



Cirkulære potentialer ved renoveringer



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Cirkulære potentialer ved renoveringer

Rekvirent:

JJW Arkitekter
Finsensvej 78
2000 Frederiksberg
Att.: Martin Oddershede; Niels Toft Wendelboe

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 4
2630 Taastrup
Byggeri og Anlæg

Forfatter:

Stefania Butera, stbu@teknologisk.dk, tlf. 7220 1951

Kvalitetssikret af:

Sebastian Svane Müller, ssvm@teknologisk.dk, tlf. 7220 2053
Sofie Frydkjær Witte, sfw@teknologisk.dk, tlf. 7220 2340

Opgavenr.: 144965

Versionsnr.: 1

Februar 2023

Resultater af Instituttets 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. Instituttets navn eller logo eller medarbejdernes navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionssekretariatet.



Indhold

1.	Forord	4
2.	Baggrund og formål	4
3.	Metode til vurdering af klimapotentialet.....	4
3.1.	Anvendte miljødata	6
3.1.1.	Cirkulær håndtering af byggevarer efter nedrivning eller byggeaffald	8
3.1.2.	Nybyggeri med genbrugte byggevarer	9
3.1.3.	Nybyggeri med cirkulære eller grønnere byggevarer	10
4.	Metode til vurdering af det overordnede implementeringspotentiale.....	10
4.1.	Baggrund og problemstilling	10
4.2.	Metodebeskrivelse	11
5.	Potentialer for de modellerede tiltag.....	12



1. Forord

Dette notat er udarbejdet af Teknologisk Institut for JJW, som har ønsket at få belyst de klimamæssige konsekvenser af forskellige cirkulære tiltag foretaget ved renoveringer af eksisterende bygninger, samt deres overordnede implementeringspotentiale.

Notatet er udarbejdet på baggrund af viden hos Teknologisk Instituts specialister, eksisterende CO₂-nøgletal og andre miljødata for de relevante materialer og processer, der indgår i almindelige bygningsrenoveringer.

Projektet er gennemført i perioden oktober 2022-marts 2023.

2. Baggrund og formål

Helt overordnet kan minimering af klimabelastning ved bygningsrenoveringsopgaver opnås via to typer af tiltag: enten via en mere cirkulær håndtering af affald og ressourcer ved nedrivningsdelen af renoveringer (fx hvor materialerne tages skånsomt ned for at muliggøre deres direkte genbrug), eller via brug af genbrugte eller grønnere byggematerialer, eller byggematerialer med genanvendt indhold ved nybygsdelen af renoveringer. Formålet med nærværende notat er at identificere de mest skalerbare tiltag, JJW kan foretage i forbindelse med bygningsrenoveringsopgaver, og som både har størst potentiale for klimabesparelse, samt er lettest at implementere. Dette gøres via følgende delmål:

- 1) At belyse vha. livcyklusvurdering et estimat af de potentielle klimabesparelser ved at implementere udvalgte cirkulære tiltag i de bygningsrenoveringsopgaver, som JJW arbejder med,
- 2) At udvikle en metode til vurdering af det overordnede implementeringspotentiale ved de udvalgte cirkulære tiltag.

3. Metode til vurdering af klimapotentialet

En vurdering af de potentielle klimabesparelser forårsaget af de ovennævnte cirkulære løsninger kræver en LCA- modellering af løsningerne, som bliver holdt op imod et reference-scenarie. Negative klimaeffekter repræsenterer en klimagevinst (dvs. sparet CO₂), mens positive klimaeffekter repræsenterer en klimabelastning (dvs. udledt CO₂).

LCA'en blev struktureret som en attributionel LCA, som følger cut-off allokeringsmetoden, som beskrevet i EN 15804 (DS/EN 15804, 2012). Dette betyder, at miljøbelastningerne slutter på det tidspunkt, hvor et genanvendeligt/genbrugeligt materiale forlader produktsystemet som et materiale der er klar til anvendelse i det næste produkt. Materialet har her opnået status af end-of-waste. Det genanvendelige/genbrugelige materiale bærer ikke nogen miljøbelastning, når det kommer ind i det næste produktsystem, men det nuværende produkt opnår ingen godskrivning for undgået produktion af primært materiale. Tilsvarende er det genanvendte/genbrugte materiale anvendt i det nuværende produkt miljømæssigt gratis, når det modtages fra den forrige livscyklus, og det nuværende produkt



betaler udelukkende for forarbejdning til anvendelse i den nuværende funktion. Man ser dermed bort fra den miljøbelastning, der er forbundet med det pågældende materiales første livscyklus, bl.a. råvareudvinding, produktion, transport og brugsfase.

Helt overordnet er faserne og modulerne i en byggevares livscyklus (som beskrevet i Tabel 1, og som defineret i hovedstandarden for EPD'er DS/EN 15804) følgende: udvinding og transport af råmaterialer, fremstilling af materialet/produktet (det, som i en EPD kaldes produktfasen (modulerne A1-A3)), transport til byggepladsen og opførelse/installation (byggeprocesfasen (modulerne A4-A5)), endt levetid: nedrivning, transport af affaldet, affaldshåndtering og bortskaffelse (endt levetid (modulerne C1-C4)), samt gevinster uden for systemgrænserne (modul D, dvs. gevinster fra fx genbrug, genanvendelse, produktion af energi via fx forbrænding mm.).

Modellering af det biogene CO₂¹ er gjort i henhold til standarden DS/EN 16485, 2014 ("Produktkategoriregler for træ og træbaserede produkter til konstruktionsbrug", PCR for træ). Hvis træet kommer fra bæredygtig skovdrift², kan det biogene CO₂ betragtes som karbon-neutralt, dvs. at balancen for det biogene kulstof over træets livscyklus skal være 0, og at klimaeffekten fra det biogene kulstof over livscyklussen skal være 0. I praksis betyder det, at samtlige input af træ til produktsystemet (træ som råmateriale til produktion af træprodukter i modulerne A1-A3, jomfrueligt såvel som genbrugt træ,) bidrager med negativt fortegn (biogent CO₂ fjernes fra atmosfæren, idet det bliver lagret i et byggeprodukt), og at samtlige output af træ fra produktsystemet (træprodukter, som har nået deres end-of-life, eller indbygget i bygninger, som har nået deres end-of-life, modulerne C1-C3/C4, genbrug, genanvendelse, forbrænding såvel som deponi) bidrager med positivt fortegn (biogent CO₂ udledes til atmosfæren). Hvis træet/træaffaldet indgår i et andet produktsystem (fase D), så skal det i fase D krediteres for materialets CO₂, som så indgår i det nye produktsystem med et negativt fortegn.

¹ Biogent CO₂ defineres som det CO₂, der optages af og lagres i biologiske materialer, såsom planter, biomasse eller jord, og som frigives igen som følge af deres forbrænding eller nedbrydning af organisk materiale, det vil sige biomasse og dens derivater.

² Bæredygtig skovdrift omfatter enten de lande, der følger Art. 3.4 i Kyoto Protokollen, eller de skove, som drives under anerkendte certificeringsordninger for bæredygtig skovdrift,



Tabel 1 Faser og moduler angivet i EPD-standarden

Udvinding af råstoffer	Transport til fremstilling	Materialefremstilling	Transport til byggeplads	Installation	Ibrugtagning	Vedligehold	Reparation	Udskiftning	Renovering	Energiforbrug	Vandforbrug	Nedrivning	Transport til affaldsbehandling	Affaldsbehandling	Deponering	Potentiale for genbrug og genanvendelse
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Produktfase			Byggeprocesfase		Brugsfase							Endt levetid				Udenfor projekt

I de gennemførte beregninger er de samlede klimaeffekter beregnet som sum af klimaeffekterne fra produktfasen A1-A3 (råmaterialer, transport, fremstilling), affaldshåndtering C3-C4 (affaldsbehandling og/eller bortskaffelse), samt potentiale udenfor systemgrænser, D.

Resultater af LCA-modelleringen skal læses som *estimer* af de potentielle klimapåvirkninger, da både beregninger og de anvendte miljødata er præget af en betydelig usikkerhed.

En vigtig forudsætning for LCA'en er, at der er funktional ækvivalens mellem de sammenlignede scenarier (dvs. hvert cirkulært scenarie med dets respektive reference-scenarie): dette betyder, at de materialer, der sammenlignes i de to respektive scenarier, skal kunne levere den samme funktion samt opfylde de samme krav (statik, fugt, brand, lyd, varme, levetid, vedligehold mm.). Det har ikke ligget inden for rammerne af nærværende projekt at foretage en vurdering af, hvorvidt dette er opfyldt i de sammenlignede scenarier, men vi har antaget, at det er tilfældet.

Selvom alle miljøpåvirkningskategorier normalt indgår i en LCA, er denne vurdering begrænset til kun at fokusere på klimapåvirkninger (kg CO₂-ækv.), da hovedfokus for JJWs arbejde netop er klima.

LCA-modelleringen er blevet foretaget på baggrund af eksisterende miljødata (beskrevet i næste afsnit 3.1).

3.1. Anvendte miljødata

Vurdering af klimabesparelserne har i så stor udstrækning som muligt været baseret på miljødata i form af eksisterende nøgletal, der beskriver klimaeffekterne af fx:

- at bygge med genbrugte byggevarer, eller byggevarer med genanvendt indhold, i stedet for konventionelle, jomfruelige byggevarer. En central kilde i forhold til CO₂-nøgletal, der



- repræsenterer indlejret CO₂³ for 11 forskellige materialer produceret konventionelt såvel som cirkulært, er Andersen et al. (2019)⁴.
- ii) at genbruge, genanvende eller nyttiggøre visse strømme af byggeaffald efter nedrivning i stedet for en mere konventionel affaldshåndtering for de samme strømme byggeaffald. Centrale kilder ift. opgørelse af CO₂ effekter ved genbrug, genanvendelse og anden nyttiggørelse af forskellige typer byggeaffald er Damgaard (2020)⁵, Møller et al. (2012)⁶ og Butera (2019)⁷.

I og med at de ovennævnte publikationer kun dækker et begrænset antal materialer, blev disse suppleret med generiske data fra LCA-databaser, som fx Ökobaumat, samt data fra miljøvaredeklarerationer (EPD'er). Dette er nærmere beskrevet i følgende afsnit 3.1.1, 3.1.3 samt 3.1.1.

I alle tilfælde beskriver de anvendte miljødata klimapåvirkningen af de relevante materialer i tre faser (jf. Tabel 1): produktfase A1-A3 (råmaterialer, transport, fremstilling), affaldshåndtering C3-C4 (affaldsbehandling og/eller bortskaffelse), samt potentiale udenfor systemgrænser D (genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse). Modul D repræsenterer den potentielle klimabesparelse ved at genbruge eller genanvende det specifikke materiale ved endt levetid i en ny livscyklus (fx undgået forbrug af jomfrueligt materiale). Disse potentielle klimabesparelser beregnes kun for den andel af råvarerne, som rent faktisk er jomfruelige. Dette gøres for at undgå, at gevinsten ved at anvende genbrugte og genanvendte materialer beregnes dobbelt (som beskrevet i Andersen et al., 2019).

Modellering af eventuelle klimagevinster ved forbrænding af byggematerialer (undgået produktion af el og varme, modul D) er baseret på følgende antagelser: El- og varmemevirkningsgrad for affaldsforbrændingsanlæg ligger på hhv. 22 % og 73 % (Henriksen et al., 2018⁸). Den producerede el og varme erstatter dansk elmix og EU fjernvarmemix (hvilket er samme tilgang som i EPD'er udarbejdet af Teknologisk Institut).

³ Indlejret CO₂ defineres som den mængde af drivhusgasser, der frigives gennem et byggematerials levetid (udvinding af råmaterialer, transport, produktion, opførelse, brug og vedligehold, nedtagning, bortskaffelse, genanvendelse og genbrug).

⁴ Andersen, C. E., Rasmussen, F. N., Zimmermann, R. K., Kanafani, K. & Birgisdottir, H. (2019): Livscyklusvurdering for cirkulære løsninger med fokus på klimapåvirkning. Forundersøgelse. SBI 2019:08. Polyteknisk Boghandel og Forlag ApS <https://build.dk/As-sets/Livscyklusvurdering-for-cirkulaere-loesninger-med-fokus-paa-klimapaavirkning/SBI-2019-08.pdf>

⁵ Damgaard, A. (2020): Cirkulær økonomi i byggeriet. Analyse af potentialer. LCA bilagsrapport / Bilag A. DTU Miljø. Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen. <https://bpst.dk/da/Byggeri/Lister/Publikationsliste?type=Rapport>

⁶ Møller J, Butera S, Martinez Sanchez V, Christensen TH, Kromann M, Willumsen E. Livscyklusvurdering og samfundsøkonomisk vurdering af forskellige alternativer for håndtering og behandling af gipsaffald. 2012. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2012/03/978-87-92779-89-2.pdf>

⁷ Butera, S. (2019): Ressourceeffektive anlægskonstruktioner. LCA-undersøgelse af tilsagsproduktion. Teknologisk Institut <https://www.teknologisk.dk/ydelser/baeredygtigt-byggeri/lca-life-cycle-assessment/30894.7>

⁸ Henriksen T, Venås T, Morsing N. Projekter for bedre ressourceudnyttelse - Livscyklusvurdering af genanvendelse af træaffald. Miljøprojekt nr. 1995, 2018. 2018 https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2018/apr/lca-traeaffald/?fbclid=IwAR0eQC3AC_jdeknZR5V5YDHEt4Kau8vZbGTh_GDi6TGpCarACf98DhST6tU



3.1.1. Cirkulær håndtering af byggevarer efter nedrivning eller byggeaffald

Potentialet for at reducere klimaudledningen gennem genbrug af visse byggeaffaldsstrømme/byggevarer forudsætter, at genbrug kan erstatte behovet for at bortskaffe/behandle de pågældende affaldsstrømme og kan anvendes til at fremstille tilsvarende nye produkter.

Samtidig kan klimabelastende processer som transport, opbevaring, rensning og oparbejdning være nødvendige i forbindelse med genbrug. Disse processer indgår dog ikke altid i beregningerne i dette projekt: dette er afhængigt af datakilden. Det skyldes, at klimapåvirkningen knyttet til transport, rensning og opbevaring kan variere meget alt afhængig af produkt- eller materialetype, lokaliteter, samt produktets eller materialets konkrete tilstand og kvalitet. For en række materialer/produkter (bl.a. mursten- og betonaffald) har det dog været muligt at medregne oparbejdning, fordi det er tale om en standardproces, hvor produktets/materialets oprindelige tilstand har en begrænset indflydelse, samt fordi beregningerne er baseret på eksisterende nøgletal, herunder hovedkilderne Butera (2019), Møller et al. (2012) og Damgaard (2020). De tre publikationer har undersøgt klimapåvirkningerne fra forskellige behandlingsmetoder for en række materialer: hhv. beton (Butera, 2019), gips (Møller et al., 2012) samt tagsten, stenuld, beton og træ (Damgaard, 2020). Resultaterne i publikationerne stammer fra en grundig modellering af forskellige behandlingsmetoder for specifikke affaldsstrømme. Nøgletallene fra de ovennævnte rapporter afspejler følgende processer:

- Energi- og materialeforbrug ved transport og behandling/oparbejdning af den pågældende affaldsfraktion
- Klimagevinsterne forbundet med, at affaldsmaterialerne kan erstatte jomfruelige råvarer (fx nyt træ) inkl. disses transport.

Derudover skal det tilføjes, at selve klimabelastningen fra produktionen af de produkter/materialer, som affaldet består af, ses det bort fra (dvs. råvareudvinding, produktion, transport og brugsfase). Dette kaldes "zero-burden" tilgang, og muliggør, at forskellige behandlingsmetoder og -scenarier kan sammenlignes uden at tage stilling til alt det, der foregår inden, det pågældende materiale blev til affald. Helt konkret betyder dette, at klimabelastningerne i modulerne A1-A3 for scenarier for behandling af byggeaffald svarer til 0.

Når det ikke har været muligt at finde repræsentative miljødata i Damgaard (2020), Møller et al. (2012) og Butera (2019), er data fra EPD'er eller generiske databaser (især ÖkobaDat) blevet brugt (hvor tilgængelige). Tilgangen til modellering har været som beskrevet i Tabel 2:

Tabel 2 Tilgang til modellering af genbrug af byggeaffald fra nedrivninger ved brug af miljødata fra EPD'er eller generiske databaser. Et nul betyder at klimapåvirkningen er nul (jf. beregningsreglerne beskrevet ovenfor).

	A1-A3	C3-C4	D
Konventionel affaldsbehandling	0	Fra EPD/Ökobau	Fra EPD/Ökobau
Direkte genbrug	0	0	-(fase A1-A3 fra EPD/Ökobau)



Som vist i Tabel 2, indebærer brug af data fra EPD'er eller generiske databaser, ligesom Ökobaumat, en simplere tilgang ift. den grundigere modellering foretaget af Damgaard (2020), Møller et al. (2012) og Butera (2019); i modulerne C3-C4 er eventuel transport, oparbejdning og spild ikke medregnet.

3.1.2. Nybyggeri med genbrugte byggevarer

Hovedkilden Andersen et al. (2019) omfatter ni genbrugte materialer (nemlig murværk, beton, stål, træ, vinduer, tagsten, ventilationsrør, aluminiumsplader, og dør). Resultaterne i publikationen stammer fra modellering af et cirkulært scenarie holdt op imod et konventionelt scenarie. Modulerne A1-A3 repræsenterer produktfasen inkl. transport, spild og bortskaffelse af spild; i denne fase medtages også eventuel oparbejdning af genbrugsmaterialet til en kvalitet tilsvarende et nyt materiales kvalitet. Modulerne C3-C4 repræsenterer affaldsbehandling og bortskaffelse af det brugte materiale. Modul D repræsenterer potentialet ved at genbruge, genanvende eller nyttiggøre det specifikke materiale ved endt levetid i en ny livscyklus. Modul D for nybyggeri med genbrugte byggevarer er dermed ikke en realiseret miljøgevinst, men nærmere et scenarie for fremtiden, da det ikke er sikkert, at dette potentiale rent faktisk bliver indfriet pga. bygningers lange levetid. Specifikt for byggevarer, der ved endt levetid sendes til forbrænding (fx træ, herunder også træ i vinduer, døre mm.), gælder følgende: der er ikke indregnet potentiale for energiudnyttelse ved afbrænding af træet i fase D, da det ikke vides, om det vil være en reel praksis så mange år ude i fremtiden grundet udvikling i teknologi til at producere vedvarende energi (som beskrevet i Andersen et al., 2019).

En anden kilde, der er blevet anvendt, er Butera (2019), som har undersøgt klimapåvirkningerne fra produktion af jomfrueligt og genanvendt tilslag, og hvor modulerne omfatter de samme processer, med lignende detaljeringsgrad som i Andersen et al. (2019).

Når det ikke har været muligt at finde repræsentative miljødata i Andersen et al. (2019), er data fra EPD'er eller generiske databaser (især Ökobaumat) blevet brugt (hvor tilgængelige). Tilgangen til modellering har været som beskrevet i Tabel 3:

Tabel 3 Tilgang til modellering af genbrugte byggevarer brugt i nybyggeri ved brug af miljødata fra EPD'er eller generiske databaser. Et nul betyder at klimapåvirkningen er nul (jf. beregningsreglerne beskrevet ovenfor).

	A1-A3	C3-C4	D
Konventionel byggevare	Fra EPD/Ökobau	Fra EPD/Ökobau	Fra EPD/Ökobau
Genbrugt byggevare	0	Fra EPD/Ökobau	0

Som vist i Tabel 3, indebærer brug af data fra EPD'er eller generiske databaser, ligesom Ökobaumat, indebærer en simplere tilgang ift. den grundigere modellering foretaget af Andersen et al. (2019): I modulerne A1-A3 er evt. transport, oparbejdning og spild ikke medregnet. Som beskrevet ovenfor er potentialet i modul D fra en genbrugt byggevare lig nul, da genbrugsmaterialet allerede har fået gevinsten af at erstatte jomfrueligt materiale én gang, altså første gang det blev genbrugt.



3.1.3. Nybyggeri med cirkulære eller grønnere byggevarer

Denne kategori omfatter gængse byggematerialer på det danske marked, bl.a. beton, tagsten, mursten, gips- og spånplader samt tagpap, og sammenligner klimabelastningen fra konventionelle produkter kontra tilsvarende cirkulære eller grønnere byggematerialer, som også findes på det danske marked. Helt konkret drejer det sig om beton baseret på lav-CO₂ cement, biogas-baserede tegl, samt varer med genanvendt indhold. En vigtig kilde her er Andersen et al. (2019), som omfatter 4 materialer med genanvendt indhold (nemlig beton, gips- og spånplader samt tagpap). Derudover er data fra EPD'er samt generiske LCA-databaser (fx Ökobaudat) blevet anvendt ved modellering af specifikke, grønnere jomfruelige byggevarer (beton baseret på lav-CO₂ cement, biogas-baserede mursten og tagsten). Tilgangen til modellering af disse har været som beskrevet i Tabel 4:

Tabel 4 Tilgang til modellering af alternative jomfruelige byggevarer brugt i nybyggeri ved brug af miljødata fra EPD'er eller generiske databaser.

	A1-A3	C3-C4	D
Konventionel byggevare	Fra EPD/Ökobau	Fra EPD/Ökobau	Fra EPD/Ökobau
Grønnere byggevare	Fra EPD/Ökobau	Fra EPD/Ökobau	Fra EPD/Ökobau

4. Metode til vurdering af det overordnede implementeringspotentiale

4.1. Baggrund og problemstilling

De klimabesparelspotentialer, beregnet som beskrevet ovenfor, repræsenterer et teoretisk besparelspotentiale, bl.a. under den forudsætning af, at der er funktionel ækvivalens mellem de sammenlignede scenarier (dvs. hvert cirkulært scenarie med dets respektive reference-scenarie): dette betyder, at de materialer, der sammenlignes i de to respektive scenarier, skal kunne levere den samme funktion samt opfylde de samme krav (statik, fugt, brand, lyd, varme, levetid, vedligehold mm.). Dette er dog ikke nødvendigvis tilfældet. Derudover kan det være nogle praktiske udfordringer ved håndtering af den pågældende byggevare eller affaldsstrøm, som gør processen mere kompleks og besværlig (fx skal det skæres i betonelementer for at skille dem ad, bore huller for at muliggøre håndtering og transport, pakke en lastbil med gamle, forskellige betonelementer er sværere end med nyproducerede, ens betonelementer mm.). Til sidst er nogle byggevarer/-materialer mere almindelige end andre, og derfor har disse større skalerbarhed end andre. Derfor repræsenterer de LCA-baserede klimabesparelser, beregnet som beskrevet i afsnit 3, kun nogle teoretiske potentialer, som ikke altid har samme mulighed for at opnås. Dette betyder, at det i virkeligheden er begrænset grundlag for at identificere hvilke tiltag og materialer, der skal prioriteres, når nedrivningsdelen af en renoveringsopgave skal planlægges og udbydes, eller når nybygsdelen af en renoveringsopgave skal planlægges, og materialerne skal vælges.



4.2. Metodebeskrivelse

For at kunne identificere de tiltag, der har det største overordnede potentiale for at blive implementeret, og samtidigt der giver de største klimabesparelser, er følgende metode blevet udviklet.

Følgende tre kriterier er blevet introduceret:

- Tilstand: er det sandsynligt at det brugte produkt har funktionel ækvivalens med et nyt produkt? Denne parameter gælder kun for de tiltag, der indebærer direkte genbrug (dvs. ikke nybyggeri med grønnere byggevarer eller byggevarer med genanvendt indhold).
- Almindelighed: er det et almindeligt byggeprodukt?
- Komplexitet: er det en kompleks proces at håndtere den pågældende affaldsstrøm med henblik på genbrug/den pågældende genbrugte byggevare?

De tre ovennævnte parametre vurderes på en kvalitativ måde, dog vha. en kvantitativ skala, som er beskrevet i Tabel 5.

Tabel 5 Beskrivelse af den kvantitativ skala, som bruges ifm. den kvalitative vurdering af det overordnede implementeringspotentiale

	Lav – 10%	Mellem – 50%	Høj – 90%
Tilstand (T)	Det er ikke sandsynligt at det brugte produkt har funktionel ækvivalens med et tilsvarende nyt produkt		Det er meget sandsynligt at det brugte produkt har funktionel ækvivalens med et tilsvarende nyt produkt
Almindelighed (A)	Det er ikke et almindeligt byggeprodukt/ Findes almindeligt ikke som en del af byggeaffald		Det er et meget almindeligt byggeprodukt/ Findes meget almindeligt som en del af byggeaffald
Kompleksitet (K)	Det er en kompleks proces at håndtere det pågældende affald med henblik på genbrug/at bygge med den pågældende genbrugte byggevare		Det er ikke nogen kompleks proces at håndtere det pågældende affald med henblik på genbrug/at bygge med den pågældende genbrugte byggevare



Det overordnede implementeringspotentiale beregnes som beskrevet i Tabel 6:

Tabel 6 Beskrivelse af metoden for beregning af det overordnede implementeringspotentiale

Type af tiltag	LCA Potentiale (Klimabesparelse) [%]	Tilstand [%]	Almindelighed [%]	Kompleksitet [%]	Overordnet implemente- ringspotentiale [%]
Cirkulær håndtering af byggevarer efter nedrivning eller byggeaffald	LCA	T	A	K	$LCA \cdot T \cdot A \cdot K$
Genbrugte byggematerialer i nybyggeri	LCA	T	A	K	$LCA \cdot T \cdot A \cdot K$
Cirkulære eller grønnere byggematerialer i nybyggeri	LCA	- ^a	A	K	$LCA \cdot A \cdot K$

^a Parametre er ikke relevant her, da det er tale om jomfruelige byggematerialer (evt. med indhold af sekundære råvarer vha. en genanvendelsesproces).

Ved at introducere de tre foreslåede parametre er det derfor muligt at give en mere konkret, overordnet vurdering af, hvor de største potentialer ligger blandt de tiltag, der er teoretisk muligt at implementere ved renovering af byggeri, og som teoretisk set kan give betydelige klimabesparelser.

5. Potentialer for de modellerede tiltag

De tiltag, der er blevet modelleret, er listet i Tabel 7, Tabel 8 og Tabel 9. Listen tager udgangspunkt i de materialer/tiltag, der er omfattet af de relevante kilder (især Andersen et al. (2019), Butera (2019), Møller et al. (2012) og Damgaard (2020)), samt i de cirkulære tiltag, som kan være relevante ifm. de renoveringsprojekter, som JJW beskæftiger sig med. Tabellerne omfatter 109 cirkulære tiltag i alt, delt op mellem cirkulær håndtering af byggevarer efter nedrivning eller byggeaffald (50 cirkulære tiltag), nybyggeri med genbrugte byggevarer (52 cirkulære tiltag), nybyggeri med cirkulære eller grønnere byggevarer (7 cirkulære tiltag).

Tabellerne indeholder også en opsummering af de estimerede, potentielle klimaeffekter, som er knyttet til hvert cirkulært tiltag, og som er beregnet som beskrevet i afsnit 3⁹, vurderingen ift. de tre yderligere parametre, beskrevet i Tabel 5, samt de overordnede implementeringspotentialer, beregnet som beskrevet i afsnit 4.2. De beregnede potentielle klimapåvirkninger skal forstås som *estimer*, da både beregninger og de anvendte miljødata er præget af en betydelig usikkerhed.

⁹ Her repræsenterer negative klimabesparelser en klimabelastning (dvs. udledt CO₂), mens positive klimabesparelser repræsenterer en klimagevinst (dvs. sparet CO₂).



Tabel 7 Cirkulære tiltag indenfor håndtering af byggevarer efter nedrivning eller byggeaffald

#	Materiale	Cirkulær håndtering af byggevarer efter nedrivning eller byggeaffald	Konventionel behandling af byggevarer efter nedrivning byggeaffald	LCA Potentiale (Klimabesparelse) [%]	Tilstand [%]	Almindelighed [%]	Kompleksitet [%]	Overordnet implementeringspotentiale [%]
1	SKIFER	Direkte genbrug af skifer	Nyttiggørelse af knust natursten som vejfyld	22476%	90%	90%	90%	16385%
2	MARMOR	Direkte genbrug af marmor	Nyttiggørelse af knust natursten som vejfyld	19465%	90%	90%	90%	14190%
3	SANITETKERAMIK	Direkte genbrug af sanitetkeramik produkter	Sanitetkeramik til deponi	17223%	90%	90%	90%	12555%
4	TAGSTEN	Genbrug af tagsten	Nyttiggørelse af knust tagsten som vejfyld	15404%	90%	90%	90%	11229%
5	KALKSTEN	Direkte genbrug af kalksten	Nyttiggørelse af knust natursten som vejfyld	5582%	90%	90%	90%	4069%
6	LETBETONBLOKKER	Direkte genbrug af letbetonblokker	Deponi af letbetonblokker	4917%	90%	90%	90%	3584%
7	BETONFLISER	Genbrug af betonfliser	Nyttiggørelse som vejfyld	3551%	90%	90%	90%	2589%
8	BETONFLISER	Genbrug af betonfliser	Genanvendelse som tilslag i ny beton - substitution af grusgravsmaterialet fra Danmark - Lav miljøklasse betonaflald bruges i ny lav miljøklasse beton	2306%	90%	90%	90%	1681%
9	GRANITSTEN	Direkte genbrug af granitsten	Nyttiggørelse af knust natursten som vejfyld	1331%	90%	90%	90%	970%
10	MURSTEN	Genbrug af mursten - substitution af formurmursten	Nyttiggørelse af knust mursten som vejfyld	2405%	50%	90%	50%	541%
11	MURSTEN	Genbrug af mursten - substitution af bagmurmursten	Nyttiggørelse af knust mursten som vejfyld	1272%	90%	90%	50%	515%
12	STENULD	Direkte genbrug af stenudd	Genanvendelse af stenudd i ny produktion	6359%	10%	90%	90%	515%
13	KNUST BETON	Genanvendelse som tilslag i ny beton - substitution af granit fra Norge - Højstyrke betonaflald bruges i ny højstyrke beton	Genanvendelse som tilslag i ny beton - substitution af grusgravsmaterialet fra Danmark - Lav miljøklasse betonaflald bruges i ny lav miljøklasse beton	1094%	50%	90%	90%	443%



#	Materiale	Cirkulær håndtering af byggevarer efter nedrivning eller byggeaffald	Konventionel behandling af byggevarer efter nedrivning byggeaffald	LCA Potentiale (Klimabesparelse) [%]	Tilstand [%]	Almindelighed [%]	Kompleksitet [%]	Overordnet implementeringspotentiale [%]
14	VINDUER	Direkte genbrug af alu 2-lags vinduer	Træ 3-lags vinduer til genanvendelse	1054%	90%	90%	50%	427%
15	GLASULD	Direkte genbrug af glasuld	Glasuld til deponi	5184%	10%	90%	90%	420%
16	KNUST BETON	Genanvendelse som tilslag i ny beton - substitution af granit fra Norge - Højstyrke betonaflald bruges i ny højstyrke beton	Nyttiggørelse som vejfyld	1655%	50%	90%	50%	372%
17	STENULD	Direkte genbrug af stenuld	Stenuld til deponi	4185%	10%	90%	90%	339%
18	VINDUER	Direkte genbrug af træ 3-lags vinduer	Træ 2-lags vinduer til genanvendelse	832%	90%	90%	50%	337%
19	VINDUER	Direkte genbrug af træ 3-lags vinduer	Træ 3-lags vinduer til genanvendelse	751%	90%	90%	50%	304%
20	ARMATURER I RUSTFRIT STÅL (vandhane, bruser)	Direkte genbrug af armatur til vandhane - køkken - rustfrit stål (1.65kg)	Armatur til vandhane til genanvendelse - køkken - rustfrit stål (1.65kg)	407%	90%	90%	90%	297%
21	ARMATURER I RUSTFRIT STÅL (vandhane, bruser)	Direkte genbrug af armatur til vandhane - badeværelse - rustfrit stål (1.32kg)	Armatur til vandhane til genanvendelse - badeværelse - rustfrit stål (1.32kg)	352%	90%	90%	90%	257%
22	DØRE	Direkte genbrug af indvendige døre i træ med rude	Indvendige døre i træ med rude til forbrænding - Danmark	271%	90%	90%	90%	197%
23	DØRE	Direkte genbrug af indvendige døre i træ	Indvendige døre i træ til forbrænding - Danmark	269%	90%	90%	90%	196%
24	BETONELEMENTER	Genbrug af betonelementer	Nyttiggørelse som vejfyld	3551%	50%	90%	10%	160%
25	PVC	Direkte genbrug af hård PVC produkter	Hård PVC til genanvendelse	204%	90%	90%	90%	148%
26	ARMATURER I RUSTFRIT STÅL (vandhane, bruser)	Direkte genbrug af armatur til bruser - rustfrit stål (17.3kg)	Armatur til bruser til genanvendelse - rustfrit stål (17.3kg)	197%	90%	90%	90%	144%
27	TRÆ	Genbrug af træ	Forbrænding af træ (Erstatte Dansk el mix + varme fra EU fjernvarmemix)	301%	50%	90%	90%	122%



#	Materiale	Cirkulær håndtering af byggevarer efter nedrivning eller byggeaffald	Konventionel behandling af byggevarer efter nedrivning byggeaffald	LCA Potentiale (Klimabesparelse) [%]	Tilstand [%]	Almindelighed [%]	Kompleksitet [%]	Overordnet implementeringspotentiale [%]
28	STÅLPROFILER	Direkte genbrug af stålprofiler	Stålprofiler til genanvendelse	164%	90%	90%	90%	119%
29	STENULD	Genanvendelse af stenuld i ny produktion	Stenuld til deponi	163%	90%	90%	90%	119%
30	STEN	Direkte genbrug af marksten	Nyttiggørelse af knust natursten som vejfyld	145%	90%	90%	90%	105%
31	BETONELEMENTER	Genbrug af betonelementer	Genanvendelse som tilslag i ny beton - substitution af grusgravsmaterialet fra Danmark - Lav miljøklasse betonaflald bruges i ny lav miljøklasse beton	2306%	50%	90%	10%	104%
32	STÅL	Direkte genbrug af galvaniseret stål produkter	Galvaniseret stål til genanvendelse	92%	90%	90%	90%	67%
33	VINDUER	Direkte genbrug af alu 3-lags vinduer	Træ 2-lags vinduer til genanvendelse	1438%	10%	90%	50%	65%
34	VINDUER	Direkte genbrug af alu 3-lags vinduer	Træ 3-lags vinduer til genanvendelse	1289%	10%	90%	50%	58%
35	JERN/STÅL	Direkte genbrug af blandede jern/stål produkter	Blandet jern/stål til genanvendelse	77%	90%	90%	90%	56%
36	SOLCELLER	Genbrug af solceller	Bortskaffelse af solceller	667%	90%	10%	90%	54%
37	VINDUER	Direkte genbrug af alu 2-lags vinduer	Træ 2-lags vinduer til genanvendelse	1173%	10%	90%	50%	53%
38	STÅLPLADER	Direkte genbrug af stålplader	Stålplader til genanvendelse	36%	90%	90%	90%	26%
39	VINDUER	Direkte genbrug af træ 2-lags vinduer	Træ 2-lags vinduer til genanvendelse	567%	10%	90%	50%	26%
40	VINDUER	Direkte genbrug af træ 2-lags vinduer	Træ 3-lags vinduer til genanvendelse	515%	10%	90%	50%	23%
41	ALUMINIUM	Direkte genbrug af aluminium produkter	Aluminium til genanvendelse	27%	90%	90%	90%	19%
42	VINDUER	Direkte genbrug af alu 3-lags vinduer	Alu 3-lags vinduer til genanvendelse	319%	10%	90%	50%	14%
43	VINDUER	Direkte genbrug af alu 3-lags	Alu 2-lags vinduer til genanvendelse	303%	10%	90%	50%	14%



#	Materiale	Cirkulær håndtering af byggevarer efter nedrivning eller byggeaffald	Konventionel behandling af byggevarer efter nedrivning byggeaffald	LCA Potentiale (Klimabesparelse) [%]	Tilstand [%]	Almindelighed [%]	Kompleksitet [%]	Overordnet implementeringspotentiale [%]
		vinduer	se					
44	ZINK	Direkte genbrug af zink produkter	Zink til genanvendelse	15%	90%	90%	90%	11%
45	VINDUER	Direkte genbrug af alu 2-lags vinduer	Alu 3-lags vinduer til genanvendelse	236%	10%	90%	50%	11%
46	VINDUER	Direkte genbrug af træ 3-lags vinduer	Alu 3-lags vinduer til genanvendelse	129%	10%	90%	90%	10%
47	VINDUER	Direkte genbrug af alu 2-lags vinduer	Alu 2-lags vinduer til genanvendelse	223%	10%	90%	50%	10%
48	BETONELEMENTER	Genbrug af betonelementer	Genanvendelse som tilslag i ny beton - substitution af granit fra Norge - Højstyrke betonaflald bruges i ny højstyrke beton	122%	50%	90%	10%	5%
49	VINDUER	Direkte genbrug af træ 3-lags vinduer	Alu 2-lags vinduer til genanvendelse	121%	10%	90%	50%	5%
50	VINDUER	Direkte genbrug af træ 2-lags vinduer	Alu 3-lags vinduer til genanvendelse	46%	10%	90%	50%	2%

Tabel 8 Cirkulære tiltag indenfor nybyggeri med genbrugte byggevarer.

#	Materiale	Genbrugte byggematerialer i nybyggeri	Konventionelle byggematerialer	LCA Potentiale (Klimabesparelse) [%]	Tilstand [%]	Almindelighed [%]	Kompleksitet [%]	Overordnet implementeringspotentiale [%]
1	ARMATURER I RUSTFRIT STÅL (vandhane, bruser)	Genbrugt armatur til vandhane - køkken - rustfrit stål (1.65kg)	Konventionelt armatur til vandhane - køkken - rustfrit stål (1.65kg)	100%	90%	90%	90%	73%
2		Genbrugt armatur til vandhane - badeværelse - rustfrit stål (1.32kg)	Konventionelt armatur til vandhane - badeværelse - rustfrit stål (1.32kg)	100%	90%	90%	90%	73%
3		Genbrugt armatur til bruser - rustfrit stål (17.3kg)	Konventionelt armatur til bruser - rustfrit stål (17.3kg)	100%	90%	90%	90%	73%



#	Materiale	Genbrugte byggematerialer i nybyggeri	Konventionelle byggematerialer	LCA Potentiale (Klimabesparelse) [%]	Tilstand [%]	Almindelighed [%]	Kompleksitet [%]	Overordnet implementeringspotentiale [%]
4	ZINK	Genbrugte zink produkter	Konventionelle zink produkter	100%	90%	90%	90%	73%
5	FORSKELLIGE STÅL PRODUKTER	Genbrugte rustfri stålplader	Konventionelle rustfri stålplader	100%	90%	90%	90%	73%
6		Genbrugte stålplader	Konventionelle stålplader	100%	90%	90%	90%	73%
7		Genbrugte jern/stål produkter	Konventionelle jern/stål produkter	100%	90%	90%	90%	73%
8		Genbrugte stålprodukter	Konventionelle stålprodukter	100%	90%	90%	90%	73%
9		Genbrugte galvaniseret stålprodukter	Konventionelle galvaniseret stålprodukter	100%	90%	90%	90%	73%
10	SKIFER	Direkte genbrug af skifer	Jomfruelig skifer	99%	90%	90%	90%	72%
11	MARMOR	Direkte genbrug af marmor	Jomfruelig marmor	98%	90%	90%	90%	72%
12	TAGSTEN	Genbrugstagsten	Konventionelle tagsten	98%	90%	90%	90%	71%
13	UGLASEREDE KERA-MIKFLISER	Genbrugte uglaserede keramik fliser	Konventionelle uglaserede keramik fliser	98%	90%	90%	90%	71%
14	BETONFLISER	Genbrugte betonfliser	Konventionel beton 25 MPa	96%	90%	90%	90%	70%
15	KALKSTEN	Direkte genbrug af kalksten	Jomfruelig kalksten	88%	90%	90%	90%	64%
16	ALUMINIUM	Genbrugte aluminiumsplader som beklædning af facade eller tag	Konventionelle aluminiumsplader	81%	90%	90%	90%	59%
17	INDVENDIGE DØRE	Genbrugte indvendige døre	Konventionelle indvendige døre	80%	90%	90%	90%	58%
18	GRANITSTEN	Direkte genbrug af granitsten	Jomfruelig granitsten	79%	90%	90%	90%	58%
19	STÅLPROFILER	Genbrugte stålprofiler	Konventionelle stålprofiler	78%	90%	90%	90%	57%
20	GULVBRÆDDER	Genbrugte gulvbrædder	Konventionelt trægulv 22 mm tykkelse	78%	90%	90%	90%	56%
21	MURSTEN	Murværk af genbrugsmursten (inkl. kalkmørtel)	Konventionelt murværk	77%	90%	90%	90%	56%
22	SANITETKERAMIK	Genbrugte sanitetkeramik produkter	Konventionelle sanitetkeramik produkter	99%	50%	90%	90%	40%
23	BÆRENDE TRÆKONSTRUKTION	Genbrugte bærende træbjælker og -stolper	Konventionelt træ	77%	90%	90%	50%	31%



#	Materiale	Genbrugte byggematerialer i nybyggeri	Konventionelle byggematerialer	LCA Potentiale (Klimabesparelse) [%]	Tilstand [%]	Almindelighed [%]	Kompleksitet [%]	Overordnet implementeringspotentiale [%]
24	INDVENDIGE DØRE	Genbrugte indvendige døre i træ med rude	Konventionelle indvendige døre i træ med termorude	41%	90%	90%	90%	30%
25	MARKSTEN	Direkte genbrug af marksten	Jomfruelig marksten	25%	90%	90%	90%	18%
26	SPÅNPLADE	Genbrugt spånplade	Konventionel spånplade	19%	90%	90%	90%	14%
27	SIKKERHEDSGLAS	Genbrugt sikkerhedsglas	Konventionelt sikkerhedsglas	99%	90%	10%	90%	8%
28	KASSEVINDUER	Kassevinduer af genbrugte termoruder, træ	Konventionelt aluvindue, energirude, 3-lags	98%	90%	90%	10%	8%
29		Kassevinduer af genbrugte termoruder, træ	Konventionelt træ/aluvindue, energirude, 3-lags	97%	90%	90%	10%	8%
30		Kassevinduer af genbrugte termoruder, træ	Konventionelt trævindue, energirude, 3-lags	97%	90%	90%	10%	8%
31		Kassevinduer af genbrugte termoruder, træ	Konventionelt aluvindue, termorude, 2-lags	97%	90%	90%	10%	8%
32		Kassevinduer af genbrugte termoruder, træ	Konventionelt træ/aluvindue, termorude, 2-lags	96%	90%	90%	10%	8%
33	BETONELEMENTER	Genbrugte betonelementer og genbrugte søjler/bjælker af beton	Konventionel beton 25 MPa	96%	90%	90%	10%	8%
34	KASSEVINDUER	Kassevinduer af genbrugte termoruder, træ	Konventionelt trævindue, termorude, 2-lags	95%	90%	90%	10%	8%
35	TILSLAG	Knust byggeaffald som tilslag	Jomfruelig knust sten fra fx Norge	14%	90%	90%	50%	6%
36	MURVÆRKSELEMENT	Genbrugt murværkselement	Konventionelt murværk	61%	90%	90%	10%	5%
37	TRÆ ELLER TRÆ-/ALUVINDUER	Genbrugt trævindue, uden oparbejdning	Konventionelt aluvindue, energirude, 3-lags	99%	10%	90%	50%	4%
38		Genbrugt træ-/aluvindue, uden oparbejdning	Konventionelt aluvindue, energirude, 3-lags	99%	10%	90%	50%	4%
39		Genbrugt trævindue, uden oparbejdning	Konventionelt træ/aluvindue, energirude, 3-lags	99%	10%	90%	50%	4%
40		Genbrugt træ-/aluvindue, uden oparbejdning	Konventionelt træ/aluvindue, energirude, 3-lags	99%	10%	90%	50%	4%
41		Genbrugt trævindue, uden oparbejdning	Konventionelt trævindue, energirude, 3-lags	99%	10%	90%	50%	4%



#	Materiale	Genbrugte byggematerialer i nybyggeri	Konventionelle byggematerialer	LCA Potentiale (Klimabesparelse) [%]	Tilstand [%]	Almindelighed [%]	Kompleksitet [%]	Overordnet implementeringspotentiale [%]
		oparbejdning	rude, 3-lags					
42		Genbrugt træ-/aluvindue, uden oparbejdning	Konventionelt trævindue, energirude, 3-lags	99%	10%	90%	50%	4%
43		Genbrugt trævindue, uden oparbejdning	Konventionelt aluvindue, termorude, 2-lags	99%	10%	90%	50%	4%
44		Genbrugt træ-/aluvindue, uden oparbejdning	Konventionelt aluvindue, termorude, 2-lags	99%	10%	90%	50%	4%
45		Genbrugt trævindue, uden oparbejdning	Konventionelt træ/aluvindue, termorude, 2-lags	99%	10%	90%	50%	4%
46		Genbrugt træ-/aluvindue, uden oparbejdning	Konventionelt træ/aluvindue, termorude, 2-lags	99%	10%	90%	50%	4%
47		Genbrugt trævindue, uden oparbejdning	Konventionelt trævindue, energirude, 3-lags	98%	10%	90%	50%	4%
48		Genbrugt træ-/aluvindue, uden oparbejdning	Konventionelt trævindue, energirude, 3-lags	98%	10%	90%	50%	4%
49	GULVVARMERØR	Genbrugte gulvarmerør PEX	Konventionelle gulvarmerør PEX	43%	90%	10%	90%	3%
50	SOLCELLER	Genbrugte solceller	Konventionelle solceller	92%	10%	10%	90%	1%
51	GLASKERAMIK	Facadebeklædning af glaske-ramik	Konventionel glasfacade, 21 mm	-46%	90%	10%	10%	0%
52	TILSLAG	Knust byggeaffald som vejfyld	Jomfrueligt grusgravsmateriale fra fx Danmark	-222%	90%	90%	90%	-162%

Tabel 9 Cirkulære tiltag indenfor nybyggeri med cirkulære eller grønnere byggevarer.

#	Materiale	Cirkulære eller grønnere byggematerialer i nybyggeri	Konventionelle byggematerialer	LCA Potentiale (Klimabesparelse) [%]	Almindelighed [%]	Kompleksitet [%]	Overordnet implementeringspotentiale [%]
1	TAGPAP	Tagpap med 10% genanvendt tagpap	Konventionelt tagpap	69%	90%	90%	56%
2	TAGSTEN	Biobaserede tagsten	Konventionelle tagsten	57%	90%	90%	46%
3	MURSTEN	Biobaserede mursten	Konventionelle mursten	55%	90%	90%	45%
4	BETON	Grøn beton baseret på FUTURECEM 25	Konventionel beton 25 MPa	14%	90%	90%	11%



#	Materiale	Cirkulære eller grønnere byggematerialer i nybyggeri	Konventionelle byggematerialer	LCA Potentiale (Klimabesparelse) [%]	Almindelighed [%]	Kompleksitet [%]	Overordnet implementeringspotentiale [%]
		MPa					
5	GIPS	Gipsplader med 25 % genanvendt gips	Konventionel gips	10%	90%	90%	8%
6	SPÅNPLADE	Spånplade med 70 % genanvendt træ	Konventionel spånplade	9%	90%	90%	8%
7	BETON	Beton med 20 % genanvendt tilslag	Konventionel beton 25 MPa	0%	90%	50%	0%



TEKNOLOGISK
INSTITUT