



LCA af tre alternative gulvopbygninger



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

LCA af tre alternative gulvopbygninger

Udarbejdet for:

Kronospan Aps

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut

Gregersensvej 1

2630 Taastrup

Bygninger & Miljø

Juli 2021

Forfatter: Stefania Butera

Kvalitetssikring: Morten Søes Kokborg

Resultater af Institutts opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder fx vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag. Institutts navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionssekretariatet.



Indholdsfortegnelse

1. Indledning	4
2. Formål	4
3. Afgrænsning	5
3.1. Funktionel enhed	5
3.2. Systemgrænser	5
4. Metoder	7
4.1. LCA-modellering og LCA-metode	7
4.2. Proces mht. kritisk review	7
4.3. Definition af de undersøgte gulvopbygninger	8
4.3.1. Udvalgelse af beregningsgrundlag	12
4.4. Tilgang til udvælgelse af konkrete byggevarer	13
5. LCA-model	14
6. Resultater og diskussion	17
6.1. Diskussion om inklusionen af øvrige faser	20
6.2. Følsomhedsanalyse	25
7. Konklusioner	31
8. Referencer	33
Bilag A – Standardlejlighederne	35
Bilag B - Byggevaremængdeberegningerne	37
Bilag C – Samtlige resultater	38
Bilag D – Repræsentativitet af data	41
Bilag E – Kritisk review rapport	43



1. Indledning

Teknologisk Institut, Byggeri og Anlæg har i perioden november 2020 - juli 2021 gennemført en livcyklusvurdering (LCA) af tre forskellige gulvopbygninger, som ofte anvendes i store bolig- og kontorbyggerier. Opgaven er bestilt af Nexttool på vegne af Kronospan Aps. Kronospans Klimagulv (Spaandex gulvspånplader EN312, P6 med spor til varmeslanger) indgår i to af de tre undersøgte gulvopbygninger.

Beregningsudgangspunktet for de tre gulvkonstruktioner er fastlagt i et samarbejde mellem Stefania Butera mfl., Teknologisk Institut og Bjarne Lund Johansen, Nexttool.

LCA-beregninger er udført af Stefania Butera, Teknologisk Institut, Byggeri og Anlæg.

LCA-beregninger er udført i overensstemmelse med principperne for LCA, som beskrevet i DS/EN ISO-standard 14044. Afrapporteringen følger ISO-standardens krav til en LCA, der er beregnet til offentliggørelse med inddragelse af en ekstern LCA-ekspert, som udførte en kritisk gennemgang af rapporten, samt en ekspertgruppe bestående af to eksperter inden for beton- og gulvbranchen.

2. Formål

Formålet med LCA-studiet, som er dokumenteret i nærværende rapport, er at undersøge og sammenligne miljøpåvirkninger for tre forskellige gulvopbygninger på beton huldæk for store etagebyggerier til bolig- og kontorformål vha. LCA:

- a) Betonundergulv bestående af EPS-beton med gulvvarme i svindarmeret mørtelafretning.
- b) Strøundergulv bestående af et stålstrøsystem med gulvvarme i spånpladeundergulv (med Klimagulv fra Kronospan).
- c) Strøundergulv bestående af LVL-strøer på plasttårne med gulvvarme i spånpladeundergulv (med Klimagulv fra Kronospan).

De tre undersøgte undergulve er egnet til gulvvarme under fx trægulve eller banevarer. Yderligere beskrivelse af konstruktionerne kan ses i Figur 1.

Studiets primære formål er at undersøge og sammenligne CO₂-belastningen, dvs. GWP (Global Warming Potential) for de tre gulvopbygninger for at få mere viden om eventuelle forskelle mellem gulvkonstruktionerne på materialeniveau. Herudover er der medtaget en række andre miljøpåvirkningskategorier, som det fremgår af Tabel 1.

Det er en del af opgaven at sikre, at de tre ovennævnte konstruktioner leverer den samme funktion og kvalitet, da det ikke er muligt at udføre LCA på ikke-sammenlignelige systemer. De tre konstruktioner bliver dermed defineret yderligere i afsnit 4.3.

Det udarbejdede materiale skal anvendes af Kronospan i dialog mellem Kronospan og entreprenører/håndværker mhp. materiale- og konstruktionsvalg som led i markedsføring, hvor de potentielle miljøkonsekvenser ved forskellige konstruktionsvalg kan indgå som et beslutningsparameter.

Resultaterne af denne LCA bør ikke anvendes til kommunikation i f.eks. fagblade, dagblade, generelle medier mv, og resultaterne bør ikke anvendes til at fremsætte en generel påstand i offentligheden om, at en gulvkonstruktion er miljømæssigt bedre end en anden. Sådanne anvendelser vil kræve review af et eksternt panel ifølge ISO 14044, pkt. 6.1.



3. Afgrænsning

3.1. Funktionel enhed

Den undersøgte funktionelle enhed svarer til 1 m² gulvkonstruktion for tre forskellige gulvopbygninger, som er typisk brugt i Danmark i store bolig- og kontorbyggerier:

- a) Betongulv med EPS-underlag og gulvvarme i betonafretning
- b) Strøgulv med træstrøer og gulvvarme i spånpladeundergulv
- c) Strøgulv med stålstrøsystem og gulvvarme i spånpladeundergulv.

De tre undersøgte gulvopbygninger er nærmere beskrevet i afsnit 4.3.

Den funktionelle enhed er dog beregnet baseret på et større gulvudsnit for at minimere kanteffekter og opnå et repræsentativt udsnit af gulvet: mængderne for de forskellige byggematerialer bliver beregnet for tre standard lejligheder på 82, 90 og 121 m² (jf. Bilag A og Bilag B). Herefter beregnes gennemsnittet for materialemængderne. En beskrivelse af argumentet for udvælgelsen af beregningsudgangspunktet findes i Afsnit 4.3.1.

3.2. Systemgrænser

LCA-studiet afgrænses til en sammenligning af de tre ovennævnte gulvkonstruktioner *udelukkende på materiale-niveau*, dvs. svarende til LCA-moduler¹ A1 (Råmaterialer), A2 (Transport), A3 (Fremstilling) af de *indgående materialer* (det bemærkes, at modulerne refererer til selve materialerne og ikke til en færdig gulvkonstruktion). LCA'en stopper ved materialefremstillingen; transport ud til byggeplads og selve lægning af gulvkonstruktioner er ikke inkluderet.

Både LCA-data fra EPDer og fra GaBi/Ecoinvent databaserne indeholder komplette data for A1, A2 og A3 (moduler refererer til materialerne og ikke til gulvkonstruktionen). Det er ikke synligt, hvilke specifikke antagelser, der er foretaget mht. transportmiddel, afstand, kørselsmønster mv. for de indgående materialer (modul A2).

Afgrænsningen for beregningerne betyder, at miljøpåvirkning fra følgende moduler ikke er medregnet:

- Transport af de indregnede materialer til og fra byggeplads (modul A4)
- Lægning af gulvkonstruktionerne (herunder fx energiforbruget til udtørring af EPS-beton og afretningsslag, spild af materialer under installation mv.) (modul A5)
- Brugsfase (modul B1-B7)
- Bortskaffelse/end-of-life (modul C1-C4)
- Eventuel genanvendelse af materialer (modul D).

Dette gøres, da det ikke forventes at inklusionen af de øvrige faser vil påvirke resultaterne væsentligt (jf. afsnit 6.1 for en detaljeret beskrivelse).

Derudover indgår i LCA-beregningerne alene de materialer, som er forskellige i de undersøgte gulvopbygninger. LCA-resultaterne for de enkelte gulvtyper kan derfor ikke stå alene, men udelukkende anvendes i denne komparative LCA. En nærmere beskrivelse af de materialer, som ikke er medtaget i nærværende studiet, findes i afsnit 4.3.

¹ Moduler i henhold til EN15804+A1



De forskellige gulvopbygninger er derudover vurderet under forudsætning af, at de er forskriftsmæssigt udført (herunder nedtørret) og korrekt installeret.

Der er ikke gjort antagelser ang. produktion af el og varme, da disse er inkluderet i de anvendte LCA-data fra EPDer og GaBi/Ecoinvent databaser.



4. Metoder

4.1. LCA-modellering og LCA-metode

Til beregning af LCA-resultater er GaBi v.10.0.192.100 software anvendt til klassificering og karakterisering af input- og output flows. Resultaterne er angivet som karakteriserede resultater, dvs. LCIA resultater (Life Cycle Impact Assessment)

Beregningerne udføres for de LCIA miljøpåvirkningskategorier, som er listet i Tabel 1, og som er omfattet af EPD-standarden (EN 15804:2012+A1:2013).

Tabel 1 Liste af miljøpåvirkningskategorier omfattet af nuværende undersøgelse (fra EN 15804:2012+A1:2013).

<i>Miljøpåvirkningskategori</i>	<i>Indikatorer (inkl. forkortelse)</i>	<i>Enhed</i>
Global opvarmning	GWP (Global Warming Potential)	kg CO ₂ -ækv.
Ozonlagsnedbrydning	ODP (Ozone Depletion Potential)	kg CFC-11-ækv.
Forsuring	AP (Acidification Potential)	kg SO ₂ -ækv.
Næringssaltbelastning/Eutrofiering	EP (Eutrophication Potential)	kg PO ₄ ³⁻ -ækv.
Fotokemisk ozondannelse	POCP (Photochemical Ozone Creation Potential)	kg Ethene-ækv.
Udtynding af abiotiske ikke-fossile ressourcer	ADP-elements (Abiotic Resource Depletion Potential for non-fossil resources)	kg Sb-ækv.
Udtynding af abiotiske fossile ressourcer	ADP-fossil fuels (Abiotic depletion potential for fossil resources)	MJ

LCIA-resultaterne er relative udtryk, som ikke forudsiger påvirkninger på kategori-end-point, eller overskridelser af tærskelværdier, sikkerhedsmarginer eller risikoniveauer

Der er ikke udført allokering i nærværende LCA. LCAen er udført udelukkende på de anvendte materialer, og LCA data er baseret på EPDer og datasæt fra GaBi og Ecoinvent. Hvis det har været nødvendigt at allokere er dette sket ved udarbejdelse af EPDer og datasæt, og forventes at være håndteret korrekt. EPDer og LCA datasæt er ikke dokumenteret i et omfang, der tillader stillingtagen i nærværende LCA.

4.2. Proces mht. kritisk review

Ifølge ISO-standarden skal der indgå en uafhængig reviewer, som skal sikre studiets kvalitet. LCA-eksperten Trine Henriksen fra COWI varetog denne funktion. Reviewprocessen udførtes i to trin, hvor revieweren i første trin modtog et endeligt rapportudkast til gennemsyn, og reviewer udfærdigede et udkast til reviewrapport. På baggrund af kommentarerne i den foreløbige reviewrapport færdiggjorde Teknologisk Institut LCA-rapporten. Kritisk review rapporten er indsat som Bilag E.

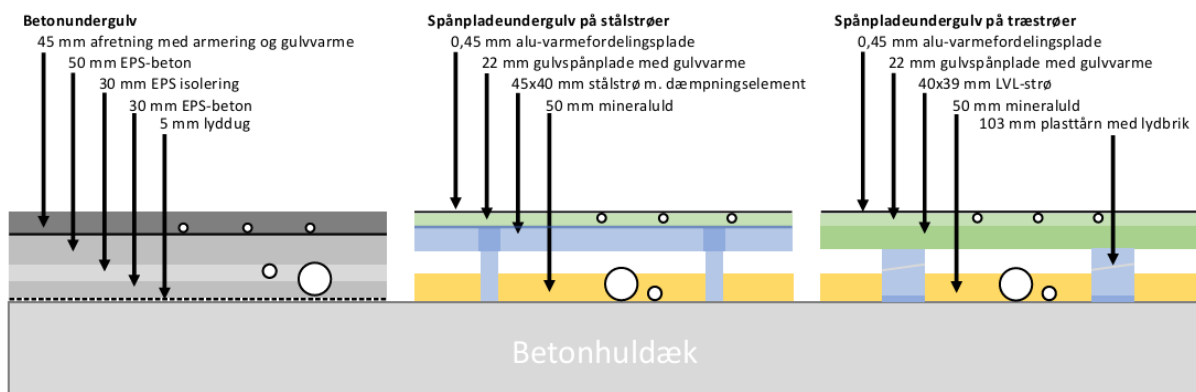
Derudover indgik en ekspertgruppe i projektet. Ekspertgruppens rolle var at sikre, at de tre undersøgte gulvopbygninger er sammenlignelige (leverer samme funktion og kvalitet), og er repræsentative for gulve, der er almindeligt brugt i Danmark, samt at mængderne af materialerne er realistiske. Ekspertgruppen bestod af Tommy Jacobsen, som er faglig leder i Beton Centret på Teknologisk Institut, samt Carsten Johansen, som er seniorspecialist i Sektionen Bygningsundersøgelser under Bygninger & Miljø Centret på Teknologisk Institut.



4.3. Definition af de undersøgte gulvopbygninger

Tilgangen til definitionen af gulvopbygningerne har været, at et første udkast til gulvopbygninger er blevet udarbejdet af Bjarne Lund Johansen (Nexttool) med udgangspunkt i bl.a. de konstruktioner, der er anbefalet og beskrevet på Kronospans hjemmeside². For betonundergulvet blev det taget udgangspunkt i systemløsninger for EPS-gulve og afretningslag fra Thermozell A/S, Weber A/S og Sundolitt A/S. Udkastet er efterfølgende blevet yderligere kvalificeret i samarbejde med ekspertgruppen. Denne iterative proces med inddragelse af ekspertgruppen har sikret, at de tre undersøgte undergulve leverer den samme funktion og kvalitet. Dette er en afgørende forudsætning for, at LCA overhovedet kan gennemføres.

Den endelige struktur for konstruktionerne er beskrevet i Figur 1. De små hvide cirkler illustrerer selve cirkulationsnettet til gulvvarme. De store og mellemstore cirkler illustrerer, at der kan forekomme andre installationer, f.eks. vand eller kloak, der dog ikke er medregnet. I de to konstruktioner med strøer, er der luft (markeret som hvidt lag) mellem mineraluld og strøer, og gulvet er båret af opklodsninger/tårne markeret med blå.



Figur 1 Konstruktionsdele, som indgår i LCA-beregningerne for de tre undersøgte undergulve. Undergulvene er egnet til gulvvarme i 16 mm varmeslanger for trægulve eller banevarer.

De konkrete byggevarer, samt mængder, der indgår i konstruktionerne, er listet i Tabel 2, Tabel 3 og Tabel 4.

Bemærk, at LCA'en stopper ved materialefremstillingen og ikke inkluderer udgående transport (modul A4) og lægning (modul A5) af de tre gulvopbygninger, såvel som brug og bortskaffelse ikke er medtaget.

Som nævnt ovenfor, indgår i LCA-beregningerne ikke de materialer, som er ens i de undersøgte gulvopbygninger, dvs. følgende:

- Trægulv, svømmende (eller andre typer gulv, fx banevarer).
- Mellemlag, 500 g gulvpap.
- Fugtspærre på det underliggende betondæk.
- Gulvvarmeslanger.

² <https://kronospan-dk.dk/system/download/konstruktioner>



Tabel 2 Byggevarer og relative mængder for beton undergulvet, samt kilde for miljødataene.

Materiale/byggevarer	Dimensioner, egenskaber	Mængder pr. m ²		Miljødata
Mørtelafretning Weber-floor	140 Nova 45 mm, Densitet: 1900 kg/m ³	85,5 kg	0,045 m ³	EPD Mørtelafretning [kg]
Svindarmering i mørtelafretning, Stålarmeringsnet, Ø4 #150	1,36 kg/m ²	1,36 kg		EPD Celsa steel [t] ³
EPS-beton, Thermozell TZ400 - (Vand ikke medregnet)	2 lag á 30 + 50 mm, 350 kg/m ³ (massefylde udlagt, tør)		0,08 m ³	
EPS	25 kg _{EPS} /m ³ _{EPS-beton}	2 kg		EPD EPS [m²] ⁴
Cement	250 kg _{CEMENT} /m ³ _{EPS-beton}	20 kg		EPD Aalborg Portland Basis [t]
EPS-plader, Sundolitt S80	30 mm - 15 kg/m ³	0,45 kg	0,03 m ³	EPD EPS [m²]
Lyddug, Acoustic Silence 1550 (gummi)	5 mm, vægt: 1,55 kg/m ² (ekstra forbrug á 0,25 kg/m ² for kanterne): 1,8 kg/m ² i alt	1,18 m ² 1,82 kg	0,005 m ³	EPD Lyddug [m²]

³ Celsa er en almindeligt brugt producent af armeringsstål i Danmark. Den anvendte EPD fra Celsa er udløbet, dog kan den nyere version ikke bruges, da den er lavet iht. EN15804+A2. Forskellen mellem GWP resultaterne fra de to EPD'er er cirka 8 %, hvilket betragtes som en mindre forskel.

⁴ Dette er i princippet knust genbrug-EPS. Der findes ikke nogen EPD for genbrug-EPS, derfor er det brugt EPD for almindelig primær EPS, hvilket betragtes som en konservativ tilgang.



Tabel 3 Byggevarer og relative mængder for stålstrøndergulvet, samt kilde for miljødataene.

Materiale/byggevarer	Dimensioner, egenskaber	Mængder pr. m ²		Miljødata
Stålstrøsystem, Granab System 7000	If. EPD		1 m ²	EPD Granab [m²] ⁵
Profiler	Galvaniseret stål	2,9 kg		GaBi datasæt for hot dip galvanized structural Steel (sections and heavy plates) - IFV (Module A1-A3) [kg]
Støtteklodser	PP (polypropylene)	0,2 kg		Ecoinvent datasæt for polypropylene production, granulate, RER [kg]
Expandable screws	Stål	0,05 kg		Ecoinvent datasæt for unalloyed steel, RER [kg]
Damping element	PUR (polyurethane) ⁶	0,05 kg		Ecoinvent datasæt for polyurethane production, rigid foam, RER [kg]
Bostik Multi Seal 2640	1, 5 kg/L	0,14 kg	0,092 L	GaBi datasæt for resin/SMP polymer [kg]
Alu-varmefordelingsplader, Pure Alu 1050 ⁷	1150 x 180 x 0,45 mm, 278 g/stk, 3,7 stk/m ²	1,03 kg 0,77 m ²	3,7 stk	EPD Blank aluminium sheets [kg] ⁸
Gulvspånplader, Type EN 312 P6	620 x 1820 x 22 mm, vægt: 18 kg, densitet 720 kg/m ³	15,84 kg	0,022 m ³	EPD Kronospan Spaandex Spånplader [kg]
Lim, DanaLim, Trælim D3 Ude 430	1-komponent PVAc lim, ¾ l/25 m (211m)	0,155 kg	0,13 L	GaBi datasæt for Polyvinyl Alcohol fibers (PVAL) [kg] ⁹
Varme-/lydisolering, Isover λ37	50 mm mineraluld (low density) λ37, 15 kg/m ³ , 1 m ²	0,75 kg	0,05 m ³	EPD ISOVER Ruller λ37 omregnet til tyk. 50 mm [m²]

⁵ Granabs EPD dækker ikke kun over selve stålstrøsystemet, men over hele undergulvet, inkl. spånplader. Derfor bruger vi sammensætningsdata i EPD'en til at modellere kun de dele, som rent faktisk er en del af Granab stålstrøsystemet (dvs. profiler, støtteklodser, expandable screws, damping elements).

⁶ Datasæt dækker rigid foam. Energiforbrug til støbning er inkluderet i datasæt.

⁷ Varmefordelingspladerne dækker ikke hele gulvet (jf. Figur 2)

⁸ Europæisk gennemsnit (EU-28 og Norge, Schweiz, Island) af European Aluminium-medlemmer

⁹ GaBi datasæt for polyvinylalkohol fibers bruges som proxy, da det ikke findes andre LCA datasæt for PVAc lim



Tabel 4 Byggevarer og relative mængder for træstrøndergulvet, samt kilde for miljødataene.

Materiale/byggevarer	Dimensioner, egenskaber	Mængder pr. m ²		Miljødata
LVL-strøer, 40x39 mm (Lamineret gran)	Pr. 600 mm + 3 stk. kantstrøer (de 6 kantstrøer fylder 1,05 m)	3,1 m 2,47 kg	4,836•10 ⁻³ m ³	EPD Stora Enso LVL [m³]
Opklodsninger, Knudsen Kilen	Kombi Max + lydbrik pr. 500 mm		6,23 stk	
LDPE	. Vægt/stk.: 112 g LDPE	0,6981 kg		Ecoinvent datasæt for LDPE, RER [kg]
HDPE	. Vægt/stk.: 16 g HDP	0,0997 kg		Ecoinvent datasæt for HDPE, RER [kg]
Regupol Gummi (Dafa)	. Vægt/stk.: 27 g GR	0,1683 kg		Ecoinvent datasæt for synthetic rubber production [kg] RER
Alu-varmefordelingsplader, Pure Alu 1050 ¹⁰	1150 x 180 x 0,45 mm, 278 g/stk, 3,7 stk/m ²	1,03 kg 0,77 m ²	3,7 stk	EPD Blank aluminium sheets [kg]¹¹
Gulvspånplader, Type EN 312 P6	620 x 1820 x 22 mm, vægt: 18 kg, densitet 720 kg/m ³	15,84 kg	0,022 m ³	EPD Kronospan Spaandex Spånplader [kg]
Spun-skruer (til fastholdelse af spånpladerne til opklodsningerne - fire søm til hver understøtning)	Pr. 150 mm. 4,5 x 60 mm, ulegeret stål, 3,2 g/stk.	0,05 kg	16,5 stk	Ecoinvent: steel production, converter, unalloyed/market for steel, unalloyed
Spun-skruer (til fastholdelse af strøerne til opklodsningerne - ét søm til hver understøtning)	1 stk pr. opklodsning, 4,5 x 80 mm, ulegeret stål, 5,5 g/stk.	0,0343 kg	6,23 stk	Ecoinvent: steel production, converter, unalloyed/market for steel, unalloyed
Lim, DanaLim, Trælim D3 Ude 430	1-komponent PVAc lim, ¾ l/25 m (211m)	0,155 kg	0,13 L	GaBi datasæt for Polyvinyl Alcohol fibers (PVAL) [kg]
Varme-/lydisolering, Isover λ37	50 mm mineraluld (low density) λ37, 15 kg/m ³ , 1 m ²	0,75 kg	0,05 m ³	EPD ISOVER Ruller λ37 omregnet til tyk. 50 mm [m²]

¹⁰ Varmefordelingspladerne dækker ikke hele gulvet (jf. Figur 2)

¹¹ Europæisk gennemsnit (EU-28 og Norge, Schweiz, Island) af European Aluminium-medlemmer

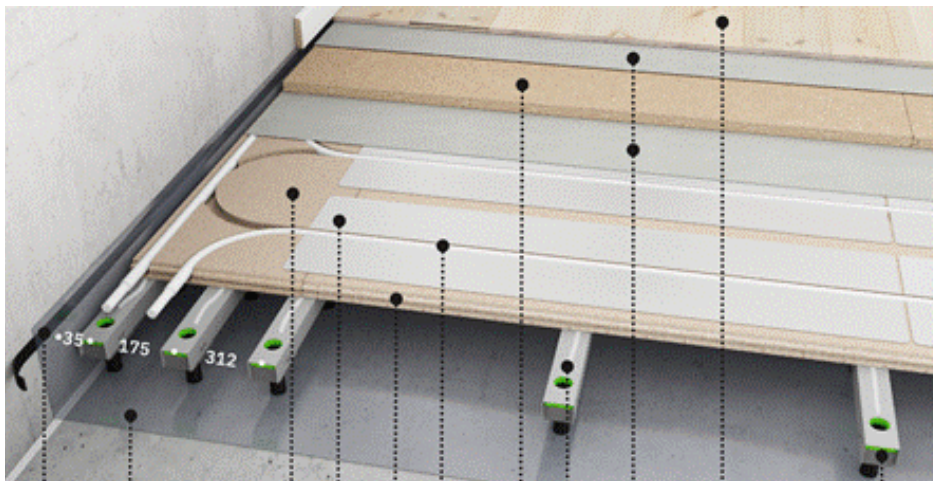


4.3.1. Udvalgelse af beregningsgrundlag

Den funktionelle enhed på 1 m² gulvkonstruktion bliver beregnet baseret på et større gulv udsnit, som svarer til rumstørrelser i tre standardlejligheder på 82, 90 og 121 m². Standardlejlighederne samt mængdeberegningerne for de forskellige byggevarer er beskrevet i hhv. Bilag A og Bilag B.

Grunden til, at det er nødvendigt med et større beregningsudgangspunkt end 1 m², er, at kanterne kan kræve en anderledes opbygning, med fx ekstra forbrug af specifikke komponenter (fx ekstra strøer, opbugning af membraner), som kan være med til at give et skævt billede, hvis beregningen udføres med udgangspunkt i for små eller for store rum. Specifikt for de tre undersøgte opbygninger gælder følgende forhold:

- Ved strøgulve bliver det brugt 3 kantstrøer for understøttelse af vendeplader (jf. Figur 2).
- Ved strøgulve dækker varmfordelingspladerne ikke hele gulvet (jf. Figur 2).
- For betongulvene foldes lyddugen op ad tilstødende vægge.



Figur 2 Eksempel på tre kantstrøer ved et stålstrøgulv. På billedet ses det også, at aluminiumspladerne ikke dækker hele gulvet.



4.4. Tilgang til udvælgelse af konkrete byggevarer

Kronospans Klimagulve (Spaandex spånplader) indgår i to af de tre undersøgte gulvopbygninger (scenarier b) og c)). Til modellering af disse er Kronospans EPD blevet anvendt.

Tilgangen til materialevalg for de øvrige byggevarer har været så vidt muligt at udvælge konkrete byggematerialer, som opfyldte de tekniske/funktionelle krav, og hvor en EPD var samtidigt tilgængelig, sådan at miljødataene var af sammenlignelig kvalitet materialerne imellem. EPD-resultater for moduler A1-A3 er blevet anvendt som datagrundlag.

Et første udkast til en materialeliste, inkl. mængdemængder, er blevet udarbejdet af Bjarne Lund Johansen (Nexttool) med udgangspunkt i et indledende møde (afholdt d. 19. oktober 2020) med LCA-konsulent Stefan Butera (Teknologisk Institut), samt ekspertgruppen (Tommy Jacobsen og Carsten Johansen fra Teknologisk Institut). Nexttool har derefter været i dialog med Kronospan samt med en række byggevarerproducenter (bl.a. Granab, Thermozeil, Knudsen Kilen, Scan Underlay, Weber, Alumeco) for at bekræfte opbygningerne samt mængderne. En yderligere kvalificering af det første udkast blev foretaget i samarbejde med LCA-konsulent og ekspertgruppen, og konkrete byggeprodukter er blevet udvalgt, så der forelå en EPD for så mange byggevarer som muligt. For enkelte byggematerialer, hvor det ikke har været muligt at finde EPD'er, generiske miljødata fra gængse LCA-databaser (GaBi og Ecoinvent) er blevet anvendt.

En oversigt over de anvendte byggematerialer, produkter og miljødata er angivet i Tabel 2, Tabel 3 og Tabel 4. Et overblik over repræsentativiteten af de anvendte data er opgjort i bilag D. De er vurderet ud fra er vurderet ud fra følgende skala i EN 15804:2012+A2:2019, Tabel E1: meget god (MG), god (G), middel (M), dårlig (D), meget dårlig (MD). Data ligger i stort omfang fra middel (M) til meget god (MG).

Et overblik over de anvendte EPDer er angivet i referencelisten (afsnit 8). Listen indeholder udgiver, løbnummer og udgivelsesår.

Relaterede oplysninger (fx densitet og materialeforbrug) er blevet så vidt muligt hentet fra EPD'er eller i teknisk dokumentation fra producenten.

Emballage er inkluderet i de LCA-data, der er baseret på EPDer, i det omfang det er vurderet væsentligt i EPDerne. LCA-data baseret på GaBi/Ecoinvent indeholder ofte ikke emballage. Da det primært er relativt tunge materialer i træ, beton og stål, leveret i store mængder, er det vurderet at emballage vil udgøre en meget lille miljøbelastning, der ikke vil kunne påvirke det samlede resultat.

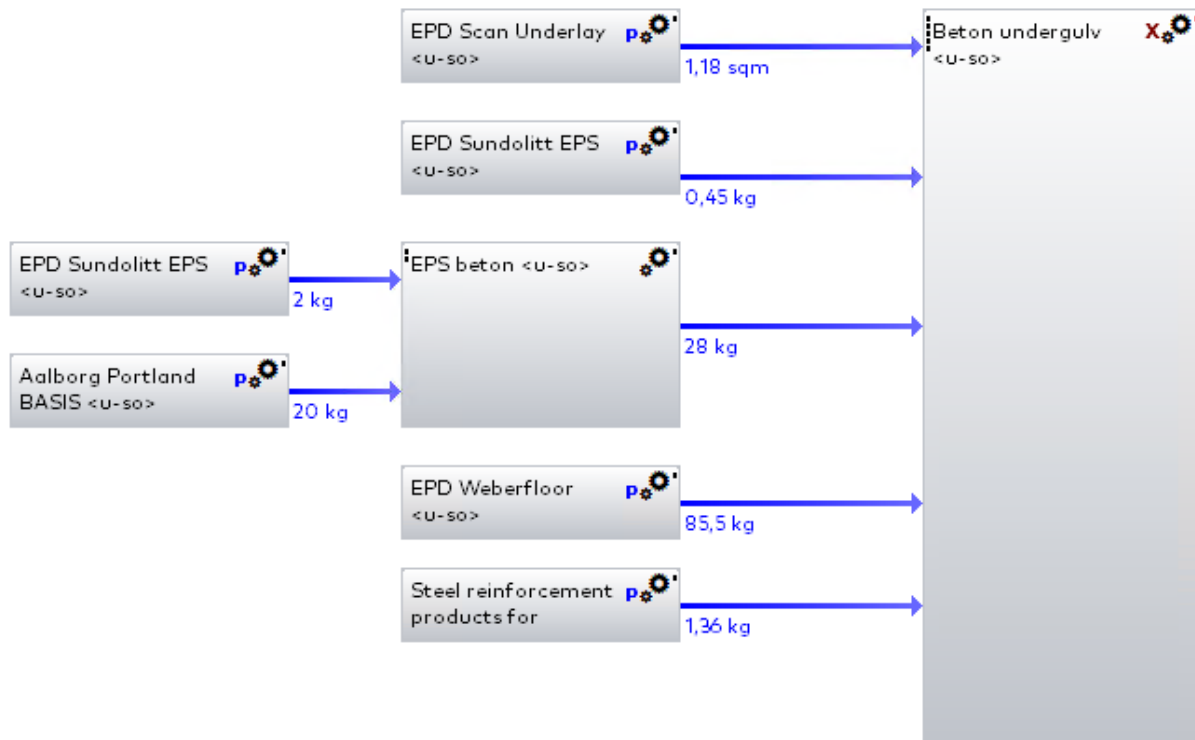
De installationer, der er ens for alle konstruktioner er udeladt. Derudover, er der ikke umiddelbart udeladt materialer. For enkelte materialer baseret på GaBi og Ecoinvent databaserne mangler der produktionsenergi for at transformere materialet (f.eks. plastik-granulat eller stålplade) til den færdige produkt del. Det er vurderet at denne manglende miljøbelastning er lav uden påvirkning på det samlede resultat, da mest mulige data er baseret på EPDer for færdige dele af det samlede gulv.

Der kan være mindre forbrug af fittings, afstandsstykker mv, som vil anvendes til en gulvkonstruktion. Sådanne materialer er ikke medregnet. De vurderes at veje under 1% af det færdige materiale, og samlet bidrage under 5% til masse eller energi.

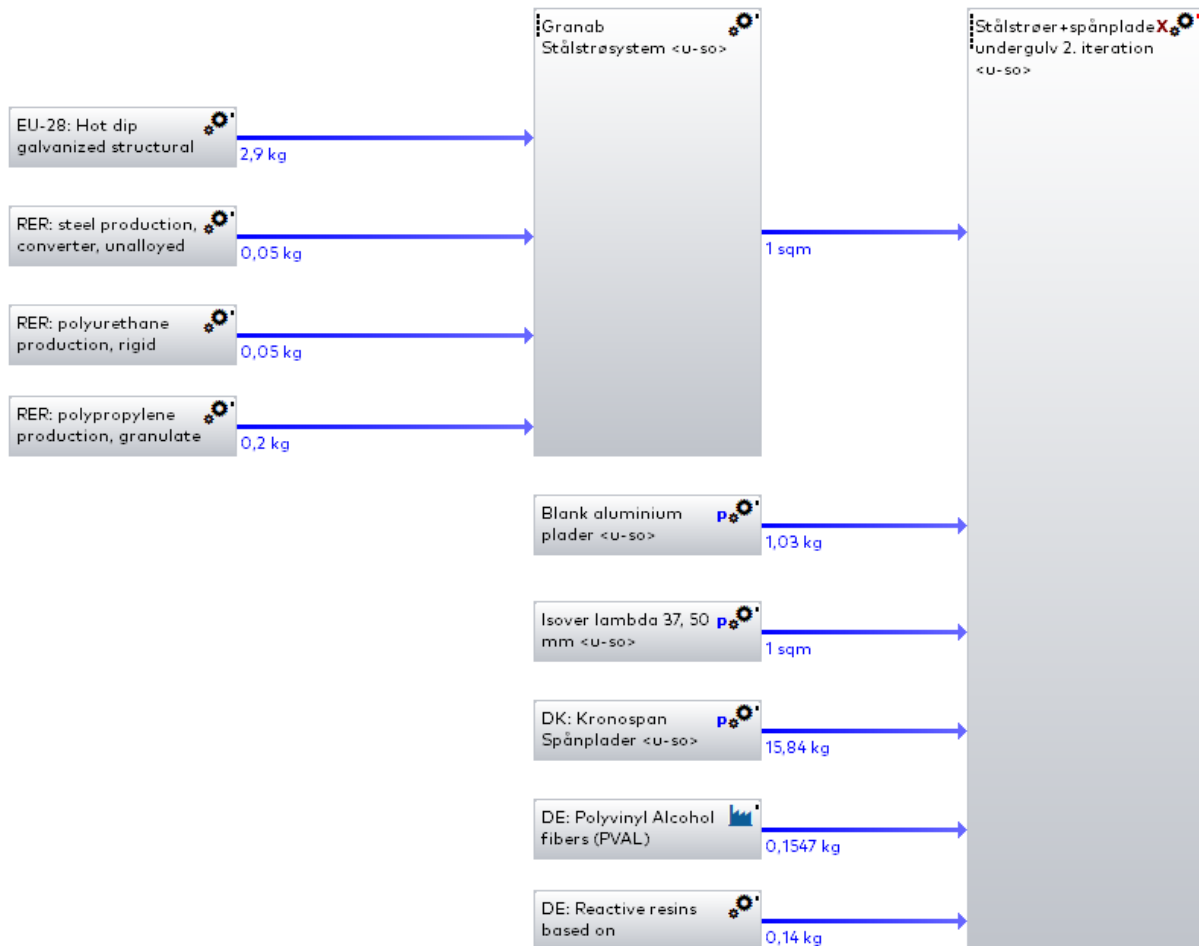


5. LCA-model

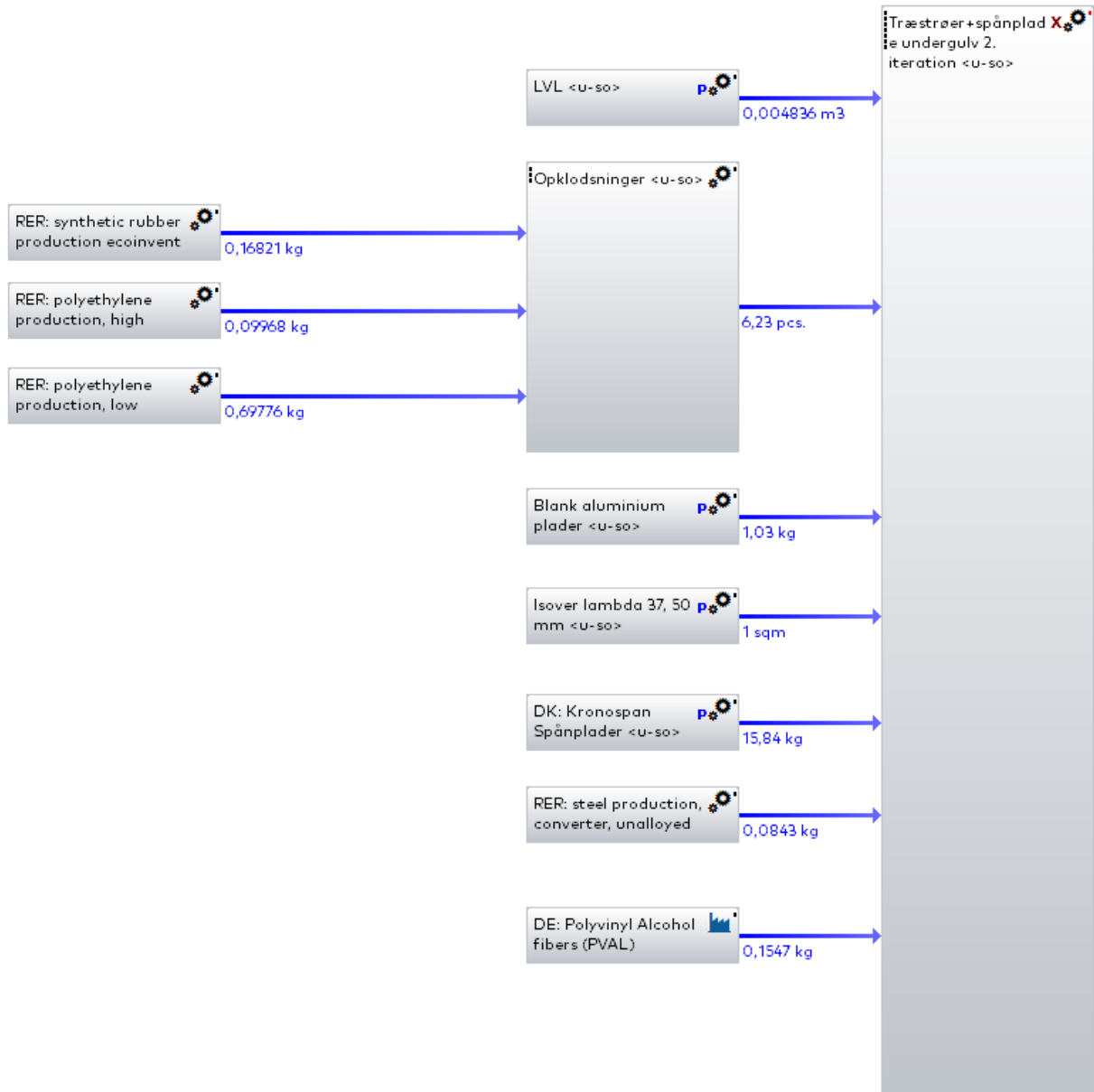
De tre undersøgte gulvopbygninger er blevet modelleret i GaBi af Stefania Butera (Teknologisk Institut). De tre modeller er vist i Figur 3, Figur 4 og Figur 5.



Figur 3 GaBi-model for beton undergulvet. Gennemsnitlige mængder per m² gulvkonstruktion.



Figur 4 GaBi-model for stålstrøundergulvet. Gennemsnitlige værdier per m² gulvkonstruktion.



Figur 5 GaBi-model for træstrøundergulvet. Gennemsnitlige mængder per m² gulvkonstruktion.

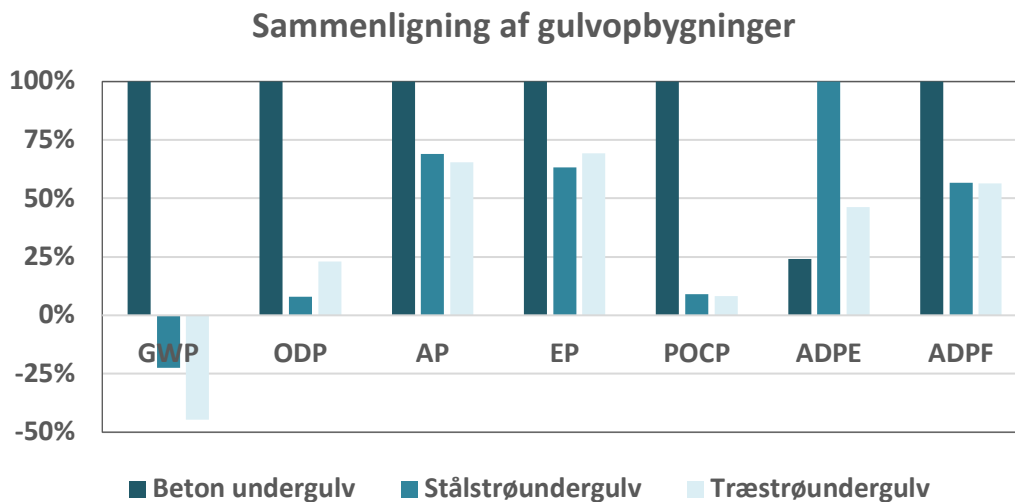


6. Resultater og diskussion

Resultaterne for de tre undersøgte gulvopbygninger er præsenteret i Tabel 5 samt i Figur 6. Negative resultater betyder en miljøgevinst, mens positive resultater repræsenterer en miljøbelastning.

Tabel 5 Beregnede miljøpåvirkninger for de tre undersøgte undergulve.

			Beton undergulv	Stålstrø undergulv	Træstrø undergulv
Global opvarmning	GWP	kg CO ₂ -ækv. /m ²	3,52E+01	-7,88E+00	-1,57E+01
Ozonlagsnedbrydning	ODP	kg CFC-11-ækv. /m ²	1,62E-06	1,28E-07	3,73E-07
Forsuring	AP	kg SO ₂ -ækv. /m ²	1,01E-01	7,01E-02	6,62E-02
Næringssaltbelastning/Eutrofiering	EP	kg PO ₄ ³⁻ -ækv. /m ²	1,69E-02	1,07E-02	1,17E-02
Fotokemisk ozondannelse	POCP	kg Ethene-ækv. /m ²	6,64E-02	5,98E-03	5,48E-03
Udtynding af abiotiske ikke-fossile ressourcer	ADPE	kg Sb-ækv. /m ²	1,04E-04	4,31E-04	2,00E-04
Udtynding af abiotiske fossile ressourcer	ADPF	MJ/m ²	4,10E+02	2,33E+02	2,31E+02



Figur 6 Beregnede miljøpåvirkninger for de tre undersøgte undergulve.

Resultaterne viser, at for samtlige påvirkningskategorier, på nær ADPE, giver betongulvopbygning den største miljøbelastning. Dvs. at for de fleste påvirkningskategorier er en strøbaseret gulvopbygning den bedste løsning miljømæssigt. For påvirkningskategorierne GWP og POCP er træstrøgulvopbygning den bedste løsning, som enten giver den største miljøgevinst (GWP) eller den mindste miljøbelastning (POCP). For POCP er forskellen fra stålstrøgulvopbygningen dog relativ lille (9 %). For kategorierne AP samt ADPF opnår de to strøbaserede løsninger stort set det samme resultat (den relative forskel er hhv. 6 % og 1 %). For påvirkningskategorien EP er stålstrøgulvopbygning den bedste løsning, som giver den mindste miljøbelastning, dog med en relativ lille forskel fra



træstrøgulvopbygningen (10 %). For ADPE giver betongulvopbygningen den laveste miljøbelastning, og stålstrø-løsningen giver den største miljøbelastning.¹²

Tabel 7, Tabel 8 og Tabel 9 viser de beregnede miljøpåvirkninger opdelt i de underprocesser, de hver især består af, dvs. de byggematerialer og -komponenter, som udgør de forskellige gulvopbygninger. De samme tal er også grafisk repræsenteret i Figur 7 for global opvarmning, samt i Figurer B.1-B.6 i Bilag B for samtlige påvirkningskategorier.

Specifikt for global opvarmning kan det siges, at mens en gulvopbygning baseret på beton giver en miljøbelastning på 35,2 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION}, en gulvkonstruktion baseret på stålstrøer giver en miljøgevinst på -7,88 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION}, mens en gulvkonstruktion baseret på træstrøer giver en miljøgevinst på -15,69 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION}. Dette skyldes primært, at det træ, der indgår i hhv. spånplader for begge strøebaserede løsninger, og i både spånplader og selve strøerne i træstrøløsningen, indeholder noget kulstof. Dette er det kulstof, som træer optager, mens de vokser, og benævnes lagret biogent kulstof/CO₂. Fordi det er CO₂, som er fjernet fra atmosfæren, indgår det i LCA med et negativt fortegn. Når træet nedbrydes, fx i forbindelse med forbrænding, udledes en tilsvarende mængde CO₂ igen, hvilket gør, at den endelige balance bliver 0. Bortskaffelse af materialer er dog ikke medregnet i denne cradle-to-gate LCA. Omvendt er beton et relativt karbon-tungt byggemateriale: cementproduktion udleder CO₂ både som konsekvens af brug af fossile brændsler (i cementovnen kræves det temperaturer på cirka 1.450 °C), men også som følge af den almindelige kemiske reaktion, der foregår ved cementproduktionen, dvs. kalcinering, hvor kalk (CaCO₃) afgiver i form af CO₂ den karbon, som den ellers naturligt lagrer. Det typiske bortskaffelsesscenarie for EPS-beton i Danmark vil være deponering¹³, hvilket antages at indebære miljøbelastninger i størrelsesorden af 18 kg CO₂-ækv./t_{BETON}¹⁴, svarende til omtrent 2 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION} (når man også inkluderer mørtelafretningslaget, som ikke vurderes realistisk at kunne separeres fra den øvrige beton).

Det kan også ses i Figur 7, at de byggevarer, der giver det største bidrag til de samlede resultater, er hhv. cement og mørtel (med et positivt bidrag i scenarie a)) og spånplader (med et negativt bidrag i scenarierne b) og c)). Derudover bidrager til scenarie b) også det galvaniserede stål, der indgår i stålstrøsystemet, samt aluminiumpladerne til varmfordeling. Aluminiumplader til varmfordeling bidrager også til scenarie c).

For de øvrige miljøpåvirkningskategorier viser resultaterne i Tabel 7, Tabel 8 og Tabel 9 samt i Figurer B.1-B.6 i Bilag B, at de byggematerialer/-komponenter, som bidrager mest til de samlede resultater, er følgende (det positive eller negative fortegn i parentes indikerer, om de bidrager positivt eller negativt til resultaterne, dvs. om den pågældende komponent giver en miljøbelastning eller en miljøbesparelse):

¹² Det kommenteres ikke på ODP-resultater, da de er variationer over ekstremt lave værdier. OPD opfattes mere som "støj" end egentligt resultat, idet der ikke indgår materialer, hvor der er et forbrug af kølemedier eller anden frigivelse af ozon-nedbrydende gasser. En meget lav emission fra baggrundsdata, som kan betegnes som støj, vil dominere resultatet, og ikke være et udtryk for en reel forskel på de valgte løsninger.

¹³ EPS-beton må ifølge Restproduktbekendtgørelsen (<https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2016/1672>) ikke udbringes på naturlige arealer som erstatning for naturligt råstoffer, da det ikke i den sammenhæng er at regne som en ren fraktion. I givet fald ville der skulle gives en dispensation, indsendt til en kommune. Det vurderes at være usandsynligt. Det virker desuden ikke sandsynligt, at EPS-beton med nuværende teknologi kan indgå i virksomheders egen produktion som råmateriale. Det mest sandsynlige scenarie for bortskaffelse vurderes derfor at være deponi.

¹⁴ Butera, S., Christensen, T. H., & Astrup, T. F. (2015). Life Cycle Assessment of construction and demolition waste management. Waste Management, 44, 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.011>



- AP: a) Mørtel (+), b) Aluminiumsplader (+), Isolering (+), c) Aluminiumsplader (+), Isolering (+).
- EP: a) Mørtel (+), Cement (+), b) Isolering (+), Spånplader (-) c) Isolering (+), Spånplader (-).
- POCP: a) EPS til beton (+) b) Galvaniseret stål (+), Aluminiumsplader (+), Isolering (+), c) Aluminiumsplader (+), LDPE (+), Isolering (+).
- ADPE: a) Mørtel (+), b) Galvaniseret stål (+), c) Gummi (+).
- ADPF: a) EPS til beton (+), Mørtel (+), b) Spånplader (-), Aluminiumsplader (+), Galvaniseret stål (+), c) Spånplader (-), Aluminiumsplader (+), LDPE (+).



6.1. Diskussion om inklusionen af øvrige faser

Som nævnt i afsnit 3.2 er LCA-studiet afgrænset til en sammenligning af de tre nævnte gulvkonstruktioner *udelukkende på materialeniveau*.

I følgende tabel er de faser, der ikke er medregnet i LCA'en, kort beskrevet ift. deres forventet indflydelse på GWP-resultater (Tabel 6).

Tabel 6 Forventet konsekvenser på GWP-resultater af inklusionen af de øvrige faser i LCA-beregninger

Fase		Kommentar	Forventet indflydelse på GWP-resultater
Transport af de indregnede materialer til og fra byggeplads	A4	Der transporteres cirka 140 kg/m ² _{GULVKONSTRUKTION} i scenarie a, kontra cirka 21-23 kg/m ² _{GULVKONSTRUKTION} i scenarier b og c. Transportafstandene kan ikke estimeres uden en detaljeret undersøgelse, men kan i første omgang skønnes som sammenlignende for de tre scenarier.	Det forventes at miljøpåvirkning for scenarie a fra fase A4 kan være en smule større end for scenarier b og c. Forskellen kan dog være marginal afhængig af de faktiske transportafstande. Ingen indflydelse forventet på rækkefølgen for scenarierne og dermed på de overordnede konklusioner.
Lægning af gulvkonstruktionerne	A5	Der forventes energiforbrug til udtørring af EPS-beton og afretningslag. Der forventes ikke yderligere forskelle under installationsfasen scenarierne imellem. Spild af materiale kan antages som fx 10% af de mængder, der indgår i konstruktionerne (som anbefalet i vejledning om den frivillige bæredygtighedsklasse ¹⁵), og derfor er dets miljøpåvirkning forholdsvis større for scenarierne a end for b og c.	Der forventes en yderligere miljøpåvirkning for scenarie a fra fase A5 pga. energiforbrug ifm. udtørring af beton og mørtel. Miljøpåvirkning fra spild vil være forholdsvis større for scenarierne a end for b og c. Ingen indflydelse forventet på rækkefølgen for scenarierne og dermed på de overordnede konklusioner.
Brugsfase	B1-B6	Der forventes ikke nogen forskel under brugsfasen scenarierne imellem.	Ingen indflydelse.
End-of-life	C1-C4	I scenarie a går det meste af materialerne til deponi, da EPS-beton ikke kan genanvendes som	Der kommer en (lille) ekstra miljøbelastning i

¹⁵ Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen. (2020). Vejledning om den frivillige bæredygtighedsklasse.



		<p>vejfyld og det ikke forventes muligt at separere hverken mørtelafretningslaget eller lyddugen fra den øvrige EPS-beton ved nedrivning, Som beskrevet i afsnit 6 forventes det at svare til en yderligere miljøbelastning på cirka 2 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION}. Svindarmeningen kan genanvendes (gevinster i fase D).</p> <p>I scenarier b og c forventes spånpladerne samt træstrøer at gå til forbrænding, hvilket vil udlede en mængde CO₂ svarende til det lagret biogent kulstof (cirka 21 og 24 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION} hhv. for scenarier b og c). Alternativt, kunne spånpladerne også genanvendes i produktion af nye spånplader. Plast fra opklodninger og støtteklodser forbrændes, dog i små mængder (både belastninger samt gevinster i fase D ses bort fra). Alupladerne og stålstrøer kan genanvendes (gevinster i fase D). Glasuld deponeres (med en forventet miljøbelastninger i størrelsesorden af 18 kg CO₂-ækv./t, svarende til omtrent 0,014 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION}).</p> <p>I scenarie c:</p>	<p>scenarie a, mens scenarierne b og c bliver lidt over 0 (hhv. cirka 14 og 9 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION}). Det ændrer dog ikke på rækkefølgen for scenarierne. Ingen indflydelse forventet på de overordnede konklusioner.</p>
Bortskaffelse og eventuel genanvendelse af materialer.	D	<p>I Scenarie a: Gevinster fra genanvendelse af svindarmeringstålet (1,36 kg/m²_{GULVKONSTRUKTION}). Med en gennemsnitlig gevinst på -1460 kg CO₂-ækv./kg_{STÅL}¹⁶, svarer det til en gevinst på -2 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION}.</p> <p>I scenarie b: Gevinster fra genanvendelse af Alupladerne (1 kg/m²_{GULVKONSTRUKTION}) samt stål fra strøsystemet (2,9 kg/m²_{GULVKONSTRUKTION}). Med en gennemsnitlig gevinst på -1460 kg CO₂-ækv./kg_{STÅL}1460 samt -12190 kg CO₂-ækv./kg_{ALU}¹⁷, svarer det til en gevinst på -16,8 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION}.</p> <p>Derudover er der gevinster fra produktion af strøm og varme fra forbrænding af spånplader, som ikke kvantificeres her (da de kun vil gøre forskellen mellem scenarierne b og c og scenariet a større). I scenarie c: Gevinster fra</p>	<p>Der forventes gevinster for samtlige scenarier, dog større for scenarier b og c end for scenariet a. Rækkefølgen for scenarierne er kun delvis ændret (scenarie a er stadig det, med størst miljøbelastning). Det gøres dog opmærksom på, at resultaterne fra fase D ikke må summeres med de andre faser.</p>

¹⁶ Damgaard, A., Larsen, A. W., & Christensen, T. H. (2009). Recycling of metals: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste Management and Research, 27(8), 773–780. <https://doi.org/10.1177/0734242X09346838>

¹⁷ Damgaard, A., Larsen, A. W., & Christensen, T. H. (2009). Recycling of metals: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste Management and Research, 27(8), 773–780. <https://doi.org/10.1177/0734242X09346838>



		genanvendelse af Alupladerne ($1 \text{ kg/m}^2_{\text{GULVKONSTRUKTION}}$). Med en gennemsnitlig gevinst på $-12190 \text{ kg CO}_2\text{-ækv./kg}_{\text{ALU}}^{18}$, svarer det til en gevinst på $-12,5 \text{ kg CO}_2\text{-ækv./ m}^2_{\text{GULVKONSTRUKTION}}$. Derudover er der gevinster fra produktion af strøm og varme fra forbrænding af spånplader, som ikke kvantificeres her (da de kun vil gøre forskellen mellem scenarierne b og c og scenariet a større).	
--	--	---	--

¹⁸ Damgaard, A., Larsen, A. W., & Christensen, T. H. (2009). Recycling of metals: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste Management and Research, 27(8), 773–780. <https://doi.org/10.1177/0734242X09346838>



Tabel 7 Beregnede miljøpåvirkninger opdelt i underprocesser (byggekomponenter) for beton gulvopbygningen.

		I alt	Lyddug	EPS lag	EPS til EPS-beton	Mørtelafretningslag	Svindarmering i mørtelafretningslag	Cement til EPS-beton
GWP	kg CO ₂ -ækv.	3,52E+01	6,03E-01	1,26E+00	5,58E+00	1,23E+01	6,12E-01	1,49E+01
ODP	kg CFC-11-ækv.	1,62E-06	6,24E-14	8,61E-11	3,82E-10	1,40E-06	5,03E-09	2,12E-07
AP	kg SO ₂ -ækv.	1,01E-01	1,04E-03	3,19E-03	1,42E-02	6,12E-02	2,04E-03	1,97E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ -ækv.	1,69E-02	1,73E-04	3,00E-04	1,33E-03	7,75E-03	2,99E-04	7,02E-03
POCP	kg Ethene-ækv.	6,64E-02	1,06E-04	1,14E-02	5,09E-02	3,10E-03	1,36E-04	7,74E-04
ADPE	kg Sb-ækv.	1,04E-04	2,05E-07	6,51E-07	2,89E-06	9,73E-05	3,81E-07	2,20E-06
ADPF	MJ	4,10E+02	1,32E+01	3,79E+01	1,68E+02	1,25E+02	3,79E+00	6,08E+01

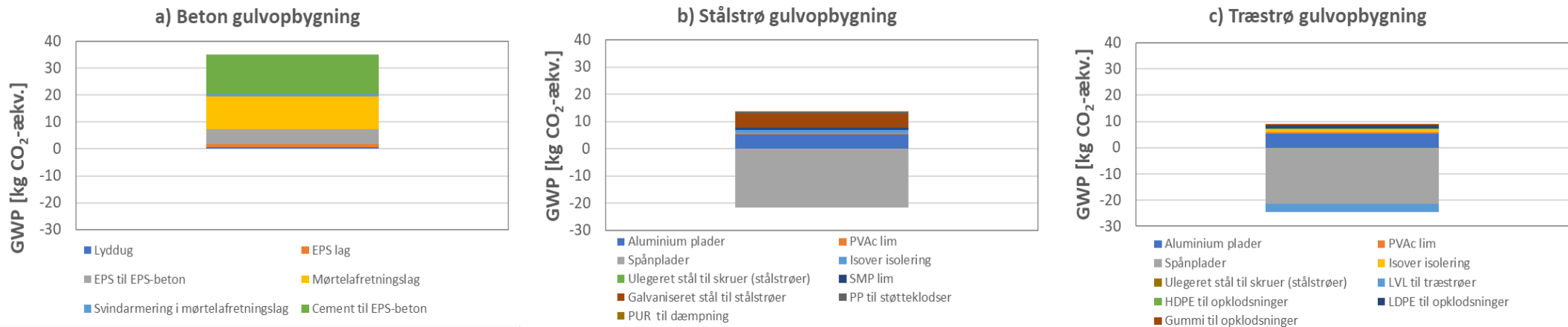
Tabel 8 Beregnede miljøpåvirkninger opdelt i underprocesser (byggekomponenter) for stålstrøgulvopbygningen.

		I alt	Aluminium plader	PVAc lim	SMP lim	Spånplader	Galvaniseret stål til stålstrøer	Isover isolering	PP til støtteklodser	PUR til dæmpning	Ulegeret stål til skruer
GWP	kg CO ₂ -ækv.	-7,88E+00	5,19E+00	6,71E-01	6,51E-01	-2,15E+01	5,36E+00	1,06E+00	3,69E-01	2,85E-01	8,52E-02
ODP	kg CFC-11-ækv.	1,28E-07	7,14E-11	5,09E-15	4,76E-09	1,20E-08	5,69E-10	5,49E-08	6,95E-09	4,42E-08	4,64E-09
AP	kg SO ₂ -ækv.	7,01E-02	2,59E-02	7,38E-04	1,59E-03	5,84E-03	1,14E-02	2,17E-02	1,15E-03	1,48E-03	3,24E-04
EP	kg PO ₄ ³⁻ -ækv.	1,07E-02	1,69E-03	1,13E-04	3,64E-04	1,96E-03	1,14E-03	3,76E-03	2,60E-04	1,21E-03	1,79E-04
POCP	kg Ethene-ækv.	5,98E-03	1,37E-03	2,78E-04	2,39E-04	5,83E-04	1,98E-03	9,54E-04	1,70E-04	3,17E-04	9,39E-05
ADPE	kg Sb-ækv.	4,31E-04	2,50E-06	9,83E-08	1,21E-06	1,23E-06	4,17E-04	8,82E-07	3,42E-06	4,92E-06	3,99E-07
ADPF	MJ	2,33E+02	5,53E+01	1,66E+01	1,15E+01	5,62E+01	5,39E+01	1,88E+01	1,38E+01	5,41E+00	1,15E+00



Tabel 9 Beregnede miljøpåvirkninger opdelt i underprocesser (byggekompnenter) for træstrøgulvopbygningen.

		I alt	Aluminium plader	PVAc lim	Spånplader	Isover isolering	LVL til træstrøer	HDPE til opklodsninger	LDPE til opklodsninger	Ulegeret stål til skruer og søm	Gummi til opklodsninger	I alt
GWP	kg CO ₂ -ækv.	-1,57E+01	5,19E+00	6,71E-01	-2,15E+01	1,06E+00	-3,13E+00	1,87E-01	1,35E+00	1,44E-01	3,88E-01	-1,57E+01
ODP	kg CFC-11-ækv.	3,73E-07	7,14E-11	5,09E-15	1,20E-08	5,49E-08	1,60E-07	5,32E-09	4,05E-08	7,81E-09	9,26E-08	3,73E-07
AP	kg SO ₂ -ækv.	6,62E-02	2,59E-02	7,38E-04	5,84E-03	2,17E-02	4,44E-03	5,98E-04	4,55E-03	5,46E-04	1,98E-03	6,62E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ -ækv.	1,17E-02	1,69E-03	1,13E-04	1,96E-03	3,76E-03	1,49E-03	1,54E-04	1,50E-03	3,03E-04	7,15E-04	1,17E-02
POCP	kg Ethene-ækv.	5,48E-03	1,37E-03	2,78E-04	5,83E-04	9,54E-04	4,23E-04	1,09E-04	1,33E-03	1,58E-04	2,71E-04	5,48E-03
ADPE	kg Sb-ækv.	2,00E-04	2,50E-06	9,83E-08	1,23E-06	8,82E-07	3,79E-06	1,79E-06	1,26E-05	6,73E-07	1,76E-04	2,00E-04
ADPF	MJ	2,31E+02	5,53E+01	1,66E+01	5,62E+01	1,88E+01	1,52E+01	6,76E+00	4,76E+01	1,94E+00	1,22E+01	2,31E+02



Figur 7 De beregnede globalopvarmningspåvirkning (GWP), opdelt i underprocesser, for de tre undersøgte gulvopbygninger: a) beton, b) stålstør, c) træstrør.



6.2. Følsomhedsanalyse

For at teste robustheden af resultaterne over for variationer eller usikkerheder i de anvendte data, er en række følsomhedsanalyser blevet gennemført.

Den første serie af følsomhedsanalyser vedrør parametre, hvis miljødata er præget af en vis usikkerhed, og er beskrevet i For PVAc lim (polyvinylacetat) bruges i modellering et datasæt for polyvinylalkohol fibre som proxy, da det ikke findes andre LCA datasæt for PVAc. Polyvinylalkohol produceres typisk fra hydrolysen af polyvinylacetat, derefter kan fibre produceres via en separat proces. Dermed er anvendelse af miljødata for polyvinylalkohol fibre forbundet med en potentielt betydelig overvurdering af miljøbelastningerne. Det relaterede usikkerhedsniveau vurderes som højt, og det potentielt relevante variationsinterval for dette parameter defineres dermed som 90 %.

Tabel 10 (U-scenarier); med udgangspunkt i et estimeret usikkerhedsniveau for de enkelte miljødata, blev det potentielle variationsinterval for det pågældende parameter defineret.

Usikkerhedsniveauet for anvendelse af en udløbet EPD for svindarmering vurderes som lille, da forskellen mellem resultaterne for hhv. GWP og total-GWP fra hhv. den gamle EPD og den nye EPD (som er lavet iht. den nye EPD standard EN15804+A2 og dermed kan ikke anvendes i nærværende studie) er cirka 8 %. Dermed defineres et potentielt relevant variationsinterval for dette parameter som 10 %.

Usikkerhedsniveauet for brug af miljødata for primær EPS i stedet for genbrug EPS (hvor andre LCA data ikke er tilgængelige) vurderes til gengæld til at være højt, da genbrug EPS potentielt kan være forbundet med meget lave miljøbelastninger. Dermed defineres et potentielt relevant variationsinterval for dette parameter som 90 %. For PVAc lim (polyvinylacetat) bruges i modellering et datasæt for polyvinylalkohol fibre som proxy, da det ikke findes andre LCA datasæt for PVAc. Polyvinylalkohol produceres typisk fra hydrolysen af polyvinylacetat, derefter kan fibre produceres via en separat proces. Dermed er anvendelse af miljødata for polyvinylalkohol fibre forbundet med en potentielt betydelig overvurdering af miljøbelastningerne. Det relaterede usikkerhedsniveau vurderes som højt, og det potentielt relevante variationsinterval for dette parameter defineres dermed som 90 %.

Tabel 10 Parametre, som er undersøgt i følsomhedsanalysen pga. usikkerhed i deres miljødata

Parameter	Input data	LCA Scenarie	Kilde til usikkerhed i miljødata	Usikkerhed niveau	Følsomhed scenarie	Variation interval for parameter
Svindarmering i mørtelafretning	EPD Celsa steel [t]	a) Beton	EPD'en er udløbet	Lille	U1	± 10 %
EPS-beton	EPD EPS [m ²]	a) Beton	Primær EPS i stedet for genbrug EPS	Højt	U2	± 90 %
Lim, DanaLim, Trælim D3 Ude 430	GaBi datasæt for polyvinylalkohol fibers	b) c) Stål- og træstrø	Polyvinylalkohol fibers bruges som proxy, da det ikke findes andre LCA datasæt for PVAc lim	Højt	U3	± 90 %



Den anden serie af følsomhedsanalyser vedrør parametre, som har en stor indflydelse på resultaterne for GWP, og er beskrevet i Tabel 11 (I-scenarier). Her gennemføres følsomhedsanalysen med et fast variationsinterval for samtlige parametre, svarende til 10 %. Dette afspejler potentielle variationer i både mængder og LCA data af de pågældende parametre (fx brug af en mere/mindre miljøbelastende cementtype; stålstrøer, aluminiumplader eller spånplader som i højere eller lavere grad er lavet af sekundære råvarer, osv.).

Tabel 11 Parametre, som er undersøgt i følsomhedsanalysen pga. deres indflydelse på resultaterne

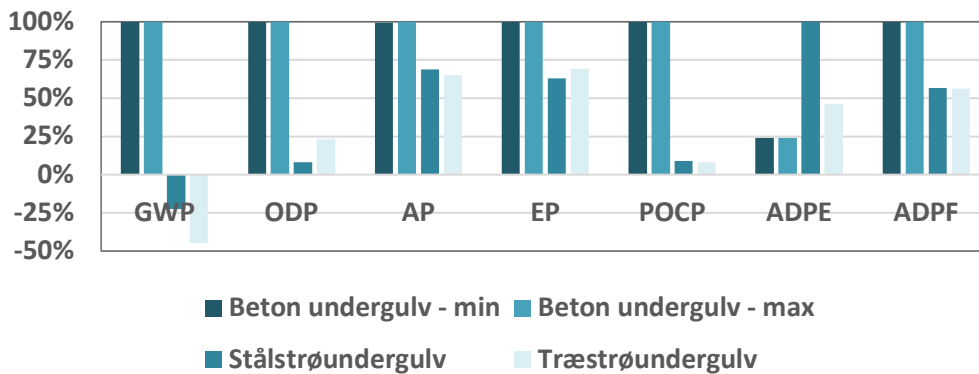
Parameter	LCA Scenarie	Følsomhedsscenario	Variationsinterval for parameter
Cement	a) Beton	I1	± 10 %
Mørtel	a) Beton	I2	± 10 %
Galvaniseret stål	b) Stålstrø	I3	± 10 %
Spånplader	b) c) Stål- og træstrø	I4	± 10 %
Aluminiumplader	b) c) Stål- og træstrø	I5	± 10 %

Resultaterne for samtlige følsomhedsscenarioer er vist i Figur 8 til Figur 15.

I ingen tilfælde fører en variation af de undersøgte parametre til en væsentlig ændring i resultaterne, herunder en ændring i rækkefølgen for de tre undersøgte scenarier.

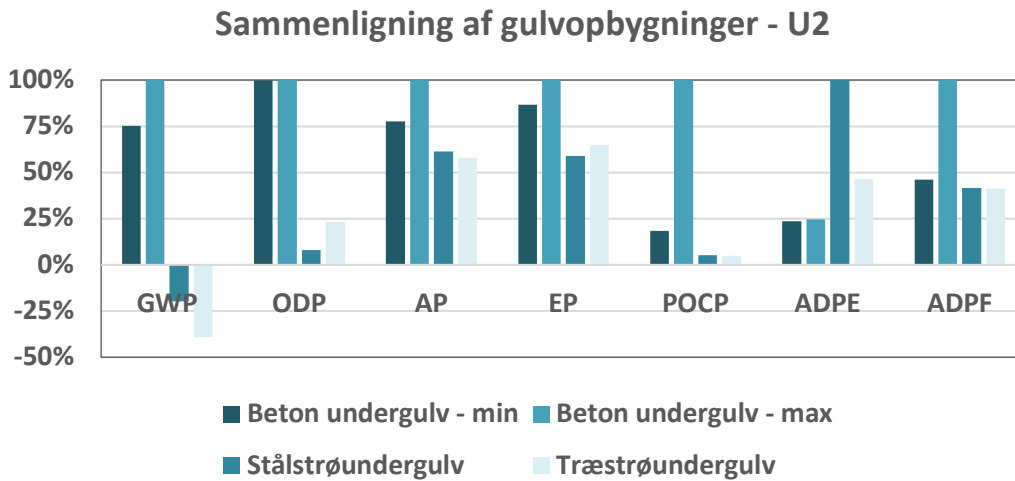
Dog kan det i nogle tilfælde (især for følsomhedsscenarioet U2, hvor LCA-data for EPS i betonundergulv scenarie varieres med ± 90 %) være en markant forskel mellem det lave (-90 %) og det høje scenarie (+90 %). Der kan forskellen mellem betonscenariet og strøscenarierne dermed være betydeligt mindre eller større. Dog er rækkefølgen for de tre undersøgte scenarier aldrig påvirket. Dette sker især for miljøpåvirkningskategorier AP, EP, POCP og ADPF for følsomhedsscenarioet U2, samt for ADPE for følsomhedsscenarioet I3 (hvor LCA-data for stål i stålstrøundergulv scenarie varieres med ± 10 %).

Sammenligning af gulvopbygninger - U1

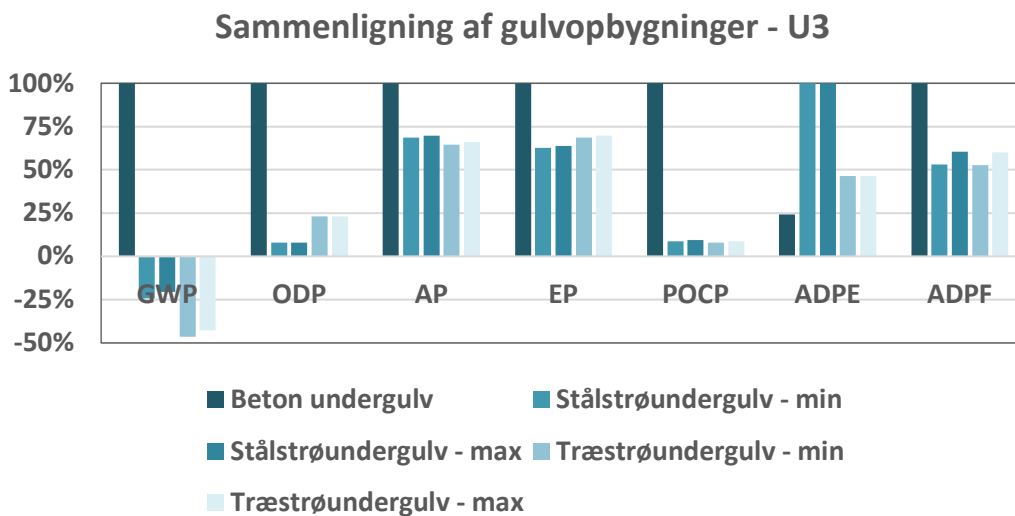




Figur 8 Resultater for følsomhedsanalytiscenarier U1, hvor LCA-data for svindarmering i betonundergulv scenarie varieres med $\pm 10\%$



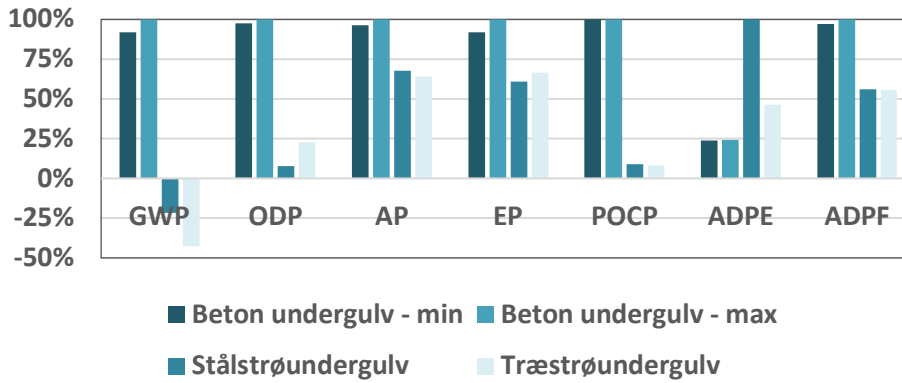
Figur 9 Resultater for følsomhedsanalytiscenarier U2, hvor LCA-data for EPS i betonundergulv scenarie varieres med $\pm 90\%$



Figur 10 Resultater for følsomhedsanalytiscenarier U3, hvor LCA-data for PVAc lim i begge strøundergulv scenarier varieres med $\pm 90\%$

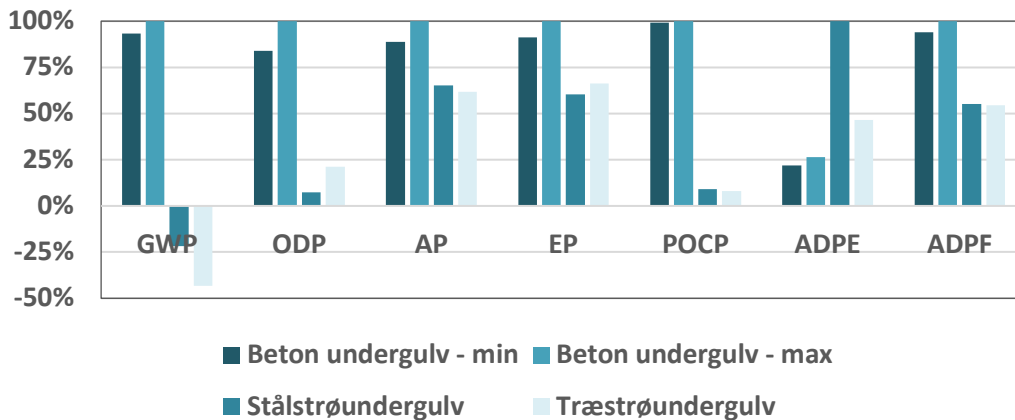


Sammenligning af gulvopbygninger - I1



Figur 11 Resultater for følsomhedsanalysescenarier I1, hvor LCA-data for cement i betonundergulv scenarie varieres med $\pm 10\%$

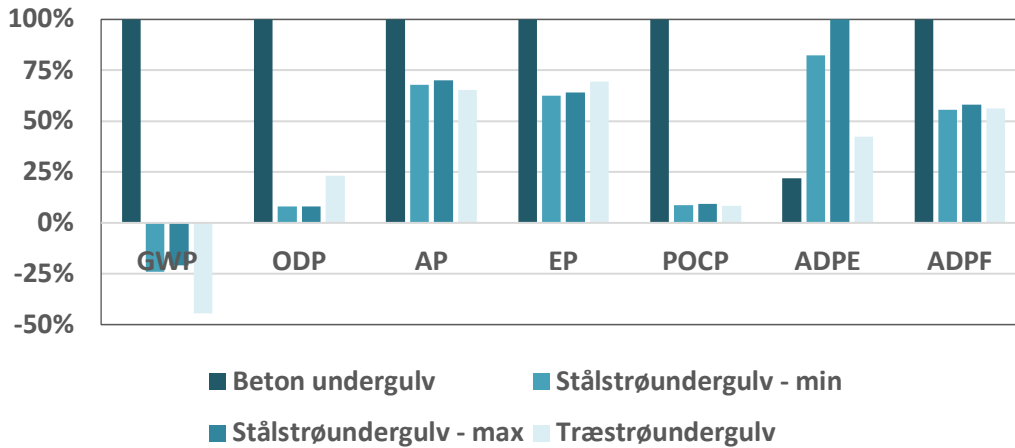
Sammenligning af gulvopbygninger - I2



Figur 12 Resultater for følsomhedsanalysescenarier I2, hvor LCA-data for mørtel i betonundergulv scenarie varieres med $\pm 10\%$

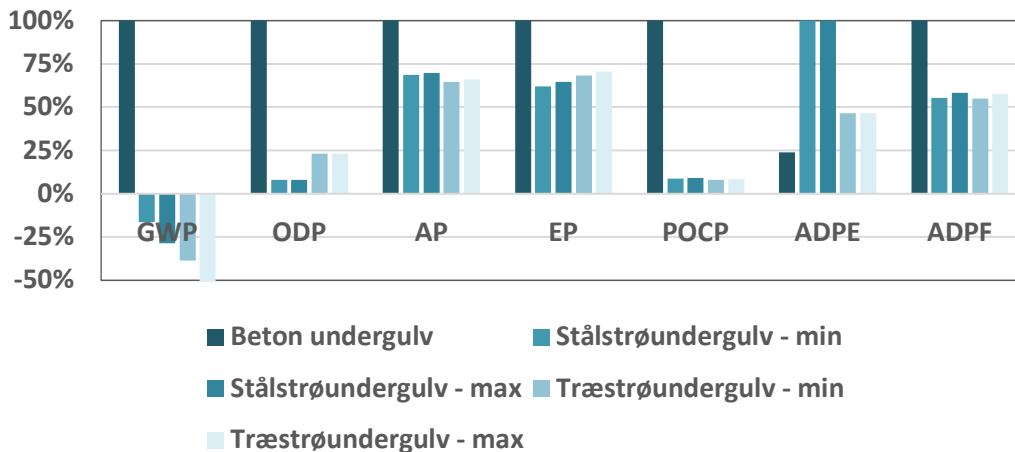


Sammenligning af gulvopbygninger - I3



Figur 13 Resultater for følsomhedsanalysescenarier I3, hvor LCA-data for stål i stålstrøundergulv scenarie varieres med $\pm 10\%$

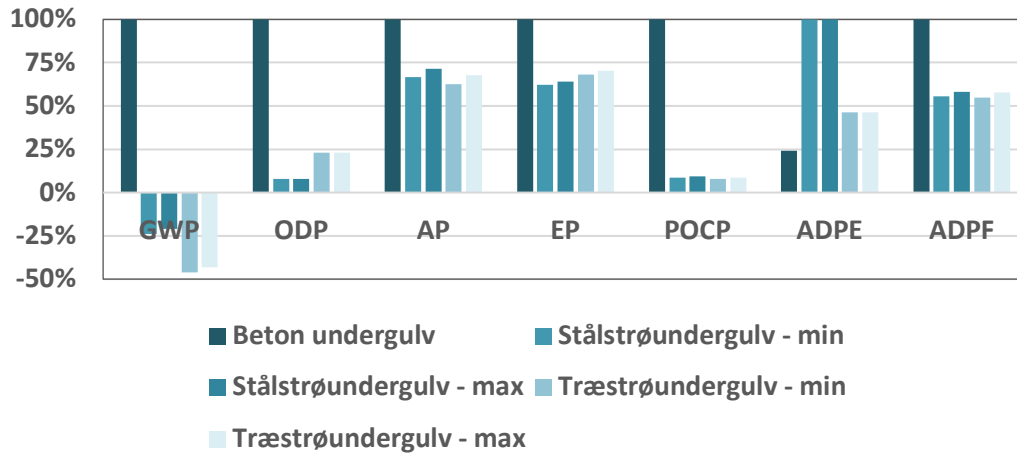
Sammenligning af gulvopbygninger - I4



Figur 14 Resultater for følsomhedsanalysescenarier I4, hvor LCA-data for spånplader i begge strøundergulv scenarier varieres med $\pm 10\%$



Sammenligning af gulvopbygninger - I5



Figur 15 Resultater for følsomhedsanalyse-scenarier I5, hvor LCA-data for aluminiumplader i begge strøundergulv scenarier varieres med $\pm 10\%$

Resultaterne betragtes derfor som at være robuste over for variationer eller usikkerheder i de vigtigste input parametre.



7. Konklusioner

Miljøpåvirkninger for tre forskellige gulvopbygninger på beton huldæk for store bolig- og kontoretagebyggerier er blevet undersøgt og sammenlignet vha. LCA:

- a) Betonundergulv bestående af EPS-beton med gulvvarme i svindarmeret mørtelafretning;
- b) Strøundergulv bestående af et stålstrøsystem med gulvvarme i spånpladeundergulv (med klimagulv fra Kronospan).
- c) Strøundergulv bestående af LVL-strøer på plasttårne med gulvvarme i spånpladeundergulv (med klimagulv fra Kronospan).

De tre valgte undergulve er egnet til gulvvarme under fx trægulve eller banevarer, og leverer den samme funktion og kvalitet.

LCA'en er afgrænset til en sammenligning af de tre gulvkonstruktioner udelukkende på materialeniveau, dvs. svarende til LCA-moduler A1 (Råmaterialer), A2 (Transport), A3 (Fremstilling) af de *indgående materialer*. De forskellige gulvopbygninger er vurderet under forudsætningen af, at de er forskriftsmæssigt udført (herunder nedtørret) og korrekt installeret.

Den funktionelle enhed svarer til 1 m² gulvkonstruktion. Den funktionelle enhed er dog beregnet baseret på et større gulvudsnit for at minimere kanteffekter og opnå et repræsentativt udsnit af gulvet.

Tilgangen til materialevalg har været så vidt muligt at udvælge konkrete byggematerialer, hvor en EPD var tilgængelig, sådan at miljødataene var af sammenlignelig kvalitet materialerne imellem. For enkelte byggematerialer, hvor det ikke har været muligt at finde EPD'er, er der blevet anvendt generiske miljødata fra gængse LCA-databaser (GaBi og Ecoinvent).

De tre undersøgte gulvopbygninger er blevet modelleret i GaBi for syv miljøpåvirkningskategorier.

Resultaterne viser, at for de fleste påvirkningskategorier på nær ADPE, er en strøbaseret gulvopbygning den bedste løsning miljømæssigt. For påvirkningskategorierne GWP og POCP er træstrøgulvopbygningen den bedste løsning, som hhv. giver den største miljøgevinst og den mindste miljøbelastning. For kategorierne AP samt ADPF opnår de to strøbaserede løsninger stort set det samme resultat. For påvirkningskategorien EP er stålstrøgulvopbygning løsningen, som giver den mindste miljøbelastning. For ADPE giver beton gulvopbygning den laveste miljøbelastning, og stålstrøløsningen giver den største miljøbelastning. træstrøløsningen giver den største miljøbelastning for EP

Specifikt for global opvarmning kan det siges, at mens en gulvopbygning baseret på beton giver en miljøbelastning på 35,2 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION}, en gulvkonstruktion baseret på stålstrøer giver en miljøgevinst på -7,88 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION}, mens en gulvkonstruktion baseret på træstrøer giver en miljøgevinst på -15,69 kg CO₂-ækv./m²_{GULVKONSTRUKTION}. De byggevarer, der giver det største bidrag til de samlede resultater, er hhv. cement (med et positivt bidrag i beton gulvopbygningen) og spånplader (med et negativt bidrag i begge strøopbygninger). Dette skyldes primært det biogene kulstof, som træet optager, mens det vokser, og som udgør CO₂, som er fjernet fra atmosfæren, og dermed indgår i beregningerne med et negativt fortegn. Omvendt er beton et relativt karbon tungt byggemateriale, med store positive CO₂-udledninger under produktionsfase.



For de resterende miljøpåvirkningskategorier er de byggematerialer/-komponenter, som bidrager mest til de samlede resultater, følgende:

- a) Mørtel, Cement, EPS
- b) Isolering, Galvaniseret stål, Spånplader, Aluminiumsplader
- c) Isolering, Spånplader, Aluminiumsplader.

En følsomhedsanalyse har vidst, at resultaterne er robuste over for variationer eller usikkerheder i de vigtigste input parametre.



8. Referencer

Databaser

- GaBi 2020.2 Professional Database <http://www.gabi-software.com/nw-eu-danish/databases/gabi-databases/professional/>
- GaBi 2020.2 Extension DB II, Energy <http://www.gabi-software.com/nw-eu-danish/databases/gabi-databases/energy/>
- GaBi 2020.2 Extension DB XIV, Construction materials <http://www.gabi-software.com/nw-eu-danish/databases/gabi-databases/construction-materials/>
- Ecoinvent database, version 3.6: <https://gabi.sphera.com/databases/ecoinvent/>

Standarder og øvrig litteratur

- Butera, S., Christensen, T. H., & Astrup, T. F. (2015). Life Cycle Assessment of construction and demolition waste management. Waste Management, 44, 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.011>
- Damgaard, A., Larsen, A. W., & Christensen, T. H. (2009). Recycling of metals: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste Management and Research, 27(8), 773–780. <https://doi.org/10.1177/0734242X09346838>
- EN 15804, 15804 + A1:2013. DS/EN 15804 + A1:2013 - "Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Miljøvaredeklarationer - Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer"
- EN 15804, 15804 + A2:2019. DS/EN 15804 + A2:2019 - "Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Miljøvaredeklarationer - Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer"
- EN 15942. DS/EN 15942:2011 - "Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Miljøvaredeklarationer (EPD) - Kommunikationsformat: business-to-business (B2B)"
- ISO 14025. DS/EN ISO 14025:2010 - "Miljømærker og -deklarationer - Type III-miljøvaredeklarationer - Principper og procedurer"
- ISO 14040. DS/EN ISO 14040:2008 - "Miljøledelse - Livscyklusvurdering - Principper og struktur"
- ISO 14044. DS/EN ISO 14044:2008 - "Miljøledelse - Livscyklusvurdering - Krav og vejledning"
- PCR: DS/EN 16757:2017 - "Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - miljøvaredeklarationer - Produktkategoriregler for beton og betonelementer".
- Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen. (2020). Vejledning om den frivillige bæredygtighedsklasse



Firmaers hjemmesider

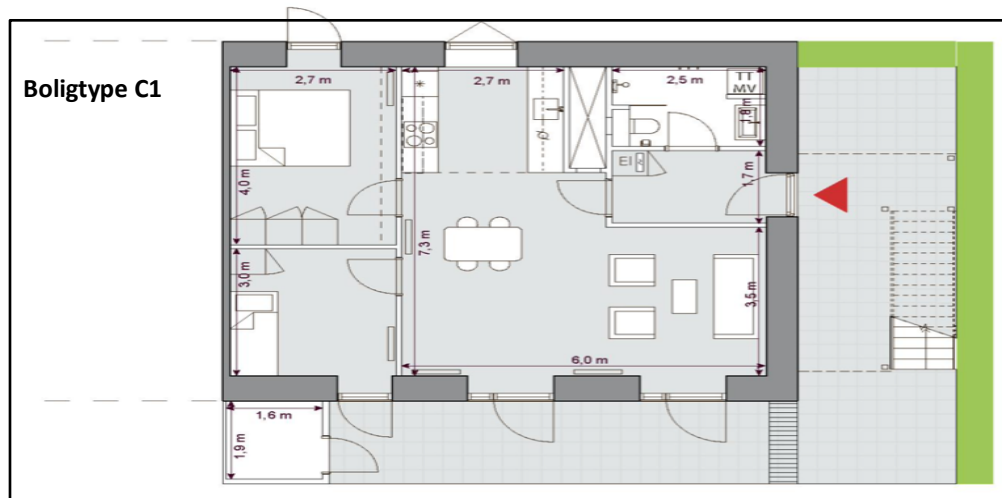
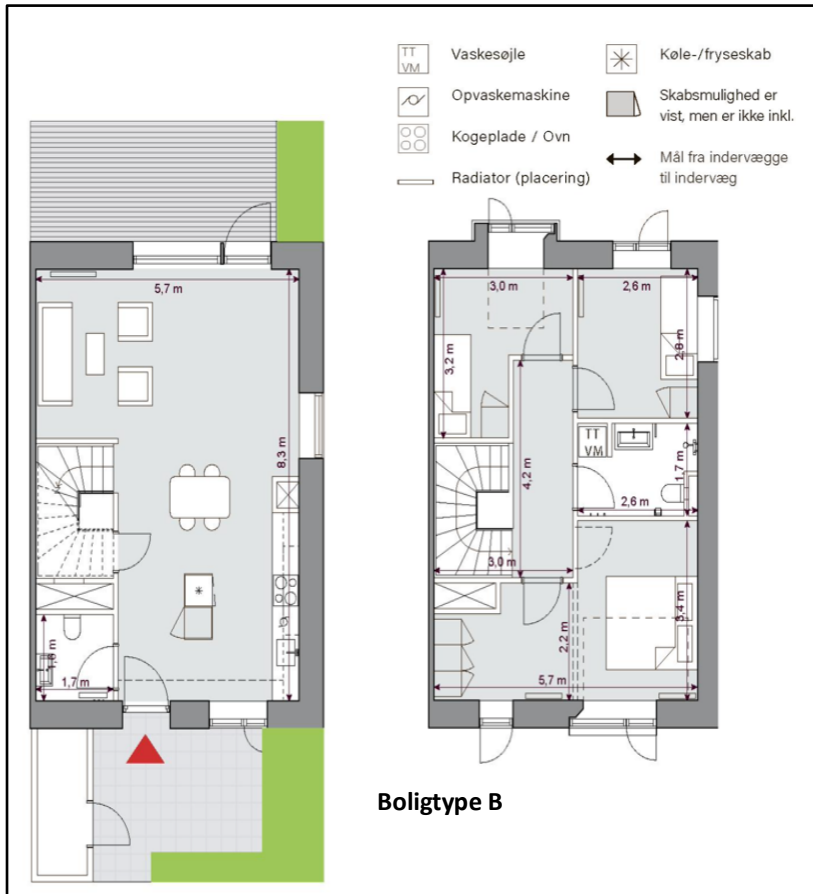
- Kronospan ApS: <https://kronospan-dk.dk/>
- Sundolitt A/S: <https://www.sundolitt.com/da/>
- Thermozeil A/S: <https://www.thermozeil.dk/>
- Weber A/S: <https://www.saint-gobain.dk/weber>

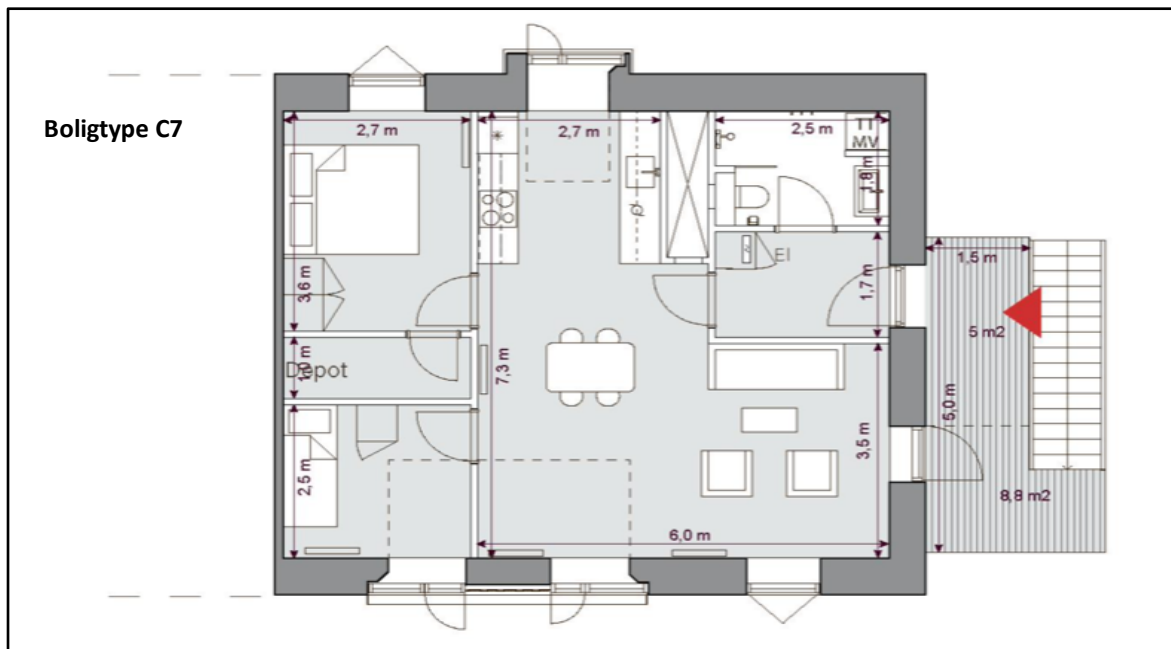
EPDer, inkl udgiver, udgivelsesår og løbenummer.

- Mørtelafretning: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1310992-1567426272/EPDer/Byggevarer/Teknisk-kjemiske_byggevarerprodukt/NEPD-1825-777_weberfloor-140-nova.pdf. Udgiver: EPD Norge. Løbenummer: NEPD-1825-777-EN. Udgivelsesår: 2019
- Celsa steel: <https://celsa-steelservice.dk/wp-content/uploads/2018/02/EPD-Celsa-Steel-Service-2018.pdf>. Udgiver: EPD International. Løbenummer: S-P-00308. Udgivelsesår: 2015
- EPS: <https://www.sundolitt.com/globalassets/inriver/resources/miljovaredeklaration-epd-eps.pdf>. Udgiver: EPD Danmark. Løbenummer: MD-16005-EN. Udgivelsesår: 2017
- Cement: https://www.aalborgportland.dk/wp-content/uploads/2019/02/epd_aalborg_portland_basis_cement_webversion.pdf. Udgiver: EPD Norge. Løbenummer: NEPD-1419-466-EN. Udgivelsesår: 2017
- Lyddug: <md-19007-da-scan-underlay-production-aps.pdf> (epddanmark.dk). Udgiver: EPD Danmark. Løbenummer: MD-19007-DA. Udgivelsesår: 2019
- Stålstrøer: <https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/19540/S-P-02184 EPD.pdf>. Udgiver: EPD International. Løbenummer: S-P-02184. Udgivelsesår: 2020
- Alu-varmefordelingsplader: <https://epd-online.com/PublishedEpd/Detail/11083>. Udgiver: IBU Environment. Løbenummer: EPD-GDA-2019129-IBG1-DE. Udgivelsesår: 2020
- Gulvspånplader: <https://www.epddanmark.dk/media/txherpxw/md-21022-en-kronospan.pdf>. Udgiver: EPD Danmark. Løbenummer: MD-21022-EN. Udgivelsesår: 2021
- Varme- og lysisolering: https://www.epd-norge.no/getfile.php/138710-1520606365/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD-1533-524_Rulle-37.pdf. Udgiver: EPD Norge. Løbenummer: NEPD-1533-524-EN. Udgivelsesår: 2018
- Træstrøer, LVL: [https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/16973/S-P-01730 EPD LVL \(Laminated Veneer Lumber\).pdf](https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/16973/S-P-01730 EPD LVL (Laminated Veneer Lumber).pdf). Udgiver: EPD International. Løbenummer: S-P-01730. Udgivelsesår: 2019



Bilag A – Standardlejlighederne





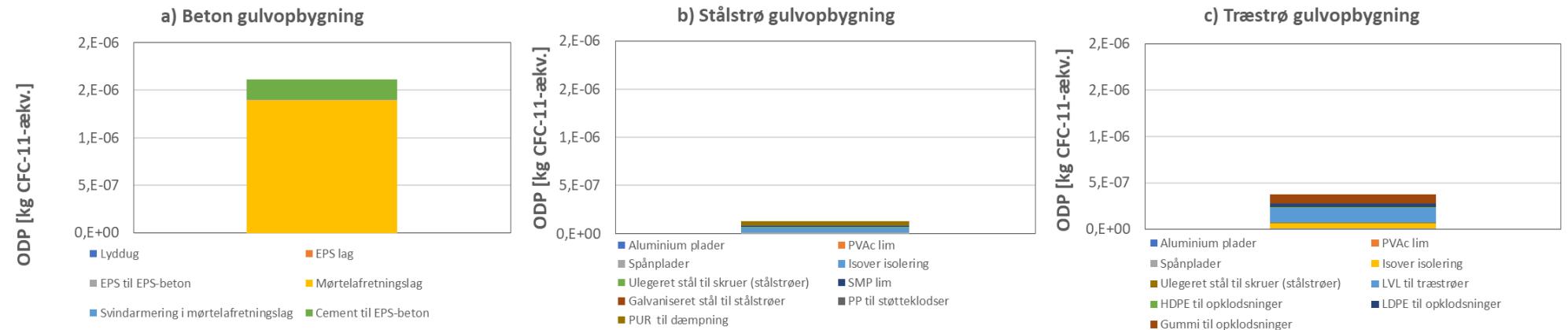


Bilag B - Byggevareremængdeberegningerne

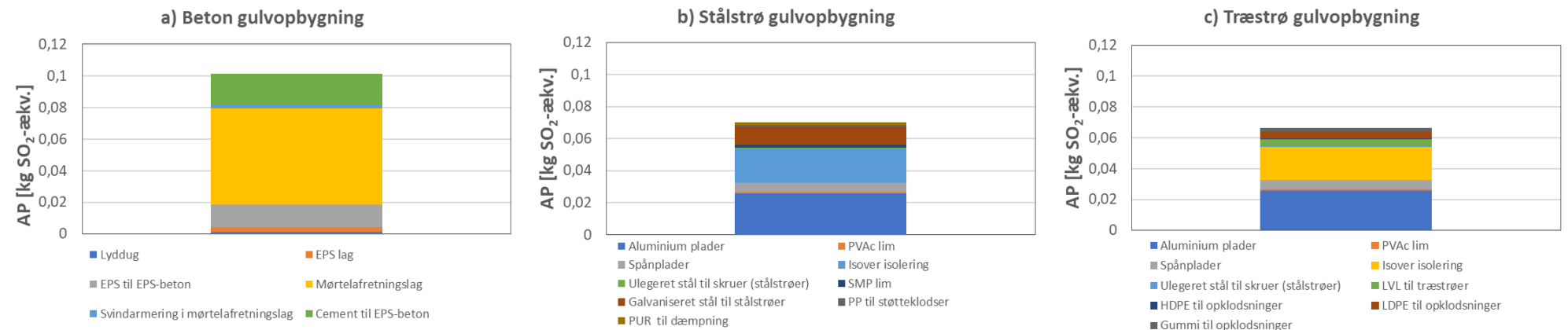
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Lejlighed 1, Boligtype B, 121 m2	Gulvareal	Bredde	Dybde	Bredde/kasse 1	Dybde/kasse 1	Bredde/kasse 2	Dybde/kasse 2	Ventilationskakt	Strøer i m	Kantlægger i m	Antal oplødsninger, stk.	Lyddug	Gulvareal					
2	Stue/køkken	bxd: 5,7x8,3 m	5,7	8,3	4	8,3	1,7	3,2	-	83,3	16,6	201		43,12	38,64		1,05 m	Plads, som de 6 kantstrøer fylder	
3	Værelse NV	bxd: 3,0x3,2 m	3	3,2	1,8	3,2	1,2	1,8	-	23,4	6,4	61		9,144	7,92		5	Antal kantstrøer i alt (ikke 6)	
4	Værelse NØ	bxd: 2,6x2,8 m	2,6	2,8	-	-	-	-	-	20,8	5,6	54		9,008	7,28		0,6 m	Afstand mellem strøer	
5	Værelse SV	bxd: 3,0x2,2 m	3	2,2	-	-	-	-	1,5	19,5	4,4	49		8,264	6,6		0,5 m	Afstand mellem oplødsninger	
6	Soveværelse	bxd: 2,6x3,4 m	2,6	3,4	-	-	-	-	-	23,4	6,8	61		10,76	8,84		0,15 m	Afstand mellem skruer	
7	Gang	bxd: 1,2x4,2 m	1,2	4,2	-	-	-	-	-	12	8,4	42		6,768	5,04				
8	Total									182,4	48,2	468		87,064	74,32		0,5 m	Afstand mellem strøer i Granab beregninger	
9	Boligareal og gulvstrøer, i alt	75,6									230,6								
10	Forbrug: Strøer og oplødsninger pr. m2									3,1	3,10	6,2					4,88 m	Omkreds spånplader	
11										Skruerantal	PVAc Limmængde, liter						1,13 m²	Areal 1 spånplader	
12										1216 stk	327			1,17					
13	Forbrug: Skruer og lim pr. m2									16,1 stk/m2	0,13						0,03 L/m²STRØ	Forbrug Bostik lim	
14										Bostik Limmængde, liter	Bostik Limmængde, liter/m2						0,03 L/m²SPÅNPLADE OMKREDS	Forbrug PVAc lim	
15										6,92	0,0915								
16	Lejlighed 2, Boligtype C7, 90 m2	Gulvareal	bredde	dybde	bredde/kasse 1	Dybde/kasse 1	bredde/kasse 2	Dybde/kasse 2		Strøer i m	Kantlægger i m	Antal oplødsninger, stk.	Lyddug	Gulvareal					
17	Stue/køkken	bxd: 6,0x7,3 m	6	7,3	3,5	7,3	2,5	3,5	0,8	72,6	14,6	175		36,716	32,46		0,16 m	Kant for lyddugen - svarer til den samlede tykkelse på betonlagene inkl. EPS-laget	
18	Værelse S	bxd: 2,5x2,7 m	2,7	2,5	-	-	-	-	-	18,9	5	49		8,414	6,75				
19	Depot	bxd: 1,0x2,7 m	2,7	1	-	-	-	-	-	13,5	2	32		3,884	2,7				
20	Soveværelse N	bxd: 3,6x2,7 m	2,7	3,6	-	-	-	-	-	24,3	7,2	64		11,736	9,72				
21	Gang	bxd: 1,7x2,5 m	2,5	1,7	-	-	-	-	-	15	3,4	38		5,594	4,25				
22	Total									144,3	32,2	358		66,344	55,88				
23	Boligareal og gulvstrøer, i alt	56									176,5								
24	Forbrug: Strøer og oplødsninger pr. m2									3,2	3,20	6,4							
25										Skruerantal	PVAc Limmængde, liter								
26										962 stk	242			1,19					
27	Forbrug: Skruer og lim pr. m2									17 stk/m2	0,13								
28										Bostik Limmængde, liter	Bostik Limmængde, liter/m2								
29										5,30	0,0946								
30	Lejlighed 3, Boligtype C1, 82 m2	Gulvareal	bredde	dybde	bredde/kasse 1	Dybde/kasse 1	bredde/kasse 2	Dybde/kasse 2		Strøer i m	Kantlægger i m	Antal oplødsninger, stk.	Lyddug	Gulvareal					
31	Stue/køkken	bxd: 6,0x7,3 m	6	7,3	3,5	7,3	2,5	3,5	0,8	72,6	14,6	175		36,716	32,46				
32	Værelse S	bxd: 3,0x2,7 m	2,7	3	-	-	-	-	-	21,6	6	56		9,924	8,1				
33	Soveværelse N	bxd: 4,0x2,7 m	2,7	4	-	-	-	-	-	27	8	71		12,944	10,8				
34	Gang	bxd: 1,7x2,5 m	2,5	1,7	-	-	-	-	-	15	3,4	38		5,594	4,25				
35	Total									136,2	32	340		65,178	55,61				
36	Boligareal og gulvstrøer, i alt	55,8									168,2								
37	Forbrug: Strøer og oplødsninger pr. m2									3,0	3,00	6,1							
38										Skruerantal	PVAc Limmængde, liter								
39										908 stk	241			1,17					
40	Forbrug: Skruer og lim pr. m2									16,3 stk/m2	0,13								
41										Bostik Limmængde, liter	Bostik Limmængde, liter/m2								
42										5,05	0,0904								
43	Gennemsnit af lejlighederne	Gulvareal								Strøer i m	Kantlægger i m	Antal oplødsninger, stk.	Lyddug	Gulvareal					
44	Boligareal og gulvstrøer, i alt	62,5								154,3	37,5								
45	Forbrug: Strøer og oplødsninger pr. m2									3,1	3,1	6,2							
46										Skruerantal	PVAc Limmængde, liter								
47										1028,7 stk	270			1,18					
48	Forbrug: Skruer og lim pr. m2									16,5 stk/m2	0,13								
49										Bostik Limmængde, liter	Bostik Limmængde, liter/m2								
50										5,75	0,09210								



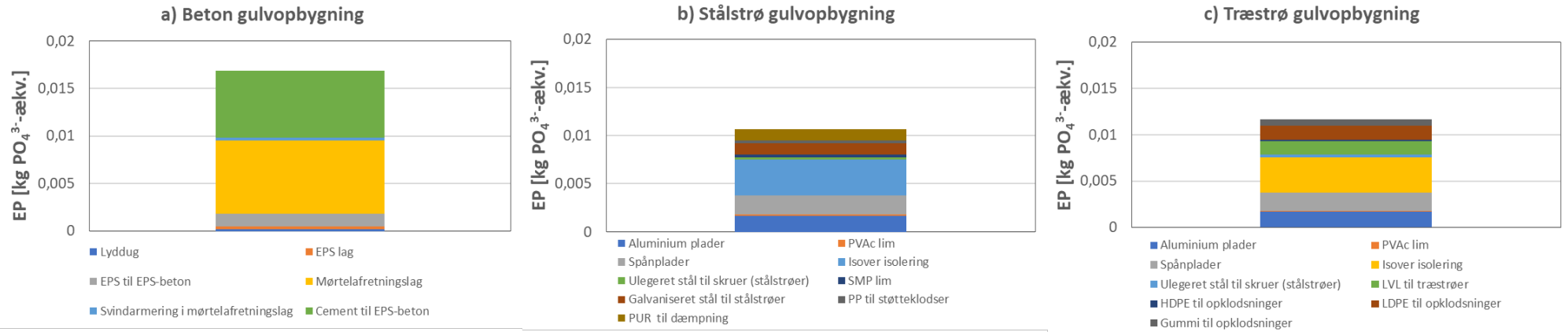
Bilag C – Samtlige resultater



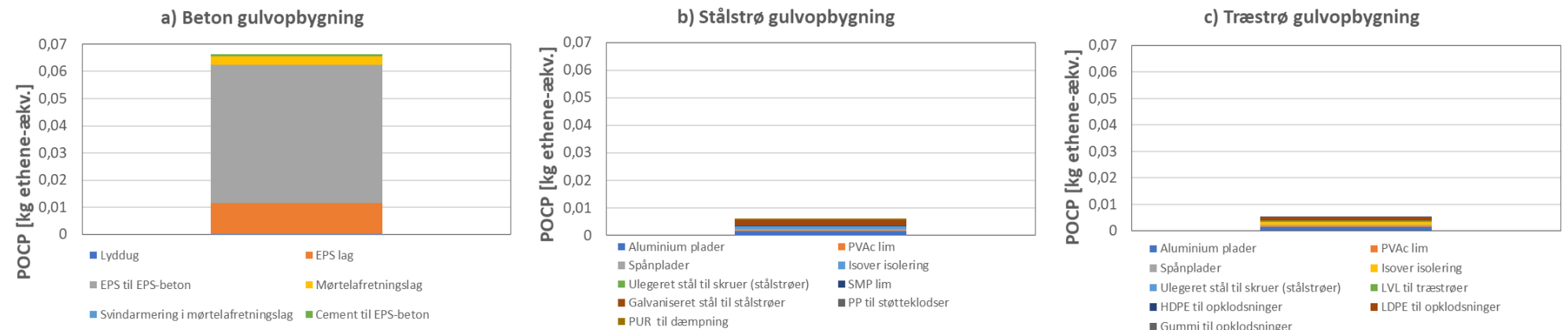
Figur B.1 De beregnede ozonlagsnedbrydning påvirkninger (ODP), opdelt i underprocesser, for de tre undersøgte gulvopbygninger: a) beton, b) stålstrøer, c) træstrøer



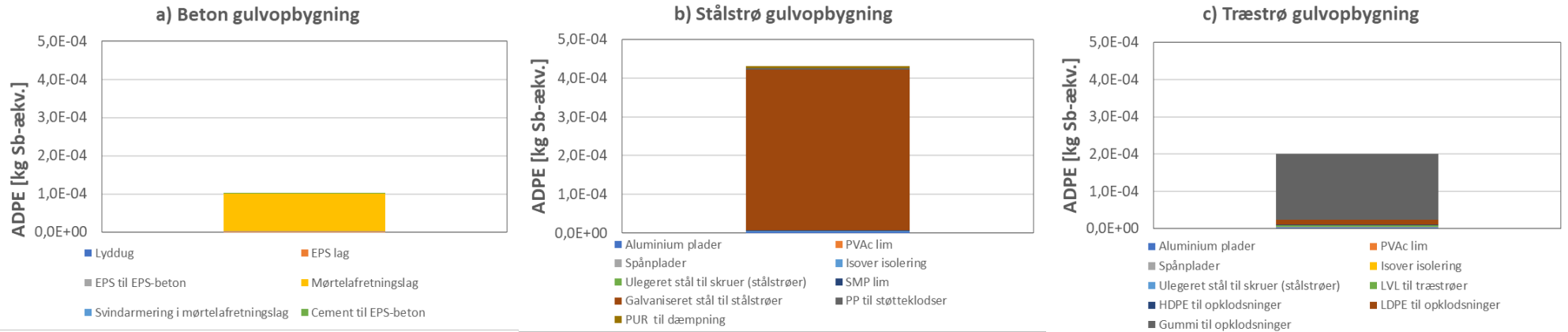
Figur B.2 De beregnede forsuringpåvirkninger (AP), opdelt i underprocesser, for de tre undersøgte gulvopbygninger: a) beton, b) stålstrøer, c) træstrøer



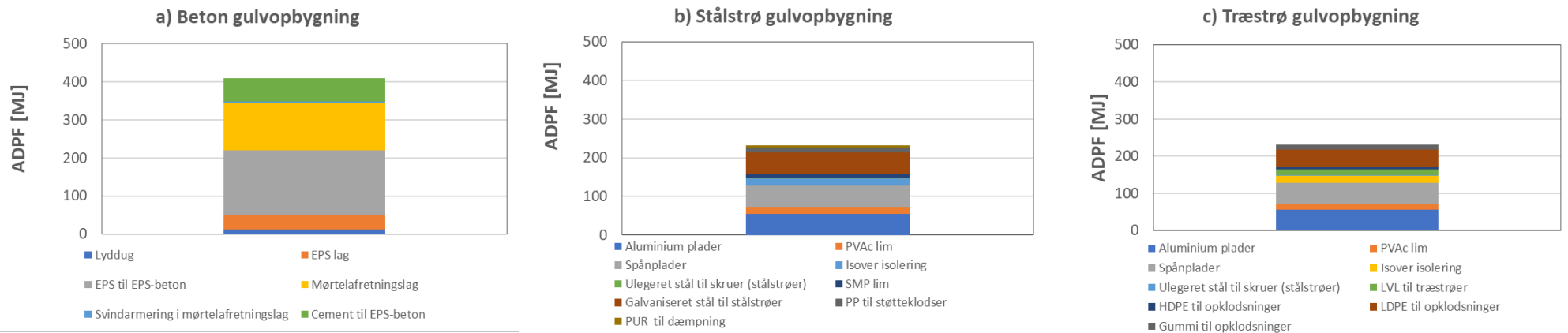
Figur B.3 De beregnede eutrofieringspåvirkninger (EP), opdelt i underprocesser, for de tre undersøgte gulvopbygninger: a) beton, b) stålstør, c) træstør.



Figur B.4 De beregnede fotokemisk ozondannelse påvirkninger (POCP), opdelt i underprocesser, for de tre undersøgte gulvopbygninger: a) beton, b) stålstør, c) træstør.



Figur B.5 De beregnede udtynding af abiotiske ikke-fossile ressourcer påvirkninger (ADPE), opdelt i underprocesser, for de tre undersøgte gulvopbygninger: a) beton, b) stålstør, c) træstør.



Figur B.6 De beregnede udtynding af abiotiske fossile ressourcer påvirkninger (ADPF), opdelt i underprocesser, for de tre undersøgte gulvopbygninger: a) beton, b) stålstør, c) træstør.



Bilag D – Repræsentativitet af data

Valg af datasæt er vurderet ud fra følgende skala i EN 15804:2012+A2:2019, Tabel E1: meget god (MG), god (G), middel (M), dårlig (D), meget dårlig (MD). Resultaterne heraf fremgår af nedenstående tabel D.1.

Tabel D.1 Data repræsentativitet

Materiale		Datavalg			Evaluering		
		Geo	Process	Ref.år	Geo	Ti	Te
Betongulv							
Mørtelafretning Weberfloor		SE	EPD Mørtelafretning	2018	M	MG	MG
Svindarmering i mørtelafretning		NO	EPD Celsa steel	2012	M	M	MG
EPS-beton	EPS	DK	EPD EPS	2015	MG	G	D
	Cement	DK	EPD Aalborg Portland Basis	2015	MG	G	MG
EPS-plader, Sundolitt S80		DK	EPD EPS	2015	MG	G	MG
Lyddug, Acoustic Silence 1550 (gummi)		DK	EPD Lyddug	2018	MG	MG	MG
Stålstrøsystem							
Stålstrøsystem, Granab		DK	EPD Granab	2019	MG	MG	MG
System 7000	Profiler	EU	GaBi, hot dip galvanized structural Steel (sections and heavy plates) - IFV (Module A1-A3)	2013	G	M	MG
	Støtteklodser	EU	Ecoinvent, polypropylene production, granulate	2019	G	MG	G
	Expandable screws	EU	Ecoinvent datasæt for unalloyed steel	2019	G	MG	G
	Damping element	EU	Ecoinvent, polyurethan production, rigid foam	2019	G	MG	G
Bostik Multi Seal 2640		DE	GaBi datasæt for resin/SMP polymer	2011	M	M	G
Alu-varmefordelingsplader		EU	EPD Blank aluminium sheets	2017	G	G	MG
Gulvspånplader		SE	EPD Kronospan Spaandex Spånplader	2020	M	MG	MG
Lim, DanaLim		DE	GaBi datasæt for Polyvinyl Alcohol fibers (PVAL)	2019	M	MG	M
Varme-/lydisolering, Isover λ37		DK	EPD ISOVER	2017	MG	G	MG



Materiale		Datavalg			Evaluering		
		Geo	Process	Ref.år	Geo	Ti	Te
Træstrøsystem							
LVL-strøer, 40x39 mm		DK	EPD Stora Enso LVL	2018	MG	G	MG
Opklodsninger, Knudsen Kilen	LDPE	EU	Ecoinvent datasæt for LDPE	2019	G	MG	G
	HDPE	EU	Ecoinvent datasæt for HDPE	2019	G	MG	G
	Regupol Gummi	EU	Ecoinvent datasæt for synthetic rubber production	2019	G	MG	G
Alu-varmefordelingsplader		EU	EPD Blank aluminium sheets	2017	G	G	MG
Gulvspånplader		SE	EPD Kronospan Spaandex Spånplader	2020	M	MG	MG
Spun-skruer		EU	Ecoinvent: steel production, converter, unalloyed	2019	G	MG	G
Lim, DanaLim, Trælim D3 Ude 430		DE	GaBi datasæt for Polyvinyl Alcohol fibers (PVAL)	2019	M	MG	G
Varme-/lydisolering, Isover λ37		DK	EPD ISOVER	2017	MG	G	MG

Bilag E – Kritisk review rapport

TEKNOLOGISK INSTITUT

KRITISK REVIEW AF "LCA AF TRE ALTERNATIVE GULVOPBYGNINGER"

KRITISK REVIEW AF LCA UDFØRT AF EKSTERN EKSPERT EFTER ISO
14044

ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

PROJEKTNR.

A232549

DOKUMENTNR.

1

VERSION

1

UDGIVELSESDATO

30.08.2021

BESKRIVELSE

Kritisk review

UDARBEJDET

TRHR, RIBB

KONTROLLERET

GODKENDT

INDHOLD

1	Indledning	2
2	Generelt	2
3	Tjekliste	3

1 Indledning

Dette kritiske review af livscyklusvurderingen "LCA af tre alternative gulvopbygninger" er udført af COWI efter den internationale standard ISO 14044 så vidt muligt.

Processen for det kritiske review var som følger:

- › COWI har kommenteret på LCA-rapporten (kommentarer tilsendt 30/08/2021)
- › Teknologisk Institut har svaret på kommentarerne (svar modtaget af COWI 07/09/2021)
- › COWI har kommenteret på Teknologisk Instituts svar (kommentarer tilsendt 10/09/2021)
- › Teknologisk Institut har svaret på kommentarerne (modtaget af COWI 13/09/2021)
- › COWI har godkendt justeringerne og LCA-studiet er hermed godkendt (13/09/2021)

COWI har udført dette kritiske review under forudsætning af at LCA'en ikke påtænkes at blive anvendt til at understøtte en sammenlignende påstand beregnet til offentlighedsrådgivning. I så fald skulle det kritiske review udføres af et interessentpanel.

Reviewet er udført af Trine Henriksen og Rikke Z.K. Bernberg fra COWI A/S.

Review-processen er dokumenteret i det følgende.

2 Generelt

- › Metoderne anvendt er i overensstemmelse med denne internationale standard
 - › Ja
- › Metoderne er videnskabeligt og teknisk gyldige
 - › Ja
- › Anvendte data er hensigtsmæssige og fornuftige
 - › Ja
- › Fortolkningerne afspejler de identificerede begrænsninger og vurderingens formål
 - › Ja
- › Vurderingsrapporten er gennemskuelig og konsekvent
 - › Ja

3 Tjekliste

Følgende skal være dækket af tredjepartsrapporten:

Aspekter fra ISO 14044	Kommentarer fra COWI, første runde	Svar fra Teknologisk Institut	Kommentarer fra COWI, anden runde	COWIs godkendelse
1 Generelle aspekter				
1.1 livscyklusvurderingens opdragsgiver, udøveren af livscyklusvurderingen	OK (på rapportens forside)			
1.2 rapportens dato	Husk fuld dato og ikke kun måned. Ellers OK (rapportens forside)	TI's rapporter indeholder som standard kun måned som dato. Ikke ændret.	OK	
1.3 erklæring om, at vurderingen er udført i overensstemmelse med kravene i ISO 14044	<p>Generelt OK (i afsnit 1 og 4.2).</p> <p>Dog kan der være et issue ift. offentliggørelse af LCA'en. I ISO 14044, afsnit 6.1 står der nederst: "For at reducere sandsynligheden for misforståelser eller negativ indvirkning på</p>	Tilføjet under formål, at resultater ikke bør anvendes til kommunikation i f.eks. fagblade, dagblade mv, og til en generel påstand i offentligheden om, at en løsning er bedre end en anden.	<p>OK.</p> <p>COWI har udført dette kritiske review under forudsætning af at LCA'en ikke påtænkes at blive anvendt til at understøtte en sammenlignende påstand, som er beregnet til offentliggørelse. I så fald</p>	

	<p>eksterne interessenter skal et interessepanel udføre kritiske review af LCA, hvor resultaterne påtænkes anvendt til at understøtte en sammenlignende påstand, som er beregnet til offentliggørelse".</p> <p>COWI blev først klar over opdragsgiveren til LCA'en da vi modtog rapporten og har udført det kritiske review med forudsætningerne i tilbuddet. COWI foreslår at vi drøfter i hvilken grad LCA'en påtænkes at blive offentliggjort.</p>		<p>skulle det kritiske review udføres af et interessepanel.</p>	
2	Vurderingens formål			
	2.1 grundene til at foretage vurderingen	OK (i afsnit 2)		
	2.2 dens påtænkte anvendelser	OK (i afsnit 2)		

2.3 målgrupperne	OK (i afsnit 2)			
2.4 erklæring om, hvorvidt vurderingen påtænkes at understøtte sammenlignende påstande, som er beregnet til offentliggørelse	<p>I afsnit 1 er det angivet at vurderingen er tiltænkt offentliggørelse.</p> <p>Jf. COWIs kommentar til pkt. 1.3 skal svaret vedrørende offentliggørelse af en sammenlignende påstand helst være "nej" for at undgå panel-review. Som nævnt under pkt. 1.3 foreslår COWI, at vi drøfter dette sammen.</p>	Tilføjet under formål, at resultater ikke bør anvendes til kommunikation i f.eks. fagblade, dagblade mv, og til en generel påstand i offentligheden om, at en løsning er bedre end en anden.	OK. Se pkt. 1.3.	
3 Vurderingens afgrænsning				
3.1 funktion, herunder				
a) erklæring om ydeevneegenskaber	I skriver i afsnit 4.3 at en ekspertgruppe har sikret sammenlignelighed for statik, fugt, lyd, varme og levetid, men dette er ikke dokumenteret i	De to eksperter har vurderet, at gulvene overordnet lever op til bygningsreglement, og er sammenlignelige på funktion og kvalitet,	OK. Fint at det er gjort mere tydeligt i rapporten hvad eksperterne egentlig har gjort.	

	<p>rapporten. COWI foreslår at I indsætter en tabel el. lign. med værdierne for statik, fugt, lyd, varme. Hvad med isolerings-evne?</p> <p>Fig. 1 er ikke helt forståelig, f.eks. hvad pilene peger på, hvad det hvide lag i midten er, hvad de små og store hvide cirkler betyder og de blå søjler i de to med spånplader?</p>	<p>og er repræsentative for danske forhold. Der er ikke vurderet på specifikke kvantitative værdier for statik, varme osv. Teksten er omformuleret til at afspejle dette i afsn 2, 4.2, 4.3 og 7.</p> <p>Der er tilføjet ekstra forklaring over figur 1.</p>	OK.	
b) eventuel udeladelse af yderligere funktioner i sammenligninger	OK (afsnit 4.3).			
3.2 funktionel enhed, herunder				
a) overensstemmelse med formål og afgrænsning	I afsnit 3.2 nævnes systemafgrænsningen, dvs. A1-A3. Det er uklart hvorvidt A2 er med for de data	Det er beskrevet i 3.2 at LCA moduler A1-A3 henviser til materialerne og ikke	OK. COWI accepterer dette, men mener dog at det stadig ikke er 100% tydeligt at de fleste steder, hvor	

	<p>der ikke er baseret på en EPD. Det ville være fint at inkludere tabel med oversigt over A2-transporten for de forskellige materialer.</p> <p>Det bør i afgrænsningen, og i beskrivelse af fig. 1, være tydeligt at LCA'en stopper ved materialefremstillingen og ikke inkluderer selve konstruktionen af de tre gulvopbygninger.</p>	<p>gulv-konstruktionerne. Både LCA-data fra EPDer og fra GaBi/Ecoinvent indeholder komplette data for A1, A2 og A3 (moduler refererer til materialerne). Det er ikke synligt, hvilke specifikke antagelser, der er foretaget mht. transportmiddel, afstand, kørselsmønster mv. for de indgående materialer (modul A2). Kommentar er indsat i afsnit 3.2</p> <p>Præciseret i afsnit 3.2</p> <p>Der er tilføjet angivelser af moduler ved oprensning af de udelukkede punkter.</p>	<p>der er tale om GaBi/ecoinvent data, så er der tale om proxy data (står godt nok i en fodnote).</p>	
--	---	--	---	--

		Det er desuden præciseret under figur 1, at lægning ikke er med.	OK.	
b) definition	OK (afsnit 4.3)			
c) resultat af ydeevnemåling	Der er ikke foretaget kvantitative målinger af ydeevne, men der er redegjort for at det vha. ekspert-inddragelse er sikret at de tre gulvkonstruktioner er funktionelt ækvivalente (afsnit 4.2). COWI foreslår at I dokumenterer dette i f.eks. en data-tabel. Se også pkt. 3.1a.	Se pkt. 3.1 a	OK.	
3.3 systemgrænse, herunder				
a) udeladelser af livscyklusfaser, processer eller databehov	Beskrevet at der kigges på A1-A3 og hvilke faser der ikke er medregnet. A2 er ikke tydeligt med i rapporten (hvad med	Både LCA-data fra EPDer og fra GaBi/Ecoinvent databaserne indeholder komplette data for A1, A2 og A3	OK.	

	<p>de data der ikke er baseret på en EPD).</p> <p>I afsnit 3.2 kan en yderligere argumentation for A1-A3 tilføjes noget lignende: "Det forventes desuden, at brug af gulvene er ens (se uddybning i afsnit 6.1)"</p> <p>Tilføj i afsnit 3.2 (2. sidste afsnit) at resultaterne for de enkelte gulvtyper ikke kan stå alene, men udelukkende kan anvendes i denne komparative LCA (grundet sætningen: "Derudover indgår i LCA-beregningerne alene de materialer, som er forskellige i de undersøgte gulvopbygninger."</p> <p>Figur 3, 4 og 5 i afsnit 5 viser LCA-</p>	<p>(moduler refererer til materialerne, og ikke gulvkonstruktionen). Det er præciseret i afsn., 3.2</p> <p>Kommentar tilføjet i afsn 3.2</p>		
--	---	--	--	--

	modellerne i GaBi. Figurtekst bør indeholde enheden for tallene i figur (gennemsnitlig mængde per m ² gulvunderlag)	Tilføjet tekst i figurtekster.		
b) kvantificering af energi-og materialeinput og -output	Tabel 2, 3 og 4: I tilfælde af at EPD'erne i de links der er indsat ændres, bør der refereres til version/udgivelsesdatoer. Evt. lav en tabel for A1-A3-værdier, der tages fra EPD'er for de forskellige komponenter der er angivet for at give et bedre overblik over data.	Tilføjet tabel i bilag D, hvor referenceår er angivet for EPD'er. Dette gælder såvel EPD'er som datasæt fra GaBi og Ecoinvent. EPD'er i referencelisten tilføjet udgiver, løbe-nummer og udgivelsesår. Henvisning til EPD'er i referencelisten indsat i afsn 4.4	COWI mener stadig at der er behov for mere præcis dokumentation og synes der skal tilføjes følgende: i) Med få ord skrive i rapporten i afsnit 4.4 at udgivelsesår er angivet i referencelisten og ii) tilføje EPD-godkendelses-numre i referencelisten, da der ikke står produktnavnet for EPD'en (kun det navn I selv har valgt at kalde det). Problemet med links er at de kan stoppe med at virke.	OK. Teknologisk Institut har imødekommet kommentaren.

<p>c) antagelser vedrørende elektricitetsproduktion</p>	<p>OK, men det bør angives at elforbruget er inkluderet i de anvendte EPD'er og ecoinvent datasæt.</p> <p>Mangler produktionsenergien (til f.eks. støbning af plast) for de data, hvor der ikke er anvendt EPD? Se også punkt 4.5a.</p>	<p>Indsat kommentar i slutningen af 3.2</p> <p>Indsat generel kommentar, at det vurderes uden indvirkning på det samlede resultat i afsn 4.4</p>	<p>OK.</p> <p>OK.</p>	
<p>3.4 cut-off kriterier for den indledende/første medtagelse af input og output, herunder</p>				
<p>a) beskrivelse af afskæringskriterier og antagelser</p>	<p>Cut-off-kriterier er ikke beskrevet. Bør nævnes i f.eks. afsnit 4.4 om der er anvendt et cut-off kriterie (f.eks. 1% af totalmasse-input jf. EN 15804:2012 + A2:2019).</p> <p>Desuden bør nævnes om emballage for råmaterialer er</p>	<p>Tilføjet i afsnit 4.4</p> <p>Tilføjet i afsn 4.4</p>	<p>OK.</p> <p>OK.</p>	

	inkluderet (er de typisk i EPD-data).			
b) udvælgelsens indvirkning på resultater	OK			
c) medtagelse af afskæringskriterier for masse, energi og miljø	Mangler en beskrivelse af dette, evt. i afsnit 4.4.	Tilføjet i afsn 4.4	OK.	
4 Livscykluskortlægning				
4.1 dataindsamlingsprocedurer	OK (afsnit 4.4). Forslag: Rykke afsnit 4.4 op over Tabel 2, 3 og 4 og omdøbe til ("Datagrundlag for byggevarer").	Vurderet ikke væsentligt. Ikke foretaget	OK.	
4.2 kvalitativ og kvantitativ beskrivelse af enhedsprocesser	OK			
4.3 kilder til udgivet litteratur	Kunne godt tænke os en kilde til deponering af EPD-beton (afsnit 6).	Ud fra konsultation af eksperter fra VCØB (https://vcob.dk/) med henvisning til Restproduktbekendtgørelsen vurderes dette at være det sandsynlige scenario. Fodnote er indsat	OK (nu bedre argumentation og reference til bekendtgørelse).	

	Der bør være en referenceliste. Både med standarderne angivet, relevante EPD'er med udgivelsesdato samt de andre referencer i rapporten (nu i fodnote).	med argumentation herfor. Referenceliste indsat		
4.4 beregningsprocedurer	OK (afsnit 4.3.1 og bilag B)			
4.5 validering af data, herunder				
a) datakvalitetsvurdering	I afsnit 4.4 er en OK begrundelse af datavalg, men der bør skrives noget mere om kvaliteten af anvendte data (f.eks. hvorvidt de repræsenterer lokalitet, år og teknologi). Dette er et krav i ISO 14044.	tabel med vurdering er indsat som bilag D og henvist til i afsn 4.4	OK.	

	Desuden er det ikke tydeligt hvorvidt energiforbrug til støbning af f.eks. PUR i tabel 3 er inkluderet. Som minimum bør der stå at energiforbruget er vurderet at være ubetydelig for resultaterne.	Datasæt dækker allerede rigid foam, dvs et allerede støbt materiale. Energiforbrug er inkluderet i datasæt. Fodnote indsat om dette. Desuden indsat generel kommentar, at det vurderes uden indvirkning på det samlede resultat i afsn 4.4	OK.	
b) behandling af manglende data	OK (afsnit 4.4 – brug af generiske data hvor der ikke er EPD-data)			
4.6 følsomhedsanalyse til raffinering af systemgrænsen	OK (afsnit 6.2)			
4.7 allokeringsprincipper og –procedurer, herunder				
a) dokumentation og begrundelse for allokeringsprocedurer	I bør skrive at der ikke er udført nogen allokering i rapporten.	kommentar indsat i afsn 4.1	OK.	

b) ensartet anvendelse af al- lokeringsprocedurer	OK (ej relevant)			
5 Vurdering af miljøpåvirkninger i livs- cyklus, hvis anvendt				
5.1 LCIA-procedurer, beregninger og resultater af vurderingen	God beskrivelse af metode i afsnit 4.1. Dog bør LCA- resultater i stedet be- tegnes LCIA- resultater (LCIA = life cycle impact asses- sment). Det beskri- ves ikke hvilke LCIA- metoder der er an- vendt. Enten indsæt referencer eller også nævn i tabelteksten, at det er EN 15804 A1 "metoden" der er anvendt i GaBi (mest transparent hvis de specifikke referencer indsættes i Tabel 1).	Omformuleret til at være LCIA. Det står allerede lige over tabellen, at mil- jøpåvirkninger stam- mer fra EN15804:A1. Og nu står det så også i tabelteksten, hvis det kan virke mere transparent-.	OK. COWI accepte- rer dette, men mener dog stadig at LCIA- metoderne principielt bør nævnes, da EN15804 er en stan- dard hvori der refere- res til forskellige me- toder.	
5.2 begrænsninger af LCIA- resultater, som vedrører livscy- klusvurderingens formål og af- grænsning	OK. Begrænset til de miljøpåvirkningskate- gorier der er udvalgt i EN 15804 A1.			

<p>5.3 sammenhængen mellem LCIA-resultater og formål og afgrænsning</p>	<p>Grundig beskrivelse og forklaring af data/resultater (afsnit 6.1).</p> <p>Forslag: tilføj reference på deponering af EPS-beton og – evt. tilføj – at ved nedknusning og nyttiggørelse af EPD-beton ville betonen have et CO₂-optag set over hele livscyklus (afsnit 6.1).</p>	<p>Det virker ikke sandsynlig, at det vil blive nyttiggjort, set i lyset af Restproduktbekendtgørelsen. Fodnote indsat.</p>	<p>OK (nu bedre argumentation og reference til bekendtgørelse).</p>	
<p>5.4 sammenhæng mellem LCIA-resultaterne og LCI-resultaterne</p>	<p>OK (afsnit 6 – grundig beskrivelse og forklaring af data/resultater)</p>			
<p>5.5 påvirkningskategorier og kategoriindikatorer under betragtning, herunder den logiske begrundelse for, at de er valgt, herunder antagelser og begrænsninger</p>	<p>Se kommentar til pkt. 5.1. Hvis sammenhængen imellem påvirkningskategorier og indikatorer skal helt med, så bør kolonne 2 i tabel 1 betegnes "indikatorer (inkl. forkortelse)".</p>	<p>Overskrift på kolonne ændret i tabel 1.</p>	<p>OK.</p>	

5.6 beskrivelse af eller henvisning til alle anvendte karakteriseringsmodeller, karakteriseringsfaktorer og metoder, herunder antagelser og begrænsninger	Se kommentarer til pkt. 5.1 og 5.5. Ellers OK.			
5.7 beskrivelse af eller henvisning til alle anvendte værdibase-rede valg i forhold til påvirkningskategorier, karakteriseringsmodeller, karakteriseringsfaktorer, normalisering, gruppering, vægtning og, andre steder i LCIA-en, en begrundelse af deres anvendelse og påvirkning på resultaterne	OK (afsnit 4.1)			
5.8 en erklæring om, at LCIA-resultaterne er relative udtryk, som ikke forudsiger påvirkninger på kategori-end-point, eller overskridelser af tærskelværdier, sikkerhedsmarginer eller risikoniveauer	Dette er en specifik statement fra standarden, som bør ind sættes i rapporten.	Statement tilføjet under tabel 1.	OK.	
a) en beskrivelse af og begrundelse for definitionen og beskrivelsen af eventuelle nye påvirkningskategorier, kategoriindikatorer	OK (ingen nye påvirkningskategorier)			

	eller karakteriseringsmodeller anvendt til LCIA'en				
b)	en fremstilling af og begrundelse for eventuel gruppering af påvirkningskategorierne	OK (ingen gruppering)			
c)	eventuelle yderligere procedurer, som omregner indikatorresultaterne, og en begrundelse for de valgte, referencer, vægtningsfaktorer etc.	OK (ingen yderligere procedurer)			
d)	en eventuel analyse af indikatorresultaterne, fx følsomheds- og usikkerhedsanalyse eller anvendelse af miljødata, herunder eventuel betydning for resultaterne	OK (afsnit 6.1)			
e)	data og indikatorresultater fra før en eventuel normalisering, gruppering eller vægtning skal gøres tilgængelige sammen med de normaliserede,	OK (ingen normalisering mv.)			

	grupperede eller vægtede resultater				
6	Livscyklusfortolkning				
6.1	resultaterne	OK (afsnit 6 – gode forklaringer af resultater generelt)			
6.2	antagelser og begrænsninger, som vedrører fortolkningen af resultater, både metodik- og datarelaterede	OK (afsnit 6.1)			
6.3	datakvalitetsvurdering	OK (afsnit 6.2 – følsomhedsanalyse inkluderer vurdering af usikre data)			
6.4	fuld gennemskuelighed, hvad angår værdibaserede valg, logiske begrundelser og ekspertvurderinger	OK (fin beskrivelse af ekspertinddragelse gennem hele rapporten)			
7	Kritisk review				
7.1	navn på og tilhørsforhold for de personer, der udfører review	Trine Henriksen Rikke Z.K. Bernberg			

	COWI A/S Parallevej 2, DK- 2800 Lyngby			
7.2 redegørelse fra kritisk review	Denne rapport			
7.3 svar på anbefalinger fra det kritisk review	Se kolonne til højre			