



# Ressourceeffektive anlægs- konstruktioner

LCA-undersøgelse af tilslagsproduktion

14. oktober 2019



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**

# Ressourceeffektive anlægs- konstruktioner

LCA-undersøgelse af tilslagsproduktion

---

**Udarbejdet af:**

Teknologisk Institut  
Gregersensvej 4  
2630 Taastrup  
Byggeri og Anlæg

**Kvalitetssikring:**

Sagsansvarlig: Stefania Butera, tlf. 7220 1951, stbu@teknologisk.dk  
Godkendt af: Henrik Fred Larsen, tlf. 7220 3674, hfl@teknologisk.dk

14. oktober 2019

Resultater af Institutets 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. Institutets navn eller logo eller medarbejderens 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 .....	5
2.1.	Afgrænsninger .....	5
3.	Metodebeskrivelse .....	6
3.1.	Scenariebeskrivelse .....	7
3.1.1.	Jomfrueligt tilslag: Granit fra Norge (scenarie 1).....	7
3.1.2.	Jomfrueligt tilslag: Grusgravsmaterialer fra Danmark .....	7
3.1.3.	Nedknust procestilslag: Stationært knuseanlæg (scenarie 3) .....	7
3.1.4.	Nedknust procestilslag: Mobilt knuseanlæg – Nulspildsprojekt (scenarie 4).....	8
4.	Resultater .....	10
4.1.	Scenarie 1 - Jomfrueligt tilslag: Granit fra Norge .....	10
4.2.	Scenarie 2 - Jomfrueligt tilslag: Grusgravsmaterialer fra Danmark .....	10
4.3.	Scenarie 3 - Nedknust procestilslag: Stationært knuseanlæg.....	11
4.4.	Scenarie 4 - Nedknust procestilslag: Mobilt knuseanlæg - Nulspildsprojekt .....	12
4.5.	Sammenligning af scenarier .....	14
5.	Konklusioner .....	16
6.	Bilag 1: Resultater .....	17
7.	Bilag 2: Anvendte datasæt .....	22



## 1. Forord

Denne livscyklusvurdering (LCA) er udarbejdet af Teknologisk Institut som del af instituttets resultatkontrakt om ressourceeffektive anlægskonstruktioner (RK E6).

LCA'en skal belyse de potentielle miljøpåvirkninger forbundet med produktion af groft tilslag til anvendelse i betonproduktion i en række udvalgte scenarier, der tager udgangspunkt i danske forhold. LCA'en omfatter i alt fire overordnede scenarier, hvor der i to scenarier produceres groft tilslag med udgangspunkt i jomfruelige materialer (granit og grusgravsmateriale), og i to scenarier produceres groft tilslag på basis af genanvendt betonaffald. Hvor de to førstnævnte scenarier beskriver tilslagsproduktion, som den finder sted i dag, repræsenterer scenarierne, hvor der anvendes genanvendt betonaffald, en potentiel fremtidig produktion af tilslagsmateriale.

Når man anvender rapportens konklusioner, er det vigtigt at være opmærksom på, at de fire scenarier ikke alle er direkte sammenlignelige. Reelt anvendes granit og grusgravsmateriale som tilslagsmateriale i forskellige betontyper. Granit bliver f.eks. kun brugt som tilslag i beton i de mest aggressive miljøklasser, hvor grusgravsmateriale ikke er egnet. Ligeledes må knust betonaffald kun bruges som sekundært tilslag i ny beton af tilsvarende eller lavere miljøklasse. De er derfor vigtigt at være opmærksom på rapportens forudsætninger, når man bruger rapportens konklusioner.

Rapporten er udarbejdet i perioden 2018-2019.



## 2. Baggrund og formål

Tilslaget til brug i produktion af beton kan stamme fra forskellige kilder og omfatter bl.a. jomfrueligt grusgravsmateriale, jomfruelig knust sten og genanvendt knust beton med forskellig oprindelse. Mens jomfrueligt grusgravsmateriale er lokalt tilgængeligt i Danmark, importeres knust sten i form af granit typisk fra Norge for de anvendelser, der kræver høj-styrke tilslag. Genanvendt knust beton kan stamme fra både kildesorteret byggeaffald og fra produktionsspild i betonvirksomheder.

Formålet med denne LCA er at undersøge de potentielle miljøpåvirkningerne forbundet med produktion og transport til anvendelsessted af 1 t groft tilslag i følgende 4 scenarier:

1. Jomfrueligt tilslag: Granit fra Norge
2. Jomfrueligt tilslag: Grusgravsmaterialer fra Danmark
3. Nedknust procestilslag (genanvendt beton): Stationært knuseanlæg
4. Nedknust procestilslag (genanvendt beton): Mobilt knuseanlæg - Nulspildsprojekt

Den anvendte funktionelle enhed er derfor produktionen af 1 t<sub>GROFT TILSLAG</sub>. Groft tilslag defineres som alt tilslag med kornstørrelse over 4 mm.

### 2.1. Afgrænsninger

LCA'en forudsætter, at de 4 scenarier er sammenlignelige, dvs. de leverer produkter med den samme funktion og kvalitet (er funktionelt ækvivalente). Det skal dog bemærkes, at grusgravsmateriale og granit i virkeligheden ikke bliver brugt til fuldstændigt samme funktion. Granit bliver kun brugt som tilslag i beton i de mest aggressive miljøklasser, hvor grusgravsmateriale ikke er egnet. Ligeledes kan knust betonaffald kun bruges som sekundært tilslag i ny beton af tilsvarende eller lavere miljøklasse, dvs. at betonaffald fra moderat miljøklasse ikke kan anvendes som tilslag for en beton i aggressiv eller ekstra aggressiv miljøklasse.



### 3. Metodebeskrivelse

*LCA-software/værktøj:* Miljøpåvirkningen forbundet med produktionen af 1 t groft tilslag er beregnet gennem en livscyklusvurdering (LCA) vha. GaBi-værktøjet (Gabi 8.7.1).

*Database:* De nødvendige LCA-datasæt er blevet hentet fra GaBi-databasen (Database 2019 edition).

*LCIA-metode (life cycle impact assessment):* Vurdering af miljøpåvirkningen er blevet udført på basis af ILCD/PEF metoden (version 1.09), som er den af EU anbefalede metode inklusive PEF (Product Environmental Footprint) videreudviklingen. Denne metode er nyligt inddraget i den kommende reviderede udgave af EN-standarden for miljøvaredeklarationer på byggevarer, EN 15804. Metoden omfatter de 16 miljøpåvirkningskategorier, som er listet i Tabel 1.

Tabel 1 Liste over miljøpåvirkningskategorier anvendt ifm. LCA'en i dette projekt

Kategori	Engelsk navn	Enhed
Forsuring	Acidification midpoint	[Mole of H+ eq.]
Global opvarmning, ekskl. biogent kulstof	Climate change midpoint, excl. biogenic carbon	[kg CO2-eq.]
Global opvarmning, inkl. biogent kulstof	Climate change midpoint, incl. biogenic carbon	[kg CO2-eq.]
Økotoxicitet, ferskvand	Ecotoxicity freshwater midpoint	[CTUe]
Eutrofiering, ferskvand	Eutrophication freshwater midpoint	[kg P-eq.]
Eutrofiering, saltvand	Eutrophication marine midpoint	[kg N-eq.]
Eutrofiering, jord	Eutrophication terrestrial midpoint	[Mole of N-eq.]
Human toksicitet, cancer effekt	Human toxicity midpoint, cancer effects	[CTUh]
Human toksicitet, ikke-cancer effekt	Human toxicity midpoint, non-cancer effects	[CTUh]
Ioniserende stråling, human eksponering	Ionizing radiation midpoint, human health	[kBq U235 eq.]
Areal brug	Land use midpoint	[kg C deficit eq.]
Nedbrydning af ozonlaget	Ozone depletion midpoint	[kg CFC-11 eq.]
Partikelemission	Particulate matter/Respiratory inorganics midpoint	[kgPM2,5-eq.]
Fotokemisk ozondannelse	Photochemical ozone formation midpoint, human health	[kg NMVOC]
Nettoforbrug af ferskvand	Resource depletion water, midpoint	[m³ eq.]
Udtynding af ressourcer	Resource depletion, mineral, fossils and renewables, midpoint	[kg Sb-Equiv.]

Resultater præsenteres som karakteriserede resultater, dvs. de enkelte kategorier anvender forskellige enheder og kan ikke sammenlignes med hinanden, men kan sammenlignes på tværs af scenarierne.

For forenklingens skyld bliver der i denne rapport dog kun kommenteret resultater for kategorien global opvarmning (inkl. biogent kul). De øvrige resultater er listet i Bilag 1.

*Geografi:* LCA'en er blevet udført med udgangspunkt i en hypotetisk betonfabrik, som ligger i Danmarks geografiske centrum (på Fyn), 40 km fra Odense havn.

*Tidshorisont:* LCA'en er blevet udført med en tidshorisont på 100 år.



LCA'en er udført som et øjebliksbillede/gennemsnit – såkaldt attributional tilgang.

### 3.1. Scenariebeskrivelse

#### 3.1.1. Jomfrueligt tilslag: Granit fra Norge (scenarie 1)

I dette scenarie importeres granitskærver fra Norge. Granitten knuses og fraktioneres i Stavanger, Norge og sejles med skib til Odense, Danmark (700 km) for efterfølgende at blive kørt med lastbil fra havnen til betonfabrik (40 km).

Knusning af 1 t granit-sten resulterer i både grove og fine kornstørrelser. De grove kornstørrelser kan anvendes som tilslag i produktion af beton, hvorimod den fine fraktion, stensmel, kan anvendes som stabilt underlag til blandt andet fliser. Det er i LCA'en antaget, at begge fraktioner har den samme kommercielle værdi, og derfor kan miljøpåvirkninger allokeres til begge fraktioner ud fra deres mængder. Dvs. at hvis 1 t granit knuses til fx 0,6 t groft tilslag, kan kun 60 % af produktionens miljøpåvirkninger allokeres til den grove fraktion. Det svarer til, at produktionen af 1 t<sub>GROFT TILSLAG</sub> kræver knusning af 1 t granit.

Kapitalgoder, dvs. miljøpåvirkninger forbundet med produktion af knuseanlægget, er ikke inkluderet i den valgte proces fra GaBi. Det vurderes ikke at have nogen betydning for resultatet, idet det fremgår af Figur 3, 4 og 5, at miljøpåvirkningerne (CO<sub>2</sub>-ækvivalenter) forbundet med kapitalgoder i scenarie 3 og 4 udgør mindre end 1 % af de samlede miljøpåvirkninger.

#### 3.1.2. Jomfrueligt tilslag: Grusgravsmaterialer fra Danmark (scenarie 2)

I dette scenarie udvindes grusgravsmateriale fra dansk grusgrav. Efter fraktioneringen transporteres materialet med lastbil fra grusgrav til betonfabrik (30 km).

Ligesom for produktionen af granit, leverer ekstraktionen af grusgravsmateriale både grove og fine kornstørrelser, og både de grove og fine kornstørrelser kan anvendes som tilslag i beton. Det antages i LCA'en, at begge fraktioner har den samme kommercielle værdi, og derfor kan miljøpåvirkninger allokeres til begge fraktioner ud fra deres mængder. Dvs. at produktionen af 1 t<sub>GROFT TILSLAG</sub> kræver udvinning af 1 t grusgravsmateriale.

I lighed med scenarie 1, produktion af granit, er kapitalgoder ikke inkluderet i den valgte proces fra GaBi.

#### 3.1.3. Nedknust procestilslag: Stationært knuseanlæg (scenarie 3)

I dette scenarie bliver det rene betonaffald fra produktionsspild i betonvirksomhed knust i eksternt knuseanlæg. Den rene beton køres med lastbil til det nærmeste modtage- og knuseanlæg (30 km). Her



knuses med et dieselforbrug på  $1 L_{\text{DIESEL}}/t_{\text{INPUT BETON}}$ .<sup>1</sup> For indregning af kapitalgoder, dvs. miljøpåvirkningen ved produktion af knuse- og fraktioneringsanlægget, er det blevet antaget, at anlægget er lavet af stål, samt at det har en samlet vægt af på 100 t. Miljøpåvirkningerne fra produktion af anlægget fordeles så over hele levetiden og brugen af anlægget: Da anlægget kan processere  $238 t_{\text{BETON}}/\text{time}$  med en levetid på 10 år (8 timer/dag i 350 dage/år)<sup>2</sup>, svarende til  $6,7 \text{ mio. } t_{\text{BETONAFFALD}}$  i dets levetid, svarer forbruget af kapitalgoder til  $1,5 \cdot 10^{-5} t_{\text{STÅL}}/t_{\text{BETONAFFALD}}$ .

Efter nedknusning opnås der 2 fraktioner: 40 % fint tilslag og 60 % groft tilslag. Det fine tilslag har dog ikke nogen økonomisk værdi, idet det ikke kan bruges som tilslag i ny beton sammen med den grove fraktion, og heller ikke alene som vejfyld. Dermed allokeres alle miljøpåvirkninger fra knusning samt knuseanlægget til det grove tilslag. Det svarer til, at produktionen af  $1 t_{\text{GROFT TILSLAG}}$  kræver knusning af 1,67 t betonaffald og hermed et forbrug på 1,67 L diesel. Den fine fraktion (0,67 t) anvendes som fyldmateriale (efter 30 km transport med lastbil), og det antages, at den ikke fortrænger noget andet materiale (pga. dens ringe egenskaber). Anvendelsen som fyldmateriale kan give anledning til udvaskning fra beton, som også er modelleret i scenariet (jf. Bilag 2). Det grove tilslag køres tilbage til betonfabrikken (30 km transport). Her kan det så anvendes som tilslag i ny beton.

#### 3.1.4. Nedknust procestilslag: Mobilt knuseanlæg – Nulspildsprojekt (scenarie 4)

Dette scenarie afspejler et projekt, "Nulspildsprojektet"<sup>3</sup>, hvis formål var at udvikle og dokumentere betoner støbt med genanvendte tilslag fra betonproducenternes eget spildbeton.

I dette scenarie bliver det rene betonaffald fra produktionsspild i betonvirksomhed knust i et 100 t stort mobilt knuse- og fraktioneringsanlæg på selve betonvirksomheden. Det er antaget, at det mobile anlæg transporteres til betonproducentens fabrik (30 km med lastbil), hvor spildbetonen nedknuses, når der er indsamlet 4000 t spildbeton.

Kapitalgoder, dvs. miljøpåvirkningen ved produktion af knuse- og fraktioneringsanlægget, er blevet beregnet som i Scenarie 3, og svarer til  $1,5 \cdot 10^{-5} t_{\text{STÅL}}/t_{\text{BETONAFFALD}}$ .

---

<sup>1</sup> Dieselforbruget i forbindelse med knusning og fraktionering er baseret på oplysninger fra 3 virksomheder involveret i projektet. De indsamlede data spænder bredt fra 0,1 til  $1,5 L_{\text{DIESEL}}/t_{\text{BETON}}$  afhængigt af renheden og kvaliteten af beton. Det er i projektgruppen blevet vurderet realistisk at antage en middelværdi af  $1 L_{\text{DIESEL}}/t_{\text{BETON}}$ . Ved at sammenligne Figur 3 og Figur 6 kan det konkluderes, at ikke vil have ændret på scenariers rangorden, hvis der i stedet for middelværdien var blevet anvendt en af yderværdierne for dieselforbruget.

<sup>2</sup> Datakilde: Coelho, A., & de Brito, J. (2013). Environmental analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal--Part I: energy consumption and CO2 emissions. Waste Management, 33(5), 1258–67.

<sup>3</sup> Teknologisk Institut og emcon (2019): Nulspildsprojektet. Resultatopsamling. <https://www.danskbeton.dk/media/38413/nulspildsprojekt-haandbog.pdf>





Efter nedknusning opnås der 2 fraktioner: 40 % fint tilslag og 60 % groft tilslag. I dette scenarie antages det, at den fine fraktion også benyttes som tilslag i ny beton, da det var formålet med Nulspildsprojektet. En forudsætning for at anvende den fine fraktion som tilslag er, at den samlede procent genanvendt tilslag i den nye beton holdes relativt lav, hvorved den negative påvirkning af det fine tilslag på betonens kvalitet begrænses. Det antages, at begge tilslagsstrømme har en værdi, hvorfor miljøpåvirkningerne fra knusning og fraktionering, samt knuseanlægget, fordeles mellem de to strømme ud fra deres mængder: Kun 60 % af miljøpåvirkningerne allokeres dermed til det grove tilslag, svarende til  $1,0 \cdot \frac{L_{DIESEL}}{t_{GROV \text{ TILSLAG}}}$ .

Eftersom ikke alle produktionssteder nødvendigvis har mulighed for at genanvende tilslagene på samme produktionssted, er der en valgfri transportmulighed (alternativt scenarie, scenarie 4a), hvor tilslagene køres 40 km til en anden betonfabrik (scenarie 4a). Her kan materialet så anvendes som tilslag i ny beton.



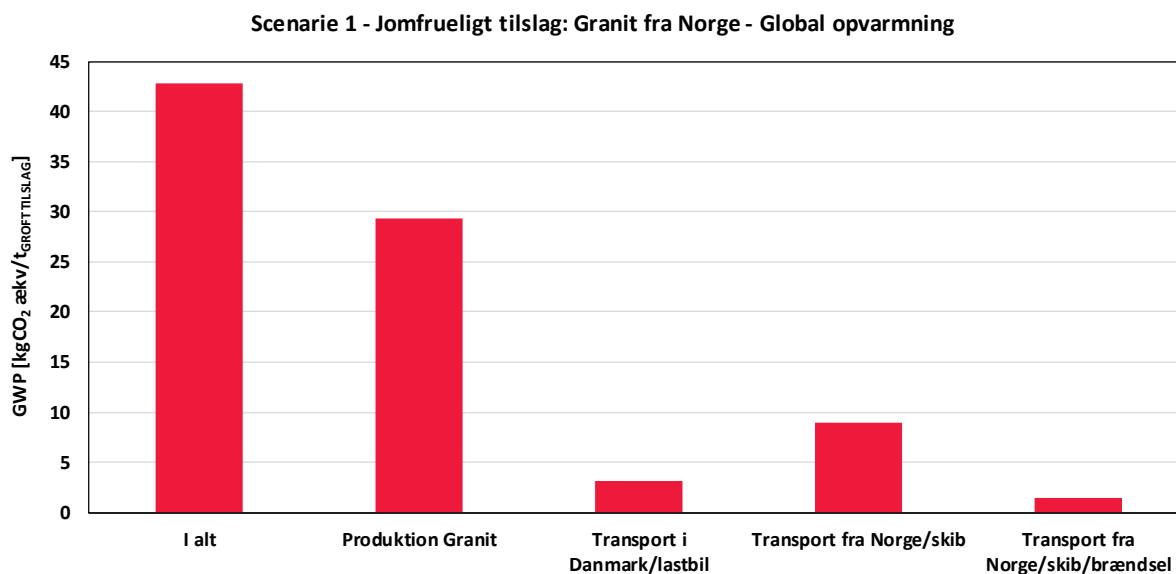
## 4. Resultater

I dette afsnit bliver LCA resultaterne præsenteret for kategorien global opvarmning (inkl. biogent kulstof). Resultaterne bliver først præsenteret som detaljerede resultater for hvert enkelte scenarie (1, 2, 3, 4). Dernæst præsenteres resultaterne for sammenligninger mellem scenarier.

### 4.1. Scenarie 1 - Jomfrueligt tilslag: Granit fra Norge

Miljøpåvirkningerne for produktionen af 1  $t_{\text{GROFT TILSLAG}}$  som granitskærver fra Stavanger, Norge vises i Figur 1. Den samlede miljøpåvirkning svarer til cirka 43  $\text{kg CO}_2\text{ækv.}/t_{\text{GROFT TILSLAG}}$ .

Den allervigtigste proces, som bidrager til det samlede resultat, er selve knusning af granit (68 % af den samlede miljøpåvirkning). Transport med skib fra Stavanger til Odenses havn bidrager med 25 % i alt. Det sidste transportskridt via lastbil i Danmark (40 km fra havn til betonfabrik) bidrager med 7 %.

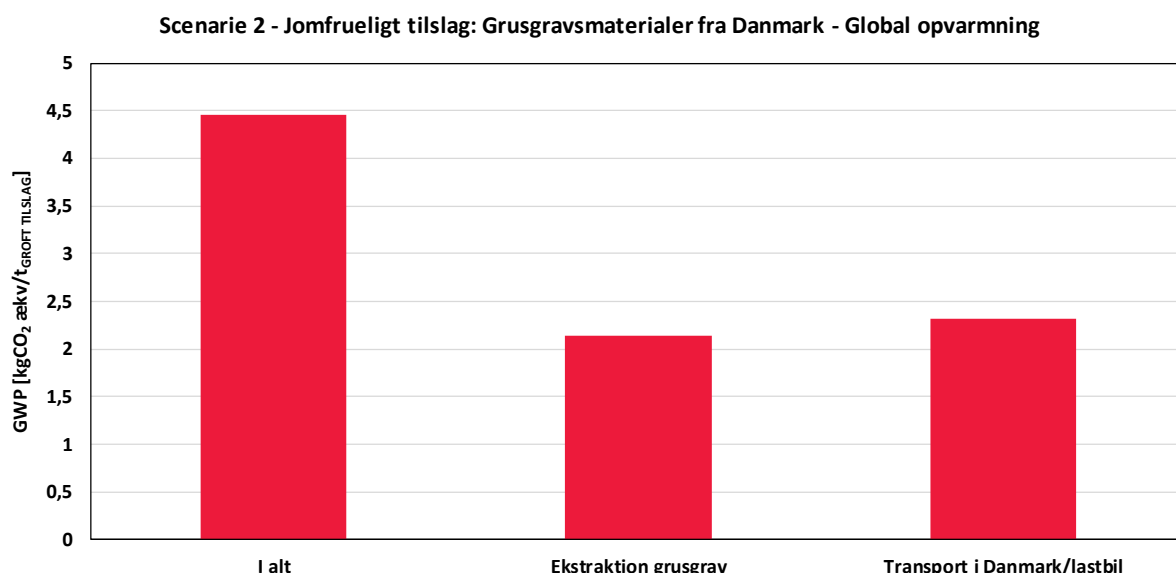


Figur 1 LCA-resultater for scenarie 1, Jomfrueligt tilslag: Granit fra Norge.

### 4.2. Scenarie 2 - Jomfrueligt tilslag: Grusgravsmaterialer fra Danmark

Miljøpåvirkningerne for produktionen af 1  $t_{\text{GROFT TILSLAG}}$  som dansk grusgravsmateriale vises i Figur 2. Den samlede miljøpåvirkning svarer til cirka 4,5  $\text{kg CO}_2\text{ækv.}/t_{\text{GROFT TILSLAG}}$ .

Transport af materialet med lastbil fra grusgrav til betonfabrikken (30 km) bidrager til det samlede resultat med 52 %, mens selve ekstraktionen af materialet udgør 48 % af den samlede miljøpåvirkning.

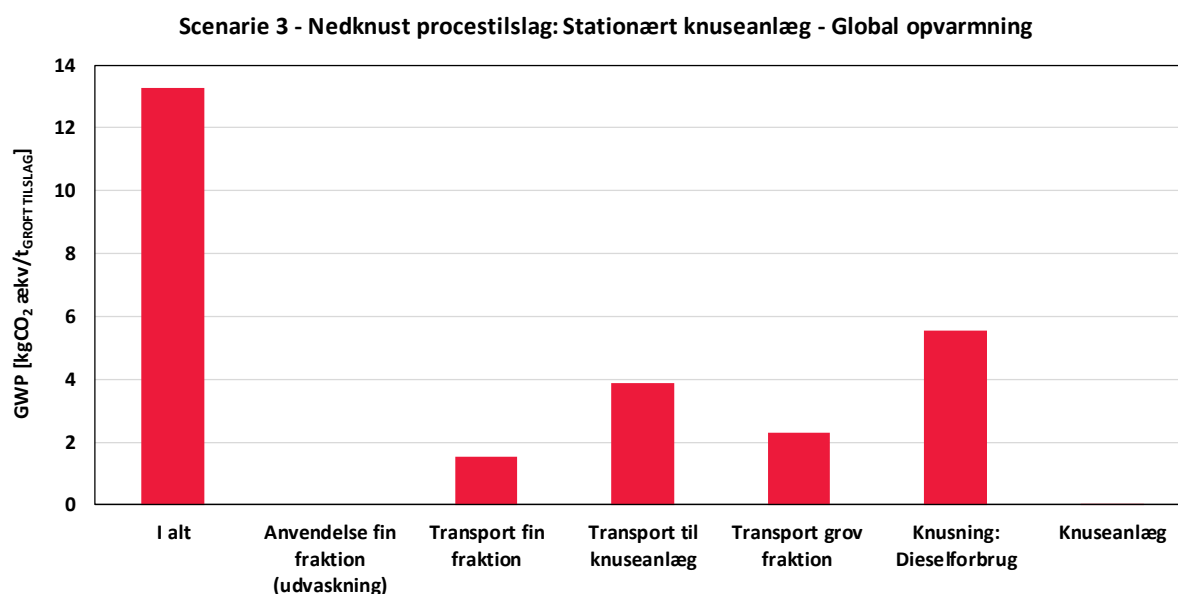


Figur 2 LCA-resultater for scenarie 2, Jomfrueligt tilslag: Grusgravsmaterialer fra Danmark.

#### 4.3. Scenarie 3 - Nedknust procestilslag: Stationært knuseanlæg

Miljøpåvirkningerne for produktionen af 1 t<sub>GROFT TILSLAG</sub> som nedknust procestilslag fra betonfabriks egen spildbeton, når knusningen foregår hos eksternt knuseanlæg, vises i Figur 3. Den samlede miljøpåvirkning svarer til cirka 13 kg CO<sub>2</sub>ækv./t<sub>GROFT TILSLAG</sub>.

Den vigtigste proces, som bidrager til det samlede resultat, er selve knusningen af betonaffaldet (42 % af den samlede miljøpåvirkning). Det høje energiforbrug skyldes, at der skal knuses 1,67 t betonaffald for at fremstille 1 t<sub>GROFT TILSLAG</sub>, da den fine fraktion, som også produceres, ikke har nogen økonomisk værdi (dermed allokeres alle miljøpåvirkningerne til det grove tilslag). Transport med lastbil af det indsamlede betonaffald fra betonfabrikken til knuseanlægget (30 km) bidrager med 29 %. Transport af det nedknuste grove tilslag fra knuseanlægget til den samme betonfabrik (30 km) bidrager med 17 % (idet den grove fraktion kun udgør 60 % af det oprindelige betonaffald), mens transport af den fine fraktion til dens endelige anvendelse som fyld udgør 12 % af den samlede CO<sub>2</sub> belastning. Kapitalgoder (knuseanlæg) ifm. knuse- og fraktioneringsanlægget bidrager til de samlede resultater med kun 0,5 %. Udvaskning fra den fine fraktion, når den anvendes som fyld, giver ikke nogen belastning under kategorien global opvarmning.



Figur 3 LCA-resultater for scenarie 3, Nedknust procestilslag: Stationært knuseanlæg.

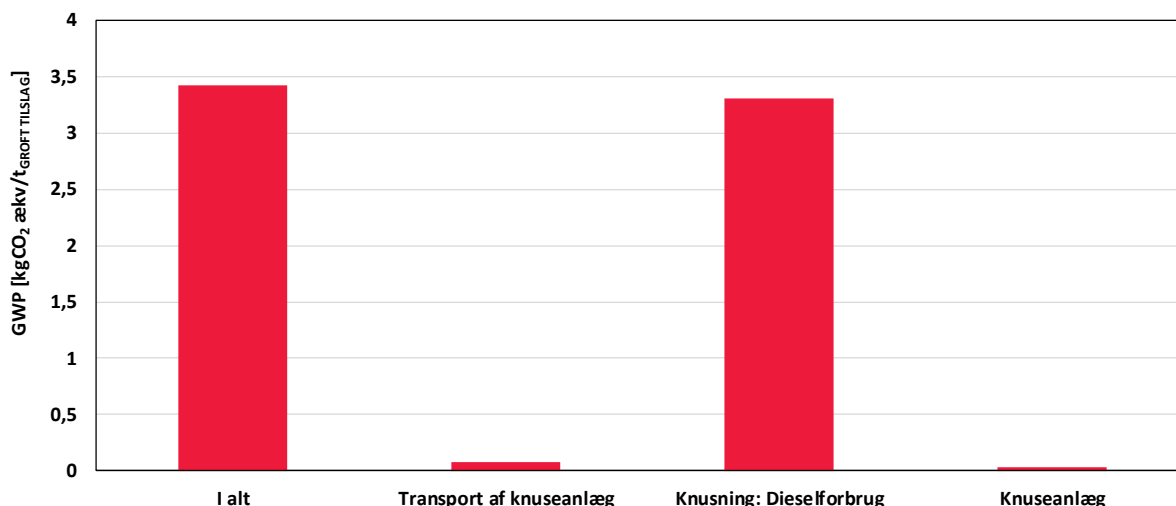
#### 4.4. Scenarie 4 - Nedknust procestilslag: Mobilt knuseanlæg - Nulspildsprojekt

Miljøpåvirkningerne for produktionen af 1 t<sub>GROFT TILSLAG</sub> som nedknust procestilslag fra betonfabriks egen spildbeton, når knusningen foregår på fabrikken og tilslagene også anvendes på samme fabrik (uden videre transport), og når alt affald forsøges genanvendt (Nulspildsprojekt), vises i Figur 4. Den samlede miljøpåvirkning svarer til cirka 3,4 kg CO<sub>2</sub>ækv./t<sub>GROFT TILSLAG</sub>.

Den allervigtigste proces, som bidrager til det samlede resultat, er selve knusningen af betonaffaldet (97 % af den samlede miljøpåvirkning). Transport af det anvendte knuse- og fraktioneringsanlæg med lastbil (30 km) bidrager kun med 2 % til de samlede resultater, ligesom selve anlægget (kapitalgoder) også kun bidrager med 1 %.



Scenarie 4 - Nedknust procestilslag: Mobilt knuseanlæg - Nulspildprojekt - uden transport -  
Global opvarmning



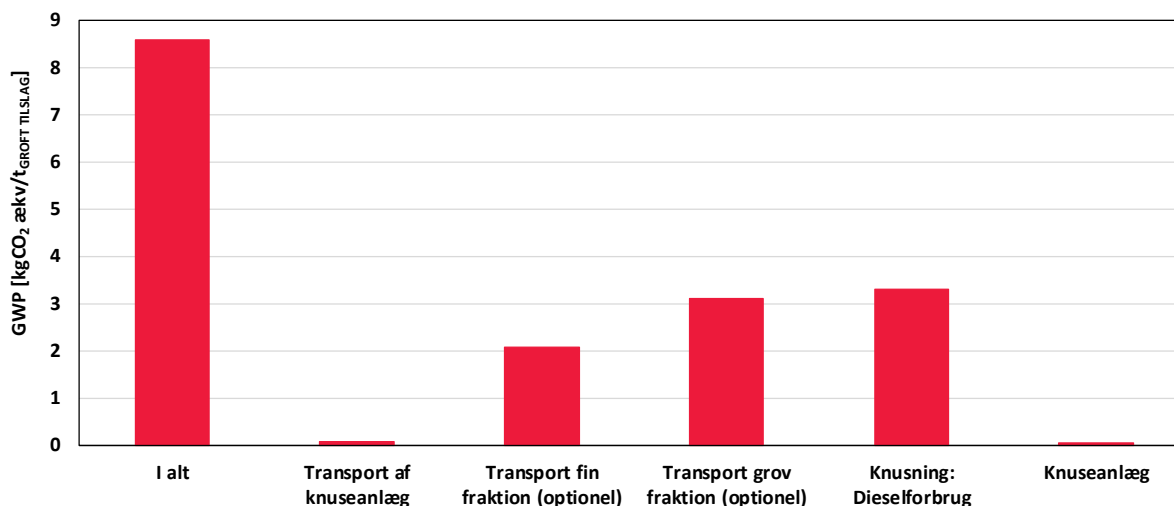
Figur 4 LCA-resultater for scenarie 4, Nedknust procestilslag: Mobilt knuseanlæg – Nulspildsprojekt, når tilslagene anvendes i samme betonfabrik (uden videre transport).

Miljøpåvirkningerne for samme scenarie, når tilslagene antages anvendt på en anden fabrik (med 40 km videre transport), vises i Figur 5 (scenarie 4a). Den samlede miljøpåvirkning svarer til cirka 8,6 kg CO<sub>2</sub>ækv./t<sub>GROFT TILSLAG</sub>.

Den vigtigste proces, som bidrager til det samlede resultat, er selve knusningen af betonaffaldet (39 % af den samlede miljøpåvirkning). Transport af det grove og det fine nedknuste tilslag fra knuseanlægget til den anden betonfabrik (40 km med lastbil) bidrager med hhv. 36 % og 24 %. Transport af det anvendte knuse- og fraktioneringsanlæg med lastbil (30 km) bidrager kun med 0,9 % til de samlede resultater, ligesom selve anlægget (kapitalgoder) kun bidrager med 0,4 %.



Scenarie 4a - Nedknust procestilslag: Mobilt knuseanlæg - Nulspildprojekt - med transport -  
Global opvarmning



Figur 5 LCA-resultater for scenarie 4a, Nedknust procestilslag: Mobilt knuseanlæg – Nulspildsprojekt, når tilslagene anvendes på en anden betonfabrik (med 40 km videre transport).

#### 4.5. Sammenligning af scenarier

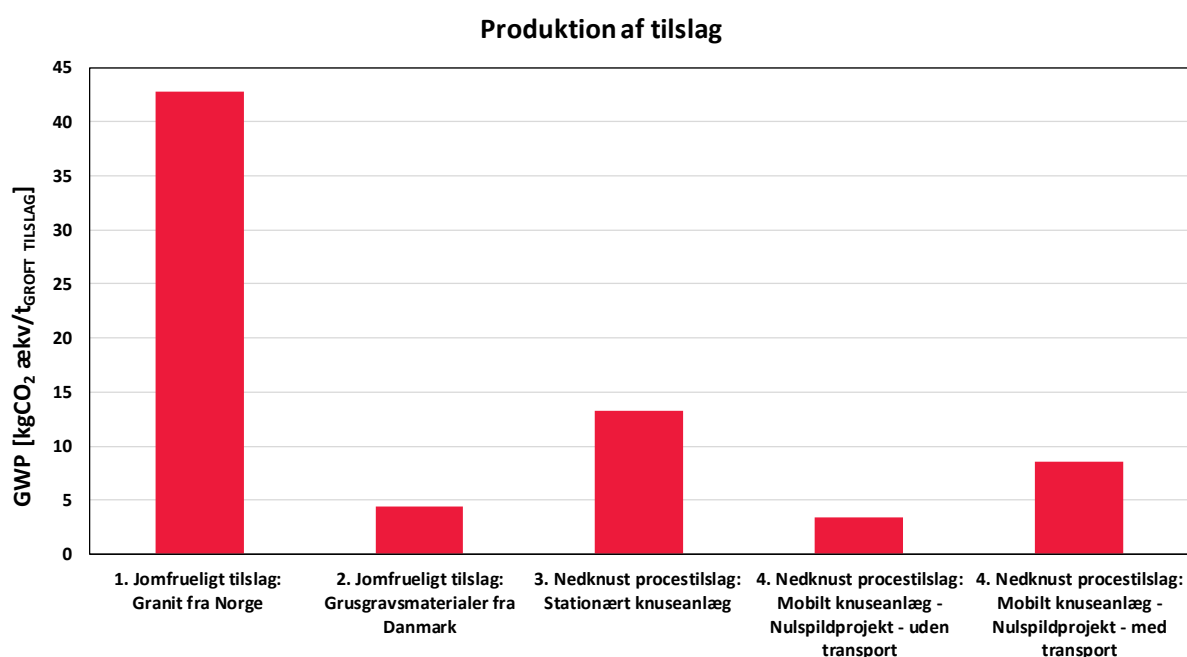
Resultaterne for sammenligning af de fire undersøgte scenarier for produktion af 1 t<sub>GROFT</sub> TILSLAG vises i Figur 6.

Resultaterne viser, at miljøpåvirkningen relateret til global opvarmning (CO<sub>2</sub>-belastning) for produktion af 1 t<sub>GROFT</sub> TILSLAG er højest for jomfruelige granitskærver fra Norge (scenarie 1, med 43 kg CO<sub>2</sub>ækv./t<sub>GROFT</sub> TILSLAG). Dette skyldes primært det høje energiforbrug forbundet med udvinding og knusning af granitten, og i vist omfang også dens transport til Danmark. Den næsthøjeste miljøpåvirkning stammer fra scenarie 3 (13 kg CO<sub>2</sub>ækv./t<sub>GROFT</sub> TILSLAG), når tilslagene produceres som nedknust procestilslag med knusning på eksternt knuseanlæg. Dette skyldes især dieselforbruget til knusning af de 1,67 t betonaffald, som skal til, for at producere 1 t<sub>GROFT</sub> TILSLAG, når den fine fraktion ikke kan finde en værdifuld anvendelse. Transport af den samme mængde betonaffald udgør også et vigtigt bidrag. Scenarie 4a, hvor tilslagene produceres som nedknust procestilslag på fabrikken, men anvendes på en anden fabrik, har en samlet miljøpåvirkning på 8,6 kg CO<sub>2</sub>ækv./t<sub>GROFT</sub> TILSLAG, som primært skyldes dieselforbruget for knusning. Dette dieselforbrug er 40 % mindre end i scenarie 3, fordi den fine fraktion her bliver genanvendt (derfor fordeles dieselforbruget for knusning på både den fine og den grove fraktion). Transport af begge fraktioner til den anden fabrik, hvor de endeligt genanvendes, udgør også et vigtigt bidrag. Scenarie 2, dvs. produktion af jomfrueligt grusgravsmateriale i Danmark, giver en samlet miljøpåvirkning på 4,5 kg CO<sub>2</sub>ækv./t<sub>GROFT</sub> TILSLAG, som primært skyldes udvinding af tilslaget. Det eneste scenarie, som giver mindre miljøbelastning end scenarie 2, er scenarie 4, når tilslaget fremstilles ved at knuse



eget betonaffald på fabrikken, og når tilslaget så genanvendes i sin helhed (både det grove og det fine) på samme fabrik (3,4 kg CO<sub>2</sub>ækv./t<sub>GROFT TILSLAG</sub>).

Det skal dog bemærkes, at de undersøgte tilslag ikke nødvendigvis leverer den samme funktion, da fx grusgravsmateriale ikke vil være egnet til de samme anvendelser som granit. Ligeledes kan knust betonaffald kun fortrænge granitskærver, når det stammer fra en beton af høj miljøklasse.



Figur 6 Sammenligning af LCA-resultater for de 4 undersøgte scenarier for produktion af 1 t<sub>GROFT TILSLAG</sub>.



## 5. Konklusioner

LCA-resultaterne viser, at nedknust procestilslag ikke nødvendigvis er en miljømæssig bedre løsning (baseret på CO<sub>2</sub>-belastning) end jomfrueligt tilslag fra en dansk grusgrav. Afgørende parametre, som har en indflydelse på de endelige resultater, er om den fine fraktion kan finde en værdifuld anvendelse, samt om tilslagene skal produceres på et eksternt knuseanlæg. Selvom produktionen af granitskærver fra Norge er betydeligt mere miljøbelastende end de andre former for produktion af tilslag, kan denne type tilslag ikke nødvendigvis sammenlignes med de andre, da granitskærver har bedre kvalitet og højere hårdhed end de fleste andre typer tilslag, som er blevet undersøgt i denne LCA. Grusgravsmateriale kan ikke bruges til den samme funktion som granitskærver, og nedknust beton kan kun bruges til samme formål som granitskærver, hvis den stammer fra en beton hvor granitskærver er blevet brugt (dvs. en beton med den samme eller højere miljøklasse end den ny beton).

Resultaterne viser også, at nedknust procestilslag kan repræsentere et meget værdifuldt materiale miljømæssigt set, når det kan bruges som erstatning for granit, dvs. når det stammer fra beton af høj miljøklasse. Resultaterne viser, at CO<sub>2</sub>-belastningen forbundet med tilslag produceret af granit (scenarie 1) er omkring tre gange så høj som for tilslag produceret af nedknust betonaffald (scenarie 3).





## 6. Bilag 1: Resultater

Tabel B.1 Scenarie 1: LCA samlede resultater.

	I alt	Produktion Granit	Transport i Danmark/lastbil	Transport fra Norge/skib	Transport fra Norge/skib/brændsel
Forsuring [Mole of H+ eq.]	2,64E-01	4,92E-02	1,88E-02	1,91E-01	5,32E-03
Global opvarmning, ekskl. biogent kul [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	4,28E+01	2,93E+01	3,06E+00	8,95E+00	1,51E+00
Global opvarmning, inkl. biogent kul [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	4,28E+01	2,93E+01	3,09E+00	8,95E+00	1,51E+00
Økotoxicitet, ferskvand [CTUe]	3,97E+00	9,22E-01	4,62E-01	0,00E+00	2,58E+00
Eutrofiering, ferskvand [kg P eq]	5,28E-05	3,54E-05	1,51E-05	0,00E+00	2,34E-06
Eutrofiering, saltvand [kg N-Equiv.]	1,23E-01	1,44E-02	9,29E-03	9,84E-02	1,38E-03
Eutrofiering, jord [Mole of N eq.]	1,35E+00	1,56E-01	1,01E-01	1,08E+00	1,48E-02
Human toksicitet, cancer effekt [CTUh]	1,67E-07	2,82E-08	1,89E-08	0,00E+00	1,20E-07
Human toksicitet, ikke-cancer effekt [CTUh]	1,24E-06	6,14E-07	2,15E-07	0,00E+00	4,15E-07
Ioniserende stråling, human eksponering [kBq U235 eq]	4,01E+00	3,98E+00	8,28E-03	0,00E+00	2,17E-02
Jordkvalitet [kg C deficit eq]	6,21E+00	4,17E+00	1,90E+00	0,00E+00	1,40E-01
Nedbrydning af ozonlaget [kg CFC-11 eq]	4,18E-13	4,16E-13	8,84E-16	0,00E+00	1,44E-15
Emissioner af partikel [kg PM <sub>2,5</sub> -Equiv.]	1,89E-02	4,21E-03	5,42E-04	1,39E-02	2,08E-04
Fotokemisk ozondannelse [kg NMVOC]	3,23E-01	3,90E-02	1,71E-02	2,62E-01	4,42E-03
Nettoforbrug af ferskvand [m <sup>3</sup> eq.]	7,26E-01	7,18E-01	3,48E-03	0,00E+00	4,67E-03
Udtynding af ressourcer [kg Sb-Equiv.]	4,44E-05	3,58E-05	1,11E-06	0,00E+00	7,48E-06



Tabel B.2 Scenarie 2: LCA samlede resultater.

	I alt	Ekstraktion grusgrav	Transport i Danmark/lastbil
Forsuring [Mole of H+ eq.]	2,99E-02	1,58E-02	1,41E-02
Global opvarmning, ekskl. biogent kul [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	4,50E+00	2,20E+00	2,29E+00
Global opvarmning, inkl. biogent kul [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	4,46E+00	2,14E+00	2,32E+00
Økotoxicitet, ferskvand [CTUe]	6,56E-01	3,10E-01	3,47E-01
Eutrofiering, ferskvand [kg P eq]	2,22E-05	1,09E-05	1,13E-05
Eutrofiering, saltvand [kg N-Equiv.]	1,31E-02	6,12E-03	6,97E-03
Eutrofiering, jord [Mole of N eq.]	1,41E-01	6,59E-02	7,55E-02
Human toksicitet, cancer effekt [CTUh]	2,79E-08	1,37E-08	1,42E-08
Human toksicitet, ikke-cancer effekt [CTUh]	1,07E-06	9,09E-07	1,61E-07
Ioniserende stråling, Human eksponering [kBq U235 eq]	3,94E-01	3,88E-01	6,21E-03
Jordkvalitet [kg C deficit eq]	-4,42E+00	-5,85E+00	1,43E+00
Nedbrydning af ozonlaget [kg CFC-11 eq]	4,62E-14	4,55E-14	6,63E-16
Emissioner af partikel [kg PM <sub>2,5</sub> -Equiv.]	3,52E-03	3,11E-03	4,07E-04
Fotokemisk ozondannelse [kg NMVOC]	3,00E-02	1,72E-02	1,29E-02
Nettoforbrug af ferskvand [m <sup>3</sup> eq.]	6,66E-02	6,40E-02	2,61E-03
Udtynding af ressourcer [kg Sb-Equiv.]	4,47E-06	3,63E-06	8,35E-07



Tabel B.3 Scenarie 3: LCA samlede resultater

	I alt	Anvendelse fin fraktion (udvaskning)	Transport af fin fraktion	Transport til knuseanlæg	Transport af grov fraktion	Knusning: Dieselforbrug	Knuseanlæg
Forsuring [Mole of H+ eq.]	1,06E-01	0,00E+00	9,40E-03	2,35E-02	1,41E-02	5,87E-02	4,69E-04
Global opvarmning, ekskl. biogent kul [kg CO2-Equiv.]	1,32E+01	0,00E+00	1,53E+00	3,82E+00	2,29E+00	5,53E+00	5,45E-02
Global opvarmning, inkl. biogent kul [kg CO2-Equiv.]	1,33E+01	0,00E+00	1,55E+00	3,86E+00	2,32E+00	5,53E+00	5,44E-02
Økotoxicitet, ferskvand [CTUe]	5,28E+01	4,17E+01	2,31E-01	5,78E-01	3,47E-01	6,88E+00	3,08E+00
Eutrofiering, ferskvand [kg P eq]	6,94E-03	6,58E-03	7,56E-06	1,89E-05	1,13E-05	2,55E-04	7,30E-05
Eutrofiering, saltvand [kg N-Equiv.]	4,86E-02	0,00E+00	4,65E-03	1,16E-02	6,97E-03	2,53E-02	6,84E-05
Eutrofiering, jord [Mole of N eq.]	5,29E-01	0,00E+00	5,03E-02	1,26E-01	7,55E-02	2,77E-01	6,81E-04
Human toksicitet, cancer effekt [CTUh]	3,17E-07	5,54E-08	9,46E-09	2,36E-08	1,42E-08	1,52E-07	6,21E-08
Human toksicitet, ikke-cancer effekt [CTUh]	4,96E-06	4,00E-06	1,07E-07	2,69E-07	1,61E-07	2,92E-07	1,31E-07
Ioniserende stråling, human eksponering [kBq U235 eq]	4,03E-01	0,00E+00	4,14E-03	1,04E-02	6,21E-03	3,79E-01	3,01E-03
Jordkvalitet [kg C deficit eq]	1,88E+01	0,00E+00	9,52E-01	2,38E+00	1,43E+00	1,40E+01	8,88E-02
Nedbrydning af ozonlaget [kg CFC-11 eq]	1,02E-06	0,00E+00	4,42E-16	1,10E-15	6,63E-16	1,01E-06	3,36E-09
Emissioner af partikel [kg PM2,5-Equiv.]	8,83E-03	0,00E+00	2,71E-04	6,78E-04	4,07E-04	7,37E-03	1,03E-04
Fotokemisk ozondannelse [kg NMVOC]	1,19E-01	0,00E+00	8,57E-03	2,14E-02	1,29E-02	7,62E-02	2,70E-04
Nettoforbrug af ferskvand [m³ eq.]	1,53E-02	0,00E+00	1,74E-03	4,35E-03	2,61E-03	6,15E-03	4,97E-04
Udtynding af ressourcer [kg Sb-Equiv.]	4,49E-05	0,00E+00	5,57E-07	1,39E-06	8,35E-07	3,28E-05	9,37E-06



Tabel B.4 Scenarie 4: LCA samlede resultater.

	I alt	Transport af knuseanlæg	Knusning: Dieselforbrug	Knuseanlæg
Forsuring [Mole of H+ eq.]	3,59E-02	4,49E-04	3,52E-02	2,81E-04
Global opvarmning, ekskl. biogent kul [kg CO2-Equiv.]	3,42E+00	7,41E-02	3,31E+00	3,27E-02
Global opvarmning, inkl. biogent kul [kg CO2-Equiv.]	3,42E+00	7,49E-02	3,31E+00	3,26E-02
Økotoxicitet, ferskvand [CTUe]	5,99E+00	1,12E-02	4,13E+00	1,85E+00
Eutrofiering, ferskvand [kg P eq]	1,97E-04	3,65E-07	1,53E-04	4,37E-05
Eutrofiering, saltvand [kg N-Equiv.]	1,55E-02	2,22E-04	1,52E-02	4,10E-05
Eutrofiering, jord [Mole of N eq.]	1,69E-01	2,40E-03	1,66E-01	4,08E-04
Human toksicitet, cancer effekt [CTUh]	1,29E-07	4,57E-10	9,14E-08	3,72E-08
Human toksicitet, ikke-cancer effekt [CTUh]	2,59E-07	5,19E-09	1,75E-07	7,84E-08
Ioniserende stråling, human eksponering [kBq U235 eq]	2,29E-01	2,00E-04	2,27E-01	1,80E-03
Jordkvalitet [kg C deficit eq]	8,47E+00	4,60E-02	8,37E+00	5,32E-02
Nedbrydning af ozonlaget [kg CFC-11 eq]	6,09E-07	2,14E-17	6,07E-07	2,01E-09
Emissioner af partikel [kg PM2,5-Equiv.]	4,49E-03	1,27E-05	4,42E-03	6,17E-05
Fotokemisk ozondannelse [kg NMVOC]	4,63E-02	4,08E-04	4,57E-02	1,62E-04
Nettoforbrug af ferskvand [m³ eq.]	4,07E-03	8,41E-05	3,69E-03	2,98E-04
Udtynding af ressourcer [kg Sb-Equiv.]	2,52E-05	2,69E-08	1,96E-05	5,61E-06



Tabel B.5 Scenarie 4a: LCA samlede resultater

	I alt	Transport af knuseanlæg	Transport af fin fraktion (optionel)	Transport grov fraktion (optionel)	Knusning: Dieselforbrug	Knuseanlæg
Forsuring [Mole of H+ eq.]	6,73E-02	4,49E-04	1,25E-02	1,88E-02	3,52E-02	2,81E-04
Global opvarmning, ekskl. biogent kul [kg CO2-Equiv.]	8,52E+00	7,41E-02	2,04E+00	3,06E+00	3,31E+00	3,27E-02
Global opvarmning, inkl. biogent kul [kg CO2-Equiv.]	8,57E+00	7,49E-02	2,06E+00	3,09E+00	3,31E+00	3,26E-02
Økotoxicitet, ferskvand [CTUe]	6,75E+00	1,12E-02	3,08E-01	4,62E-01	4,13E+00	1,85E+00
Eutrofiering, ferskvand [kg P eq]	2,22E-04	3,65E-07	1,01E-05	1,51E-05	1,53E-04	4,37E-05
Eutrofiering, saltvand [kg N-Equiv.]	3,09E-02	2,22E-04	6,19E-03	9,29E-03	1,52E-02	4,10E-05
Eutrofiering, jord [Mole of N eq.]	3,37E-01	2,40E-03	6,71E-02	1,01E-01	1,66E-01	4,08E-04
Human toksicitet, cancer effekt [CTUh]	1,61E-07	4,57E-10	1,26E-08	1,89E-08	9,14E-08	3,72E-08
Human toksicitet, ikke-cancer effekt [CTUh]	6,16E-07	5,19E-09	1,43E-07	2,15E-07	1,75E-07	7,84E-08
Ioniserende stråling, human eksponering [kBq U235 eq]	2,43E-01	2,00E-04	5,52E-03	8,28E-03	2,27E-01	1,80E-03
Jordkvalitet [kg C deficit eq]	1,16E+01	4,60E-02	1,27E+00	1,90E+00	8,37E+00	5,32E-02
Nedbrydning af ozonlaget [kg CFC-11 eq]	6,09E-07	2,14E-17	5,89E-16	8,83E-16	6,07E-07	2,01E-09
Emissioner af partikel [kg PM2,5-Equiv.]	5,40E-03	1,27E-05	3,61E-04	5,42E-04	4,42E-03	6,17E-05
Fotokemisk ozondannelse [kg NMVOC]	7,48E-02	4,08E-04	1,14E-02	1,71E-02	4,57E-02	1,62E-04
Nettoforbrug af ferskvand [m³ eq.]	9,87E-03	8,41E-05	2,32E-03	3,48E-03	3,69E-03	2,98E-04
Udtynding af ressourcer [kg Sb-Equiv.]	2,71E-05	2,69E-08	7,42E-07	1,11E-06	1,96E-05	5,61E-06



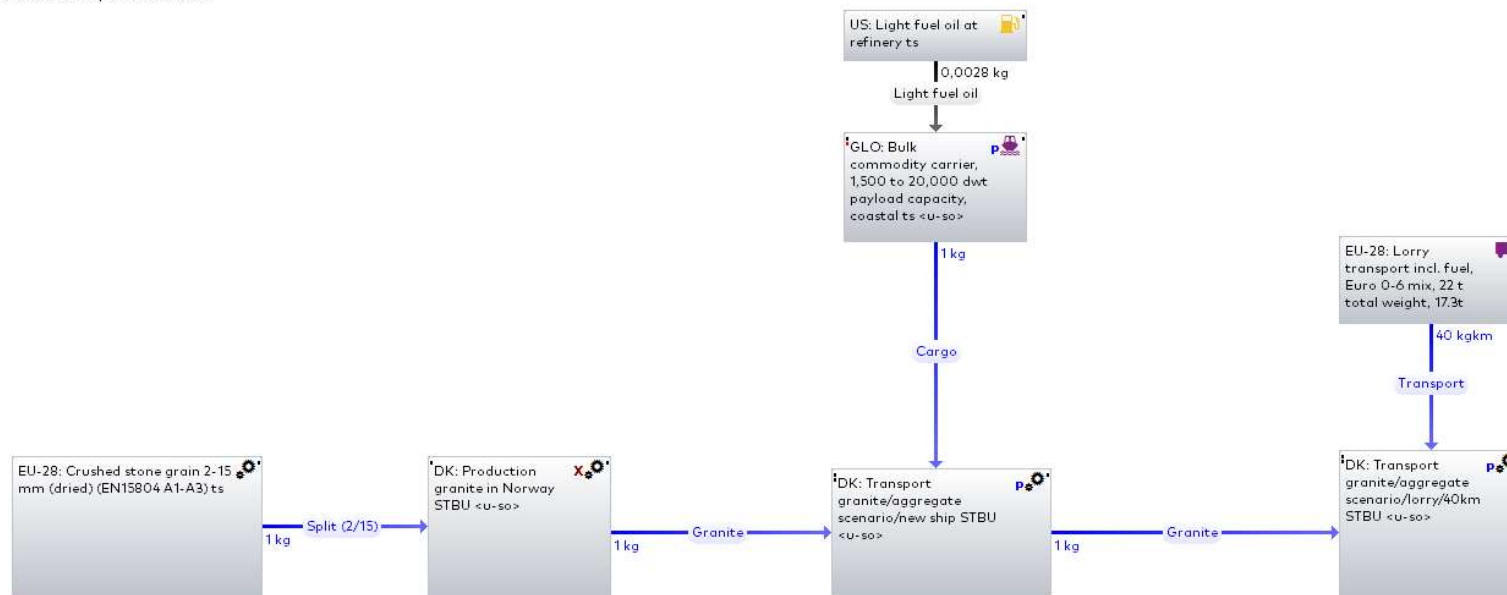
## 7. Bilag 2: Anvendte datasæt

Datasæt for scenario 1:

- EU 28: Crushed stone grain 2-15 mm (dried) (EN15804 A1-A3) – ts
- EU 28: Light fuel oil at refinery – ts
- GLO: Bulk commodity carrier, 1,500 to 20,000 dwt payload capacity, coastal – ts
- EU 28: Lorry transport incl. fuel, Euro 0-6 mix, 22 t total weight, 17.3t max payload– ts

### 1. Jomfruelig tilslag: Granitter fra Norge (nyt datasæt for kvarts) - endelige resultater

Process plan Reference quantities  
The names of the basic processes are shown.



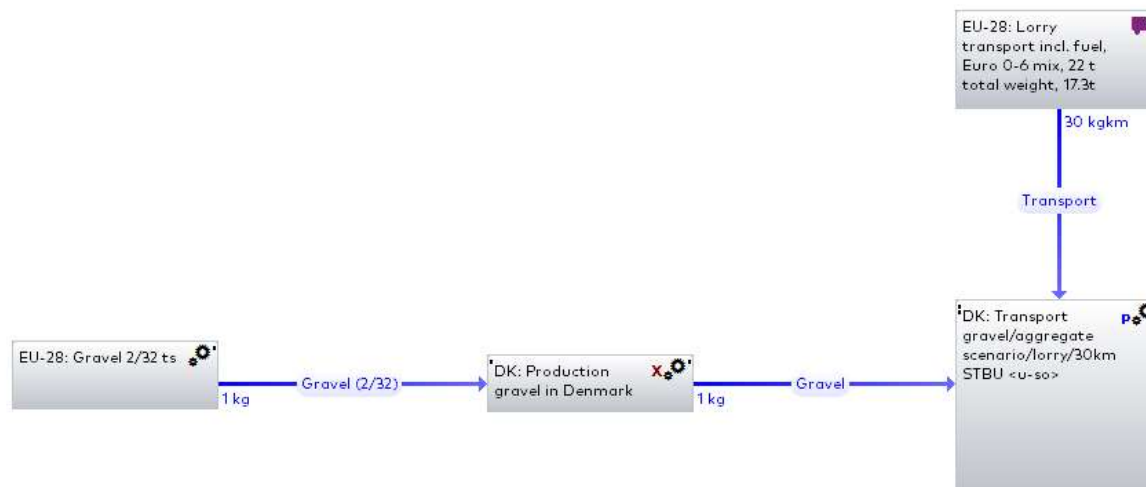


Datasæt for scenario 2:

- EU 28: Gravel 2/32, undried – ts
- EU 28: Lorry transport incl. fuel, Euro 0-6 mix, 22 t total weight, 17.3t max payload – ts

## 2. Jomfruelig tilslag: Grusgravsmaterialer fra Danmark

Process plan Reference quantities  
The names of the basic processes are shown.





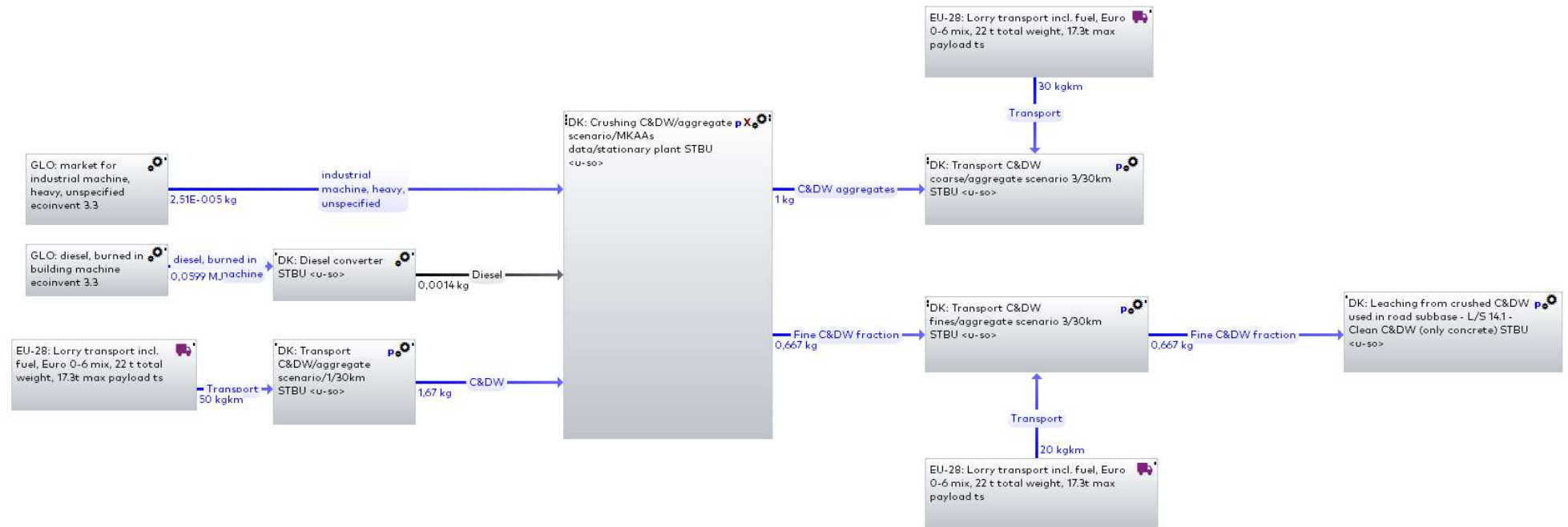
Datasæt for scenario 3:

- GLO: market for industrial machine, heavy, unspecified – Ecoinvent 3.3
- GLO: diesel, burned in building machine - Ecoinvent 3.3
- EU 28: Lorry transport incl. fuel, Euro 0-6 mix, 22 t total weight, 17.3t max payload – ts

### 3. Nedknust beton: Stationært knuseanlæg

Process plan: Reference quantities  
The names of the basic processes are shown.

Selection: 3. Nedknust beton







Name		DK	Leaching from crushed C&DW used in road subbase - L/S 14.1 - Clean C&DW (only concrete)				
Parameters							
Parameter	Formula	Value	Minimum	Maximum	Standard	Comment	
Al_CDW_cc		5,38E-005	3,45E-0	7,3E-00	0 %	[kg] - cc	
LCA: 86,6 EUR    LCWE:    Documentation							
Completeness: No statement							
Inputs							
Parameter	Flows	Quantities	Amount	Factor	Units	Tr2 Standar Origin	Comment
crushed_CDW	C&DW [C&DW]	Mass	1	1	kg	X 0 % (No statement)	
Flows							
Outputs							
Parameter	Flows	Quantities	Amount	Factor	Units	Tr2 Standar Origin	Comment
Al_CDW_cc	Aluminium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	5,38E-005	1	kg	0 % (No statement)	
Sb_CDW_cc	Antimony (+V) [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,44E-007	1	kg	0 % (No statement)	
As_CDW_cc	Arsenic (+V) [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,77E-007	1	kg	0 % (No statement)	
Ba_CDW_cc	Barium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	5,65E-006	1	kg	0 % (No statement)	
Cd_CDW_cc	Cadmium [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,1E-008	1	kg	0 % (No statement)	
Ca_CDW_cc	Calcium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,00308	1	kg	0 % (No statement)	
Cl_CDW_cc	Chloride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,000274	1	kg	0 % (No statement)	
Cr3_CDW_cc	Chromium (+III) [Heavy metals to fresh water]	Mass	4,77E-007	1	kg	0 % (No statement)	
Cr6_CDW_cc	Chromium (+VI) [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,43E-009	1	kg	0 % (No statement)	
Co_CDW_cc	Cobalt [Heavy metals to fresh water]	Mass	5,43E-008	1	kg	0 % (No statement)	
Cu_CDW_cc	Copper [Heavy metals to fresh water]	Mass	2,34E-007	1	kg	0 % (No statement)	
DOC_CDW_cc	DOC, Dissolved Organic Carbon [ecoinvent Ion]	Mass	6,68E-005	1	kg	0 % (No statement)	
Fe_CDW_cc	Iron [Heavy metals to fresh water]	Mass	6,28E-007	1	kg	0 % (No statement)	
Pb_CDW_cc	Lead [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,17E-007	1	kg	0 % (No statement)	
Li_CDW_cc	Lithium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	1,51E-006	1	kg	0 % (No statement)	
Mg_CDW_cc	Magnesium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,77E-007	1	kg	0 % (No statement)	
Mn_CDW_cc	Manganese [Heavy metals to fresh water]	Mass	3,49E-008	1	kg	0 % (No statement)	
Mo_CDW_cc	Molybdenum [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,33E-007	1	kg	0 % (No statement)	
Ni_CDW_cc	Nickel [Heavy metals to fresh water]	Mass	6,59E-008	1	kg	0 % (No statement)	
PO4_CDW_cc	Phosphate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,99E-005	1	kg	0 % (No statement)	
K_CDW_cc	Potassium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,000603	1	kg	0 % (No statement)	
Se_CDW_cc	Selenium [Heavy metals to fresh water]	Mass	2,03E-007	1	kg	0 % (No statement)	
Si_CDW_cc	Silicon [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,81E-005	1	kg	0 % (No statement)	
Na_CDW_cc	Sodium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,000347	1	kg	0 % (No statement)	
Sr_CDW_cc	Strontium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	4,06E-005	1	kg	0 % (No statement)	
SO4_CDW_cc	Sulfate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,000146	1	kg	0 % (No statement)	
Sn_CDW_cc	Tin [Heavy metals to fresh water]	Mass	6,4E-008	1	kg	0 % (No statement)	
V_CDW_cc	Vanadium [Heavy metals to fresh water]	Mass	1,17E-007	1	kg	0 % (No statement)	
Zn_CDW_cc	Zinc [Heavy metals to fresh water]	Mass	4,34E-007	1	kg	0 % (No statement)	
Flows							

Datasæt for scenario 4:

- GLO: market for industrial machine, heavy, unspecified – Ecoinvent 3.3
- EU 28: Articulated lorry transport incl. fuel, Euro 0-6 mix, 40 t total weight, 27 t max payload - ts
- GLO: diesel, burned in building machine - Ecoinvent 3.3
- EU 28: Lorry transport incl. fuel, Euro 0-6 mix, 22 t total weight, 17.3t max payload – ts



#### 4. Nedknust beton: Mobilt knuseanlæg

Process plan Reference quantities  
The names of the basic processes are shown.

