

BYGHERREPARTNER USIKKERHEDSMATRIX

DOKUMENTATIONSNOTAT OM USIKKER-
HEDSVURDERING I LCA JF. EN15978

APRIL 2024



TITEL

BygherrePartner Usikkerhedsmatrix

UDARBEJDET AF

Anders S. Ravn | BygherrePartner ApS

GODKENDT AF

Mikkel T. B. Volden | BygherrePartner ApS

DATO

Januar 2024

DOKUMENTTYPE

Dokumentationsnotat om usikkerhedsvurdering i LCA jf. EN15978

VERSION: 2.0

BESKRIVELSE

Notatet dokumenterer udviklingen af værktøjet BygherrePartner Usikkerhedsmatrix til kvalitativt at vurdere usikkerheden af LCA'er udført jf. EN15978. Værktøjet baserer sig på 'Pedigree'-metoden, der anvendes i LCA-datasæt til at vurdere usikkerheden heri. Notatet beskriver arbejdet med at kortlægge relevante usikkerheder for 4 kategorier. Slutteligt præsenterer notatet værktøjet og en metode til at udregne den overordnede usikkerhed i LCA-beregningen.



Indhold

1	Introduktion.....	3
1.1	'Pedigree'-metoden	3
2	BygherrePartner Usikkerhedsmatrix.....	3
2.1	Datakvalitet - Miljødata	4
2.2	Datakvalitet – LOD/mængder.....	5
2.3	Detaljegrad – LCA-model.....	5
2.4	Detaljegrad – Teknisk drift	6
2.5	BygherrePartner Usikkerhedsmatrix	7
3	Beregningseksempel	8
4	Bilag.....	9
4.1	Udregninger og anden supplerende dokumentation	9



1 INTRODUKTION

LCA-beregninger er usikre af natur, da miljødata og antagelser om transportafstande ofte er gennemsnitlige, mængder er baseret på ukomplette 3D-modeller og nogle materialer og materialegrupper udelades helt, eksempelvis fuger eller dele af de tekniske installationer. Denne usikkerhed er sjældent dokumenteret i en bygnings-LCA og softwaren LCAByg, som oftest bruges til bygnings-LCA i Danmark, understøtter heller ikke denne funktion. Hos BygherrePartner mener vi, at denne faktor er meget vigtig at belyse – især når resultater fra LCA'er benyttes som beslutningsgrundlag.

Målet med dette notat er at beskrive en metode, som BygherrePartner har udviklet, der på baggrund af kvalitative vurderinger, kan estimere den samlede usikkerhed i LCA-beregninger udført i LCAByg. Metoden skal både tage højde for kvaliteten/præcisionen af den anvendte data, hvor repræsentative de udregnede mængder er, samt hvor detaljeret konstruktioner er opbygget i LCA-modellen (typisk LCAByg).

1.1 'Pedigree'-metoden

Pedigree-metoden er en simplificeret metode til at udlede usikkerhedsfaktorer fra en kvalitativ vurdering af data¹. Metoden er oprindeligt beregnet til brug ved usikkerheder i input flows, fx om der er brugt 1 eller 2 kWh til en proces. Metoden baserer sig på en matrix, hvor forskellige parametre vurderes på en skala fra 1 til 5, hvor 1 indikerer den mindste usikkerhed. Et eksempel på en anvendt parameter er 'geografisk korrelation', dvs. hvor repræsentativ er data i forhold til produktionsstedet.

Tabel 1.1: Oversigt over parametre i Pedigree-matricen. Tabel adapteret fra Ciroth (2013)².

Indicator value	1	2	3	4	5
Reliability, U1	1.00	1.05	1.10	1.20	1.50
Completeness, U2	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20
Temporal correlation, U3	1.00	1.03	1.10	1.20	1.50
Geographical correlation, U4	1.00	1.01	1.02		1.10
Further technical correlation, U4	1.00		1.20	1.50	2.00
Sample size, U5	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20

Pedigree-metoden antager at usikkerheden er log-normal-fordelt, hvilket blandt andet betyder, at input aldrig kan være negativ. Når usikkerhedsværdierne er valgt i Pedigree-matricen (Tabel 1.1) udregnes den geometriske standardafvigelse som:

$$\sigma_g^2 = \exp \sqrt{[\ln(U1)]^2 + [\ln(U2)]^2 + [\ln(U3)]^2 + [\ln(U4)]^2 + [\ln(U5)]^2}$$

Den geometriske standardafvigelse er en faktor, som multipliceres eller divideres med gennemsnitsværdien af en parameter (Ciroth, 2013).

2 BYGHERREPARTNER USIKKERHEDSMATRIX

Forskellen fra Pedigree-matricen til BygherrePartners usikkerhedsmatrix er først og fremmest, at vi vurderer usikkerheden i resultater, hvor Pedigree-matricen vurderer usikkerheden i input. Dette er nødvendigt, da datasæt anvendt i en bygnings-LCA kan betragtes som en LCA i sig selv, hvor input-

¹ <https://pre-sustainability.com/articles/improved-pedigree-matrix-approach-for-ecoinvent/>

² Ciroth, 2013: http://www.lcaforum.ch/portals/0/df53/DF53-03%20Ciroth%20Keynote_3.pdf



parametre som fx strømforbrug ikke kan ændres. Usikkerheden i resultater vurderes på baggrund af udgivet litteratur (hvor muligt) og er ellers estimeret foretaget af BygherrePartner selv.

BygherrePartner Usikkerhedsmatrix vurderer usikkerhed på følgende 4 parametre:

1. **Datakvalitet – Miljødata**
Anvendes der EPD- eller generisk miljødata?
2. **Datakvalitet – LOD/mængder**
Hvor retvisende er mængdeudtrækket fra modellen? Hvilket LOD er modelleret?
3. **Detaljegrad – LCA-model**
Hvor retvisende og detaljeret er konstruktioner modelleret i LCA-modellen?
4. **Detaljegrad – Teknisk drift**
Er den tekniske drift baseret på en Be18-beregning eller en antagelse?

2.1 Datakvalitet - Miljødata

Kvaliteten af den anvendte miljø-data kan svinge meget og usikkerheden af denne er sjældent rapporteret i hverken den generiske database Ökobau eller i udgivne EPD'er. Her skal man både tage højde for den geografiske og temporale repræsentation, dvs. repræsenterer data det land, hvor produktet er produceret og er produktionsmetoden eller energikilden tidssvarende. Desuden skal det vurderes om datasættet repræsenterer det korrekte produkt. BUILD har i 2021 udgivet rapporten *Tilgængelighed og betydning af EPD'er*³, hvor de peger på, at klimapåvirkninger fra tilsvarende produkter varierer meget:

"I nogle tilfælde er Ökobau resultatet forholdsvis tæt på EPD-gennemsnittet, andre gange langt fra og enkelte gange er Ökobau lavere. Det ses også på grafen, at det ikke har været muligt at fremsøge mere end én EPD for nogle materialer, hvilket begrænser omfanget af LCA-resultater for disse."

Betragter man det regnede eksempel i rapporten (Figur 14), ses det at forskellen mellem Ökobau- og EPD-data er 23 % (se Tabel 4.1). Som nævnt ovenfor, kan hvert enkelt datasæt betragtes som en LCA, der af natur vil have en usikkerhed inkluderet. Da denne sjældent er rapporteret, antages der en usikkerhed på 5 % for selv modeller med den højeste grad af repræsentative miljødata.

Niveauerne for **datakvalitet** i BygherrePartner Usikkerhedsmatrix vurderes på baggrund af hvert enkelt datasæt med anvendt miljødata i LCA modellen, og vægtes efterfølgende alt efter byggevarens indvirkning på det samlede resultat. Niveauerne går fra projektspecifik EPD til generisk data, og er angivet i Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Usikkerheder for kategorien 'Datakvalitet'

Niveau	1	2	3	4	5
Beskrivelse	Projektspecifik EPD	Produktspecifik EPD	Branche-EPD	Generisk data	-
Usikkerhed	5%	10%	20%	30%	-

Værdierne er delvist baseret på krav defineret i Simonen *et. al.* (2020)⁴. Især kravet til "tidsaspektet" af EPD'en er svært at overholde, hvor det kræves at EPD'en skal gælde for ét produktionsforløb,

³ BUILD 2021:25: <https://build.dk/Pages/Tilgaengelighed-og-betydning-af-EPD-er.aspx>

⁴ Simonen et al, 2020: <https://doi.org/10.5334/bc.31>



med data indsamlet over maks. 90 dage. De fleste (for denne forfatter) kendte EPD'er består af årgennemsnit for produktion. Usikkerheden for de fleste produktspecifikke EPD'er vil ifølge denne metode ligge mellem 20-30%. I studiet skelnes der ikke mellem såkaldt generisk og branchespecifikt data, men disse kategorier skæres over en kam. Her vil usikkerheden ligge mellem 40-45%. I studiet nævnes desuden at, hvis det forventes at LCA-resultaterne varierer mindre end 10% kan EPD'en kaldes "produktspecifik". Niveauerne foreslås på baggrund heraf:

- Produktspecifik EPD: $\pm 10\%$
- Branchespec. EPD: $\pm 20\%$
- Generisk data: $\pm 30\%$

2.2 Datakvalitet – LOD/mængder

Mængderne i en bygnings-LCA er ofte baseret på en (eller flere) 3D-modeller, og korrektheden af mængderne afhænger således af modellens kvalitet. Modeller varierer gennem byggeriets faser, hvor modellerne forfines fra grove volumen-modeller i de helt tidlige designfaser til mere detaljerede bygningsmodeller. Detaljeringsgraden benævnes LOD⁵. R Kjær Zimmermann et al (2019)⁶ har undersøgt forskelle mellem resultater fra tidlig designfase til et DGNB-baseline scenarie, der antages at være forholdsvis færdigarbejdet. Forskellen mellem gennemsnittet af de tidlige designfaser og baseline er 29 % (se Tabel 4.2). Usikkerhedsværdierne sættes til:

Tabel 2.2: Usikkerheder for kategorien 'Modelkvalitet'. LOD-niveauer er vejledende.

Niveau	1	2	3	4	5
Beskrivelse	Produktionsmodel LOD 400	Standard 3D-model med tekniske installationer LOD 325	Standard 3D-model uden tekn. installationer LOD 300	Tidlig designfase (LCA-screening) LOD 200	Volumen-model LOD 100
Usikkerhed	0%	2%	5%	17%	29%

2.3 Detaljegrad – LCA-model

Kvaliteten af LCA-modellen relaterer sig til, hvor detaljeret konstruktioner er opbygget, samt hvor mange materialer er medtaget. Denne kategori overlapper delvist med modelkvaliteten, da det fx ikke giver mening at medtage en meget præcis opgørelse af skruer, hvis der er tale om en tidlig volumenmodel, hvor mange mængder endnu er udefinerede. Af Bygningsreglementets bilag 2, tabel 6⁷ fremgår det, hvilke materialer og byggevarer som skal medtages for at overholde BR18-kravet til LCA. Det ses, at ikke alle byggevarer skal medtages, og derfor tillægges dette niveau en usikkerhed på 5%. Desuden tillades det, at klimapåvirkningen fra tekniske installationer kan være baseret på standardværdier.

⁵ BIM7AA: http://www.bim7aa.dk/DiKon_BIM7AA_Bygningsdelsspecifikationer_V3.pdf

⁶ Zimmermann et al, 2019: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/323/1/012118/pdf>

⁷ <https://bygningreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/BRV/Version-2-Bygningers-klimap%C3%A5virkning> besøgt den 10/01/2024



Tabel 2.3: Usikkerheder for kategorien 'LCA-model'. (+) Tekniske installationer kan være standard-værdi.

Niveau	1	2	3	4	5
Beskrivelse	Fuldstændig modellering	BR18-krav opfyldt (+)	Screeningsniveau (+)	Byggeprincip defineret (+)	Referenceværdier (+)
Usikkerhed	0%	5%	10%	15%	20%

For fuldstændig modellering gælder, at alle materialer er medtaget:

- Skruer
- Fibre, i puds og lign.
- (Glasfiber)armering, i puds og lign.
- Lister og paneler og fuger om døre og vinduer
- Vinduesplader
- Ændringer i fundament under yderdøre/glaspartier
- Beslag

Desuden er tekniske installationer modelleret.

2.4 Detaljegrad – Teknisk drift

Da driften af bygninger har en naturlig varians (stærkt afhængig af beboertype)⁸, og der generelt er en forskel i beregnet og faktisk energiforbrug i bygninger⁹, er det valgt at fokusere på det tekniske energiforbrug i bygningen, som beregnes i energirammeberegningen. Det tekniske energiforbrug relaterer sig udelukkende til de tekniske installationer, varmesystemet og varmetabet i bygningen og skal dermed forstås som selve energirammen på bygningen i Bygningsreglementet, som beregnes i programmet Be18.

I de helt tidlige designfaser, hvor det kan være relevant at foretage en LCA-screening, foreligger der typisk ikke en Be18-beregning. Her antager vi hos BygherrePartner typisk et energiforbrug, der overholder energirammen i bygningsreglementet¹⁰ og sammenholder med erfaringsværdier fra lignende bygningstyper, sammenholdt med erfaringsværdier for U-værdier på primære bygningsdele¹¹. Detaljegraden af en Be18-beregning varierer med byggeriets faser, hvilket bidrager til en højere usikkerhed i de indledende faser.

For den tekniske drift sættes usikkerhedsværdierne til:

Tabel 2.4: Usikkerheder for kategorien 'Teknisk drift'.

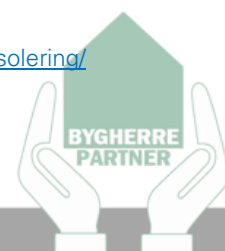
Niveau	1	2	3	4	5
Beskrivelse	Be18-beregning (byggeandragende)	Be18-beregning (udbudsprojekt)	Be18-beregning (screening)	-	Antaget energiforbrug (ud fra energiramme)
Usikkerhed	0%	5%	10%	-	20%

⁸ Mahdavi et al, 2019: <https://doi.org/10.3390/su13063146>

⁹ BUILD 2016:09: <https://build.dk/Pages/Forskellen-mellem-maalt-og-beregnet-energiforbrug-til-opvarmning-af-parcelhuse.aspx>

¹⁰ <https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/Krav>

¹¹ Se f.eks. <https://www.rockwool.com/dk/downloads-og-tools/bygningsreglement/minimumstykkelser-for-isolering/>



2.5 BygherrePartner Usikkerhedsmatrix

Den samlede usikkerhedsmatrix kan ses nedenfor:

Tabel 2.5: BP usikkerhedsmatrix. LOD-niveauer er vejledende.

	INDLEJRET			DRIFT
	Datakvalitet (miljødata)	Datakvalitet (LOD/mængder)	Detaljegrad (LCA-model)	Detaljegrad (teknisk drift)
1	5% Projektspecifik EPD	0% Produktionsmodel LOD 400	0% Fuldstændig modellering	0% Be18-beregning (byggeandragende)
2	10% Produktspecifik EPD	2% Standard 3D-model med tekniske installationer LOD 325	5% BR18-krav opfyldt (+)	5% Be18-beregning (udbudsprojekt)
3	20% Branche-EPD	5% Standard 3D-model uden tekniske installationer LOD 300	10% Screeningsniveau (+)	10% Be18-beregning (screening)
4	30% Generisk data	1,17¹² Tidlig designfase (LCA-screening) LOD 200	15% Byggeprincip defineret (+)	-
5	-	1,29 Volumenmodel LOD 100	20% Referenceværdier (+)	20% Antaget energiforbrug (ud fra energiramme)

De første tre parametre i matrixen, "Miljødata", "LOD/mængder" og "LCA-model" relaterer sig alle tre til de *indlejrede miljøpåvirkninger*, hvorimod påvirkningerne fra "teknisk drift" relaterer sig til *driftsfasen* af bygningen. Da disse ikke er direkte relateret, vægtes usikkerhederne efter deres andel af den samlede påvirkning. Miljødata vurderes for hvert materiale, og den samlede usikkerhed herfra vægtes ift. deres indvirkning på det samlede resultat.

Det antages, at usikkerheden er normalfordelt og udregnes således vha. formlen:

$$\mu = \%_{indlejret} \cdot \sqrt{U_{miljødata}^2 + U_{LOD}^2 + U_{LCA}^2} + \%_{drift} \cdot U_{drift}$$

¹² Middelværdi mellem niveau 3 og 5



3 BEREGNINGSEKSEMPEL

I den tidlige designfase besluttes det at udføre en LCA-screening af projektet. Der foreligger ikke en Be18-beregning, men det antages at projektet opvarmes med en varmepumpe og at huset udfylder energirammen. Fordelingen mellem indlejrede påvirkninger og drift er 90:10. Der anvendes branche-EPD'er og generisk data, som beregnes til en usikkerhed på 28%. LCA-modellen er på screeningsniveau og tekniske installationer baseres på standardværdier. Usikkerhedsmatricens niveauer bliver således:

$$[\text{miljødata}; \text{LOD}; \text{LCA}; \text{drift}] = [28\%; 4; 3; 5]$$

Nedenfor kan niveauerne ses markeret i selve usikkerhedsmatricen:

Tabel 3.1: Usikkerhedsmatrix med markering af valgte usikkerhedsniveauer.

	INDLEJRET			DRIFT
	Datakvalitet (miljødata)	Datakvalitet (LOD/mængder)	Detaljegrad (LCA-model)	Detaljegrad (teknisk drift)
1	5% Projektspecifik EPD	0% Produktionsmodel LOD 400	0% Fuldstændig modellering	0% Be18-beregning (byggeandragende)
2	10% Produktspecifik EPD	2% Standard 3D-model med tekniske installationer LOD 325	5% BR18-krav opfyldt (+)	5% Be18-beregning (udbudsprojekt)
3	20% Branche-EPD	5% Standard 3D-model uden tekniske installationer LOD 300	10% Screeningsniveau (+)	10% Be18-beregning (screening)
4	30% Generisk data	1,17 ¹³ Tidlig designfase (LCA-screening) LOD 200	15% Byggeprincip defineret (+)	-
5	-	1,29 Volumenmodel LOD 100	20% Referenceværdier (+)	20% Antaget energiforbrug (ud fra energiramme)

Usikkerhedsfaktoren fra matricen indsættes i formlen, til at udregne usikkerheden i LCA-studiet:

$$\mu = 90\% \cdot \sqrt{0,28^2 + 0,17^2} + 10\% \cdot 0,2^2 = \pm 33\%$$

Dette giver en usikkerhed i LCA-studiets resultater på $\pm 33\%$. I det videre forløb er det således målet at nedbringe denne usikkerhed ved at vælge mere retvisende data, modellere mængderne bedre i en 3D-model, samt udføre LCA-modellen i en detaljegrad, der som minimum overholder BR18-kravene. Nogle tiltag vil sænke klimapåvirkningen (typisk at gå fra generisk til specifik data), mens andre tiltag kan øge påvirkningen (fx overholdelse af BR18-krav).

¹³ Middelværdi mellem niveau 3 og 5



4 BILAG

4.1 Udregninger og anden supplerende dokumentation

4.1.1 Udregning af usikkerhed for datakvalitet

Tabel 4.1: Aflæste værdier i hht. Figur 14 i BUILD 2021:25.

	Ökobau	EPD	Avg.	std.dev.	std.dev/avg
A	225,00	175,00	200,00	35,36	18%
B	100,00	125,00	112,50	17,68	16%
C	75,00	45,00	60,00	21,21	35%
Avg.					23%

4.1.2 Udregning af usikkerhed for modelkvalitet

Tabel 4.2: Aflæste værdier i hht. Figur 1 i Zimmerman et al (2019). *Gennemsnit af ED1 og ED2.

Case	BL	ED1	ED2	ED_avg*	ED_avg/BL
A	575	660	750	705	1,23
B	260	380	350	365	1,40
C	550	700	660	680	1,24
Avg.					1,29

4.1.3 Definition af kriterier relateret til LCA-model og 3D-model

Tabel 4.3: Oversigt over kriterier for at opnå et givent usikkerhedsniveau på de forskellige kategorier.

	Datakvalitet (LOD/mængder)	Detaljegrad (LCA-model)
1	<p>Produktionsmodel</p> <p>Alle mængder for alle byggevarer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Som minimum medtaget som gennemsnit på konstruktionsniveau. Eks: antal skruer/m² <p>Specifikationer for alle større (end 5% af udledning/volumen/vægt) byggevarer typer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Specifikke produkter i datagrundlaget - Eks. betonstyrkeklasse, træsort og forarbejdning, glastykkeelse, 	<p>Yderst detaljeret</p> <p>Alle materialer medtaget</p> <ul style="list-style-type: none"> - Skruer - Fibre, i puds og lign. - (Glasfiber)armering, i puds og lign. - lister og paneler og fuger om døre og vinduer - vinduesplader - Ændringer i fundament under yderdøre/glaspartier - Beslag <p>Tekniske installationer er modelleret</p>
2	<p>Standard 3D-model med tekniske installationer</p> <p>LOD 325</p>	<p>Primære materialer i konstruktioner</p> <p>Tekniske installationer kan stadig være standardværdier</p> <p>BR18 krav er opfyldt</p>
3	<p>Standard 3D-model uden tekniske installationer</p> <p>LOD 300</p>	<p>Primære materialer i konstruktioner indgår i modellen</p> <p>Tekniske installationer kan stadig være standardværdier</p>
4	<p>Tidlig designfase (LCA-screening)</p> <p>LOD 200</p>	<p>Groft modelleret</p> <p>Byggeprincip-defineret</p>
5	<p>Volumenmodel</p> <p>LOD 100</p>	<p>Modelleret primært med reference- eller standard-værdier for konstruktioner</p>

BygherrePartner ApS
Lombjergervej 1, 5750 Ringe
CVR 41232234
www.BygherrePartner.com

