	
		- Anvendelse af motorstop teknologi	[62]	
		- Passende sammensætning af materiel og mandskab med ensartet arbejdstempo	[62]	
Planlægning			- Reduceret behov og anvendelse af byggepladskraner	[61]
			- Anvendelse af 'double-jib' kraner	[63]
		- Anvende træk-afstand som udvælgelse parameter for udstyr	[64]	
		- Reducere behovet for materiel gennem bedre tilrettelæggelse af arbejdet og valg af egnet udstyr	[65] [62]	
	Logistik og styring		- Optimer byggepladslogistikken gennem bedre planlægning	[66] [67]
			- Identificering af den optimale placering af tårnkran	[68]
			- Anvendelse af intelligent signalstyring	[56]
			- Oplær maskinførere i emissionseffektiv kørsel	[57]
	- Automatiseret aktivitetsgenkendelse for forbedret planlægning	[69]		
	- Optimeret byggepladsstyring og anvendelse af relevant planlægningssoftware.	[48] [57]		

Kategori	Fokus	Tiltag	Kilder	
Byggeaffald	Affalds-generering	- Minimer oplagret materiale for at reducere risikoen for overskydende materialer, beskadigede materialer og dobbelthåndtering.	[68]	
		- Kortlægning og redegørelse for årsager til affaldsgenerering	[64]	
		- Anvendelse af korrekt udstyr for at mindske affaldsgenerering	[48]	
		- Ændrede byggeprocesser og procedurer	[64]	
			- Anvendelse af 'mock-up' modeller	[64]
			- Forbedret on-site sortering	[64] [68]
			- Optimering af affaldscontainere tilgængelige efter byggeriet stude og forventede affaldskategorier	[68]
	Reduktion og genbrug	- Optimer størrelsen af affaldscontainere i forhold til tømningsfrekvens	[68]	
		- Korrekt og ensartet klassificering af affaldskategorier	[64]	
		- Øget genbrug af affald direkte på byggepladsen	[48] [51] [57] [56] [70] [58] [64]	
		- Effektiv genbrug af midlertidige byggematerialer, såsom forskalling.	[48]	
	Emballage	- Minimering af emballage, f.eks. ved at købe cement i løsvægt fremfor i sække	[56]	
Byggeplads-faciliteter	Belysning og varme	- Anvendelse af biodiesel eller elektricitet fra fossilfri kilder til belysning	[58]	
		- Reducer anvendelsen af transformerbokse	[61]	
		- Styring af natbelysning	[61]	
		- Anvendelse af LED belysning	[56]	
		- Reducere brugen af lyskæder ved brug af større selvstændige LED belysning.	[61]	
		- Slukke kontorudstyr når det ikke er i brug	[61]	
		- Brug af bevægelsessensorer for at reducere strømforbrug	[61]	
- Anvendelse af natsænkning og timer for bedre styring af varmeforbrug	[61]			
Øvrige forhold	Produktion	- Øget anvendelse af præfabrikation	[50] [60] [71] [72] [73] [74] [75]	
			[59] [68] [64]	
		- Anvendelse af moderne byggeprocesser herunder modulære teknikker	[76] [48]	
		- Fokus på lav-emissions processer, f.eks. isoleret forskalling	[77] [68]	
		- Minimere antallet af design ændringer	[64]	
		- Forbedret byggekvalitet og reducere fejl og mangler	[78]	
	Ledelse	- Tag højde for årstider og optimer aktiviteter og arbejdsfordeling efter forventet klima (temperatur)	[64]	
		- Anvendelse af energimålingssystemer under byggefasen	[56]	
		- Større fokus og afsætning af flere ressourcer til affaldshåndtering	[64]	

Kategori	Fokus	Tiltag	Kilder
		– Forbedre affalds-adfærden	[68]
	Affaldspraksis	– Skabe og motivere en affalds-reduktions kultur	[68] [79]
		– Affaldsbevidsthed og træning	[64]

8.0 Bilag

Tabel 23. Resultater af case analysen for transport i modul A4 samt etageareal.

ID	Etageareal	GWP i modul A4
	[m ²]	[kgCO ₂ e/m ² år]
200 ER	19.518	0,58
201 EB	2.592	0,47
202 EKR	179	0,41
048 ER	1.035	0,41
204 KB	6.375	0,35
205 IN	12.944	0,27
206 IN	860	0,19
207 EKR	1.954	0,17
208 ER	9.630	0,13

Tabel 24. Baggrundsdata for standard emissionsfaktorer for produktgrupper transport. Distancer er gennemsnit af de analyserede data uden usikkerhedsfaktor.

Gruppe	Undergruppe	Distance Lastbil	Distance skib
		[km]	[km]
Beton	Fabriksbeton	25	0
	Væg- og dækelementer	121	0
	Øvrige elementer	233	0
Træ	Konstruktionstræ	90	0
	Træplader, brædder og gulve	500	392
	Træelementer	901	0
Stål	Armeringsstål	100	0
	Plader og profiler	350	0
Aluminium	Plader og profiler	800	0
Gips	Gipsplader	179	1.500
	Mørtel og puds	450	0
Tegl og mursten	Mursten	50	0
	Tagsten	100	0
Cementbaserede produkter (uden beton)	Porebeton	625	0
	Letklinker	75	0
	Fibercement	1.000	0
	Cementbaseret mørtel og puds	682	0
Kalciumsilikat	Kalksandsten	350	650
Zink	Zinkbeklædninger	620	0
Bitumen	Tagpap	697	0
Facadeåbninger	Vinduer og døre	755	0
	Curtain wall facader	170	0
Natursten	Natursten	264	2.825
	EPS	167	0
	Kalciumsilikat	1.239	0
Isolering	Cellulose	299	0
	Træfiber	821	17
	Mineraluld	312	0
Membraner og overfladebehandlinger	Dampspærre	1.560	0
	Paint	735	0
Tekniske bygningsinstallationer	Solceller	700	7.305
	Ventilation og køl	500	0
	Varme	500	0
	Mekaniske anlæg	500	0
	Vand og afløb	500	0

Tabel 25. Resultater af case analysen i modul A5. Tomme værdier skyldes manglende data

ID	Etageareal [m ²]	EI	Varme [kgCO ₂ e/m ² år]	Brændstof	Affald
001 IN	974	0,11		0,01	1,14
002 ER	42.260				0,88
004 EB	13.827				0,33
005 BE	44.000				0,42
007 EKR	185	0,11		0,18	0,83
008 EKR	200	0,25		0,18	0,45
009 EKR	167	0,10		0,21	0,32
010 IN	210			0,32	0,53
011 EKR	345	0,21		0,13	0,57
012 EKR	211	0,28		0,45	0,91
013 EKR	220	0,19		0,34	0,53
014 EKR	209	0,31		0,33	0,58
015 EKR	185	0,28		0,40	1,34
016 EKR	164	0,05		0,07	0,46
017 EKR	159	0,03		0,00	0,48
018 EKR	172	0,02		0,03	0,55
019 EKR	164	0,02		0,03	0,42
020 EKR	175	0,02		0,04	0,69
021 EKR	180	0,01		0,00	0,51
022 EKR	153	0,00		0,03	0,52
023 EKR	170	0,06		0,06	0,50
024 EKR	165	0,00		0,08	0,37
025 EKR	167	0,06		0,02	0,59
026 KB	13.974	0,08	0,13	0,07	0,22
027 EB	16.957	0,10	0,06	0,03	0,67
028 EB	9.195	0,13	0,17	0,06	0,32
029 KB	5.115	0,12	0,06	0,08	0,62
030 ER	3.176	0,25	0,23	0,03	0,57
031 EKR	3.266	0,09		0,39	0,49
034 KB	15.120	0,07	0,03	0,10	0,24
035 EKR	7.100	0,38		0,26	0,41
036 EB	24.000	0,07	0,03	0,04	0,21
037 BE	76.400	0,10	0,09	0,13	0,71
038 BE	6.440	0,15			0,87
041 IN	2.271			0,03	0,86
043 IN	1.800			0,05	0,54
044 EKR	7.450				1,34
047 IN	1.350	0,13	0,04	0,47	0,62
048 ER	1.035	0,16	0,12	0,47	0,54
049 EKR	239	0,02	0,00	0,06	0,41

055 IN	242	0,26		0,01	
056 EKR	160	0,39			0,87
057 EB	528	0,05	0,05	0,04	0,16
059 EB	9.174	0,06	0,10		0,48
076 IN	2.344				2,38
082 IN	16.059			0,00	0,23
089 EB	17.000				0,13
092 KB	1.800				1,15
094 IN	1.563			0,19	0,78
101 EB	5.047				0,16
138 KB	11.895	0,20	0,08	0,33	1,06
139 ER	8.600	0,08	0,12	0,66	0,23

9.0 Referencer

- [1] Transport- og Boligministeriet, *Bekendtgørelse om bygningsreglement 2018*.
- [2] Indenrigs- og Boligministeriet, *National strategi for bæredygtigt byggeri*, 2021.
- [3] Europakommissionen, *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast)*, 2021.
- [4] B. Tozan, E. Brisson Jørgensen og H. Birgisdottir, »Klimapåvirkning fra 60 bygninger: Opdaterede værdier baseret på nyere data og danske EPD'er,« Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet, 2021.
- [5] BUILD, Aalborg Universitet, »Ressourceforbrug på byggepladsen,« 2021. [Online]. Available: <https://vbn.aau.dk/da/projects/ressourceforbrug-p%C3%A5-byggepladsen>.
- [6] CEN, *EN 15978 Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet - Beregningsmetode*, Bruxelles, 2012.
- [7] Indenrigs- og Boligministeriet, *National strategi for bæredygtigt byggeri*, 2021.
- [8] Social- og Boligstyrelsen, *Vejledning om den frivillige bæredygtighedsklasse*, 2020.
- [9] K. Kanafani, J. Magnes, S. M. Lindhard og M. Balouktsi, »Carbon Emissions during the Building Construction Phase: A Comprehensive Case Study of Construction Sites in Denmark,« *Sustainability*, årg. 2023, nr. 15, p. 10992, 2023.
- [10] BUILD, »RE:BYG,« 2021. [Online]. Available: <https://www.build.aau.dk/web/rebyg>.
- [11] Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, *Vejledning om den frivillige bæredygtighedsklasse*, 2020.
- [12] Europa-Parlamentet, Rådet for Den Europæiske Union, *Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EU) 2020/852 af 18. juni 2020 om fastlæggelse af en ramme til fremme af bæredygtige investeringer og om ændring af forordning (EU) 2019/2088*, Bruxelles, 2020.
- [13] Europakommissionen, *Kommissionens Delegerede Forordning (EU) 2021/2139 af 4. juni 2021 om supplerende regler til Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EU) 2020/852 for så vidt angår fastsættelse af de tekniske screeningskriterier [...] (for miljømæssig bæredygtighed)*, Bruxelles, 2021.
- [14] CEN, *prEN 15978-1:2021*.

- [15] CEN, *EN 15804 Bæredygtigheds inden for byggeri og anlæg - Miljøvaredeklarationer - Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer*, Bruxelles, 2012.
- [16] CEN, *EN ISO 14083:2023 Drivhusgasser - Kvantificering og rapportering af drivhusgasemissioner opstående i transportkæder*, Bruxelles, 2023.
- [17] Smart Freight Centre, *Global Logistics Emissions Council Framework - for Logistics Emissions Accounting and Reporting - Version 2.0*, 2019.
- [18] CEN, *EN 16258 Metode til beregning og deklaration af energiforbrug og emissioner af GHG (drivhusgasser) inden for transportsektoren (gods- og passagertransport)*, Bruxelles: CEN.
- [19] INFRAS, *Handbook of emission factors for road transports*.
- [20] EcoTransIT World Initiative, *Environmental Methodology and Data Update 2023*.
- [21] JRC, *JEC Well-To-Wheels report v5 - Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*, 2020.
- [22] Europaparlament og Det Europæiske Råd, *Direktiv 2018/2001 om fremme af anvendelsen af energi fra vedvarende energikilder*, 2018.
- [23] Europaparlament og Det Europæiske Råd, *Direktiv 98/70/EF om kvaliteten af benzin og dieselolie*, 2009.
- [24] Direktoratet for Byggkvalitet, *Byggteknisk forskrift (TEK17)*.
- [25] Direktoratet for Byggkvalitet, *Vejleder for utarbejdelse av klimagassregnskap*, 2023.
- [26] Standard Norge, *NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger*.
- [27] M. R. K. Wiik, K. Fjellheim og R. Gjersvik, *Erfaringskartlegging av krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser*, 2021.
- [28] Wiik, Fjellheim, Sandberg, Thorne, Pinchasik, Sundvor, Bjelle og Gjersvik, *Utslippsfri byggeprosess i Oslo - Konsekvensutredning*.
- [29] Miljødirektoratet, *M-2538:2023 Kunnskapsgrunnlag om barrierer og potensial for utslippskutt i bygge- og anleggsvirksomhet*, 2023.
- [30] Landsbygds- och infrastrukturdepartementet BB, *Lag (2021:787) om klimatdeklaration för byggnader*, 2021.
- [31] Boverket, *Klimadeklaration - en digital handbok från Boverket*.
- [32] Boverket, *Boverkets klimadatabas*.
- [33] YM, Ministry of the Environment Finland, *Decree of the Ministry of the Environment on the climate declaration of a building*.
- [34] YM, Ministry of the Environment Finland, *Method for the whole life carbon assessment of buildings*, årg. 2019:23, 2019.
- [35] YM, Ministry of the Environment, Finland, *Emissions database for construction*.

- [36] Stichting Nationale Miljeudatabase, *The Environmental Performance Assessment Method for Construction Works (Assessment Method)*.
- [37] Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), *Whole life carbon assessment for the built environment, RICS Professional Standard, 2nd edition*.
- [38] CEN, *prEN 15941 Bygge- og anlægskonstruktioners bæredygtighed - Datakvalitet i relation til miljømæssig vurdering af produkter og bygge- og anlægskonstruktioner . Valg og brug af data*, Brussels, 2021.
- [39] J. Kragh, H. Birgisdottir og J. Rose, *BUILD-rapport 2023:15 - Udvikling af dansk generisk LCA-data*, 2023.
- [40] Vejdirektoratet og Banedanmark, *InfraLCA*.
- [41] B. Tozan, O. C. Olsen, G. C. Sørensen, J. Kragh, J. Rose, S. Aggerholm og H. Birgisdottir, »BUILD-rapport 2023:21 Klimapåvirkning ved nybyggeri: Analytisk grundlag til fastlæggelse af ny LCA baseret klimapåvirkningsgrænseværdi for 2025,« BUILD Institut for byggeri, by og miljø, Aalborg Universitet, 2023.
- [42] Bionova Ltd., *Carbon footprint limits for common building types*, 2021.
- [43] Boverket, *Rapport 2023:20 Gränsvärde för byggnaders klimatpåverkan*, 2023.
- [44] Affaldsforebyggelse i byggeriet - forprojekt, »Affaldsforebyggelse i byggeriet - forprojekt,« 2017.
- [45] E. J. de Place, P. H. Søder og L. Fredslund, »BUILD-rapport 2021:14 Kortlægning af spild i byggeriet - Omfang, årsager og forslag til indsatser,« Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet, 2021.
- [46] J. Sommer, J. Rose, M. Schütt Hansen, B. Kofoed og K. Birkemark Olesen, »Projektrapport: Energisparepotentialer i byggeprocessen,« Energistyrelsen, 2013.
- [47] Regeringens Klimapartnerskaber - Bygge- og anlægssektoren, »Anbefalinger til regeringen fra Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren - Bilag, Revision 26. marts 2020,« 2020.
- [48] T. Kumari, U. Kulathunga, T. Heevitharana og N. Madusanka, »Embodied carbon reduction strategies for high-rise buildings in Sri Lanka,« *International Journal of Construction Management*, årg. 22, nr. 13, pp. 2605-2613, 2020.
- [49] M. Sandanayake, G. Zhang, S. Setunge, W. Luo og C. Q. Li, »Estimation and comparison of environmental emissions and impacts at foundation and structure construction stages of a building - A case study,« *Journal of Cleaner Production*, årg. 151, pp. 319-329, 2017.
- [50] X. Zhang og F. Wang, »Hybrid input-output analysis for life-cycle energy consumption and carbon emissions of China's building sector,« *Building and Environment*, årg. 104, pp. 188-197, 2016.
- [51] S. Sattary og D. Thorpe, »Potential carbon emission reductions in australian construction systems through bioclimatic principles,« *Sustainable Cities and Society*, årg. 23, pp. 105-113, 2016.
- [52] Y. F. Li, C. C. Yu, S. Y. Chen og B. Sainey, »The Carbon Footprint Calculation of the GFRP Pedestrian Bridge at Tai-Jiang National Park,« *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, årg. 1, nr. 4, pp. 13-28, 2013.

- [53] W. Wu, P. Sun og H. Zhou, »The case study of carbon emission in building construction process,« *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, årg. 371, nr. 2, p. 022011, 2019.
- [54] H. J. Shau, T. Y. Liu, P. H. Chen og N. N. Chou, »Sustainability Practices for the Suhua Highway Improvement Project in Taiwan,« *International Journal of Civil Engineering*, årg. 17, nr. 10, pp. 1631-1641, 2019.
- [55] P. Truitt, »Potential for reducing greenhouse gas emissions in the construction sector,« 2009.
- [56] J. Liu, »Financial Promotion for Low Carbon Project Implementation Using Public-Private Partnerships (PPPs) during Highway,« *American Society of Civil Engineering (ASCE)*, pp. 184-196, 2017.
- [57] W. Jang, H. W. You og S. H. Han, »Quantitative Decision Making Model for Carbon Reduction in Road Construction Projects Using Green Technologies,« *Sustainability*, årg. 7, nr. 8, pp. 11240-11259, 2015.
- [58] G. Fernández-Sánchez, Á. Berzosa, J. M. Barandica, E. Cornejo og J. M. Serrano, »Opportunities for GHG emissions reduction in road projects: a comparative evaluation of emissions scenarios using CO2NSTRUCT,« *Journal of Cleaner Production*, årg. 104, pp. 156-167, 1 10 2015.
- [59] J. Hong, G. Q. Shen, Y. Feng, W. S. T. Lau og C. Mao, »Greenhouse gas emissions during the construction phase of a building: a case study in China,« *Journal of Cleaner Production*, årg. 103, pp. 249-259, 2015.
- [60] S. Yanli og C. Li, »Measurement and analysis of carbon emissions from prefabricated buildings under the transition of new and old kinetic energy,« *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, årg. 813, p. 012007, 2021.
- [61] J. Gottsche, M. Kelly og M. Taggart, »Assessing the impact of energy management initiatives on the energy usage during the construction phase of an educational building project in Ireland,« *Construction Management and Economics*, årg. 34, nr. 1, pp. 46-60, 2016.
- [62] N. Szamocki, M.-K. Kim, C. R. Ahn og I. Brilakis, »Reducing Greenhouse Gas Emission of Construction Equipment at Construction Sites: Field Study Approach,« *Journal of Construction Engineering and Management*, årg. 05019012, nr. 145, 2019.
- [63] S. Hasan, A. Bouferguene, M. Al-Hussein, P. Gillis og A. Telyas, »Productivity and CO2 emission analysis for tower crane utilization on high-rise building projects,« *Automation in Construction*, årg. 31, pp. 255-264, 2013.
- [64] H. S. Jassim, J. Krantz, W. Lu og T. Olofsson, »A model to reduce earthmoving impacts,« *Journal of Civil Engineering and Management*, årg. 6, p. 26, 490-512.
- [65] P. S. Wong, A. Owczarek, M. Murison, Z. Kefalianos og J. Spinozzi, »Driving construction contractors to adopt carbon reduction strategies – an Australian approach,« *Journal of Environmental Planning and Management*, årg. 57, nr. 10, pp. 1465-1483, 2014.
- [66] Y. Fang, T. Ng, Z. Ma og H. Li, »Quota-based carbon tracing model for construction processes in China,« *Journal of Cleaner Production*, årg. 200, pp. 657-666, 1 11 2018.

- [67] F. J. Ying, M. O'Sullivan og I. Adan , »Simulation of vehicle movements for planning construction logistics centres,« *Construction Innovation*, årg. 21, nr. 4, pp. 608-624, 2021.
- [68] D. Briskorn og M. Dienstknecht, »Covering polygons with discs: The problem of crane selection and location on construction sites,« *Omega*, årg. 97, p. 102114, 2020.
- [69] K. M. Rashid og J. Louis, »Times-series data augmentation and deep learning for construction equipment activity recognition,« *Advanced Engineering Informatics*, årg. 42, p. 100944, 2019.
- [70] F. Dalene, »Technology and information management for low-carbon building,« *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, årg. 4, nr. 4, p. 41402, 17 2012.
- [71] Z. Ding, S. Liu, L. Luo og L. Liao, »A building information modeling-based carbon emission measurement system for prefabricated residential buildings during the materialization phase,« *Journal of Cleaner Production*, årg. 264, p. 121728, 2020.
- [72] Y. Teng og W. Pan, »Systematic embodied carbon assessment and reduction of prefabricated high-rise public residential buildings in Hong Kong,« *Journal of Cleaner Production*, årg. 238, p. 117791, 20 11 2019.
- [73] W. Pan, Y. Teng og K. Y. Li, »Implications of Prefabrication for the Life Cycle Carbon Emissions of High-Rise Buildings in High-Density Urban Environment,« i *Construction Research Congress 2018: Sustainable Design and Construction and Education - Selected Papers from the Construction Research Congress 2018*, 2018.
- [74] Y. Teng, K. Li, W. Pan og T. Ng, »Reducing building life cycle carbon emissions through prefabrication: Evidence from and gaps in empirical studies,« *Building and Environment*, årg. 132, pp. 125-136, 15 3 2018.
- [75] M. S. Sandanayake, G. Zhang, S. Setunge og C. Q. Li, »Environmental emissions in building construction: Two case studies of conventional and pre-fabricated construction methods in Australia,« i *Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies (SCMT4)*, 2016.
- [76] K. Lawania og W. K. Biswas, »Application of life cycle assessment approach to deliver low carbon houses at regional level in Western Australia,« *International Journal of Life Cycle Assessment*, årg. 23, nr. 2, pp. 204-224, 2018.
- [77] S. Ghafoor og R. Croward, »Comparative Study of the Life Cycle Embodied Greenhouse Gas Emissions of Panelised Prefabricated,« i *Proceedings of the International Conference of Architectural Science Association, Auckland, New Zealand*, 2020.
- [78] I. Mahamid, »Impact of rework on material waste in building construction projects,« *International Journal of Construction Management*, årg. 22, nr. 8, pp. 1500-1507, 2020.
- [79] P. S. Wong og J. Zapantis, »Driving carbon reduction strategies adoption in the Australian construction sector – The moderating role of organizational culture,« *Building and Environment*, årg. 66, pp. 120-130, 2013.
- [80] »Klimapåvirkning fra 60 bygninger - Muligheder for udformning af referenceværdier til lca for bygninger,« BUILD , 2020.
- [81] Direktoratet for byggkvalitet, *Byggeteknisk Forskrift (TEK 17), kapittel 17 Klima og livsløp, § 17-1*, Direktoratet for byggkvalitet.

- [82] ISO, \\sbi\Department\sbi\Grupper\Afdeling BEI\Projekter (igangværende fra 2019)\2021 - MYN Ressourceforbrug på byggeplads\import, Geneve, 2020.
- [83] K. Dobers og D. Rüdiger, *Emission intensity factors for logistics buildings*, Fraunhofer Institute for Material Flow and Logistics IML, 2019.
- [84] Boverket, *Boverkets klimatdatabas*.
- [85] RICS Royal Institution of Chartered Surveyors, *Whole life carbon assessment for the built environment*, 1 red., 2017.
- [86] X. Zhang og X. Zhang, »A subproject-based quota approach for life cycle carbon assessment at the building design and construction stage in China,« *Building and Environment*, årg. 185, p. 107258, 2020.
- [87] D. Price, D. Willshaw, C. Ma, Y. Wang og H. Xu, »Measurement and analysis of carbon emissions from prefabricated buildings under the transition of new and old kinetic energy,« årg. 813, nr. 1, p. 012007, 2021.
- [88] S. Arogundade, M. Dulaimi og S. Ajayi, »Holistic Review of Construction Process Carbon-Reduction Measures: A Systematic Literature Review Approach,« *Buildings*, årg. 13, nr. 7, p. 1780, 2023.
- [89] J. Bamgbade, M. Nawi og A. Kamaruddeen, »Construction firms' sustainability compliance level,« *Journal of Engineering Science and Technology*, årg. 12, nr. 2, pp. 126-136, 2017.
- [90] H. X. Li, L. Zhang, D. Mah og H. Yu, »An integrated simulation and optimization approach for reducing CO2 emissions from on-site construction process in cold regions,« *Energy and Buildings*, årg. 138, pp. 666-675, 2017.
- [91] J. Ji, K. Li, G. Liu, A. Shrestha og J. Jing, »Comparing greenhouse gas emissions of precast in-situ and conventional construction methods,« *Journal of Cleaner Production*, årg. 173, pp. 124-134, 2018.
- [92] H. Wu, J. Wang, H. Duan, G. Zillante og J. Y. Zuo, »Combining life cycle assessment and Building Information Modelling to account for carbon emission of building demolition waste: A case study,« *Journal of Cleaner Production*, årg. 172, pp. 3154-3166, 2018.
- [93] A. Bakchan og K. M. Faust, »Construction waste generation estimates of institutional building projects: Leveraging waste hauling tickets,« *Waste Management*, årg. 87, pp. 301-312, 2019.
- [94] Z. Ding, M. Zhu, V. W. Tam, G. Yi og C. N. Tran, »A system dynamics-based environmental benefit assessment model of construction waste reduction management at the design and construction stages,« *Journal of Cleaner Production*, årg. 176, pp. 676-692, 2018.
- [95] C. Llatas, »A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list,« *Waste Management*, årg. 31, nr. 6, pp. 1261-1276, 2011.
- [96] J. Gálvez-Martos, D. Styles, H. Schoenberger og B. Zeschmar-Lahl, »Construction and demolition waste best management practice in Europe,« *Resources, Conservation and Recycling*, årg. 136, pp. 166-178, 2018.

Ressourceforbrug på byggepladsen

Analysen har til formål at kortlægge ressourceforbrug på byggepladser til nybyggeri og på denne baggrund udforme nøgletal samt dokumentationsmetode, som kan understøtte implementering i bygningsreglementets klimakrav.

Rapporten indleder med en gennemgang af de tekniske standarder på området, som danner grundlag for klimakravene i bygningsreglementet. Eftersom enkelte lande er allerede begyndt at stille tilsvarende krav i national lovgivning, undersøges ligheder og forskelle i disse tilgange. Endelig kortlægges byggeprocessens klimapåvirkninger baseret på en række byggepladser og ved hjælp af andre tilgængelige datakilder. Resultater er opsummeret i nøgletal for klimapåvirkning.

På baggrund af den erfaring, som forskerne og de deltagende virksomheder har gjort sig i løbet af de sidste år, præsenteres en beskrivelse af dokumentationskrav, der kan bruges til rapportering af byggepladsens klimapåvirkninger.

Med udgangspunkt i de udviklede dokumentationskrav vurderes de økonomiske konsekvenser ved implementering af disse krav i bygningsreglementet. Afslutningsvis gives et kort overblik over kendte optimeringspotentialer, der kan nedbringe byggepladsens klimapåvirkninger.