

## 21.1 Grøn Beton

*Af Dorthe Mathiesen og Martin Kaasgaard, Teknologisk Institut*



*Figur 1. Denne bro er det første bygværk, der blev fremstillet med anvendelse af "Grøn Beton". Broen – Vejdirektoratets Bro 34 på Riis-Ølholm strækningen i Tørring er opført i 2002 - og siden udvidet i 2009 – også med grønne betoner. [2]*

Beton og cement er verdens mest anvendte byggematerialer og bidrager derfor med et ikke uvæsentligt aftryk på en række miljøparametre. Fx bidrager fremstilling af cement globalt set med ca. 5 % af den totale CO<sub>2</sub> udledning.

Til gengæld har rigtigt designede og udførte betonkonstruktioner en lang levetid og et begrænset behov for vedligehold sammenlignet med tilsvarende konstruktioner opført med andre byggematerialer. Jo længere levetid og jo mere begrænset vedligehold af en konstruktion er, des mindre vil miljøbelastningerne fra en konstruktion - set i et livscyklus perspektiv - være. Betragter man betonkonstruktioner, hvor der er truffet fornuftige valg af materialer, fremstillingsmetoder, udførelsesmetoder samt strategi for drift og vedligehold i hele konstruktionens livscyklus, så er beton til en lang række formål et bæredygtigt valg.

Betonbranchen i Danmark har igennem flere årtier været optaget af at nedbringe miljøpåvirkningerne i forbindelse med fremstilling og anvendelse af cement og beton.

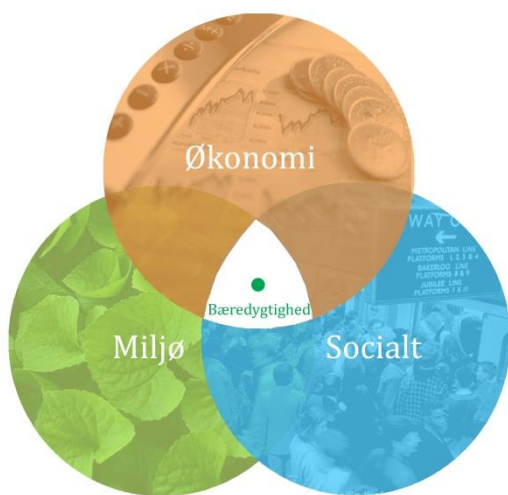
I forbindelse med et større dansk udviklingsprojekt, der blev påbegyndt i 1998 opstod begrebet "Grøn Beton" [1], og Danmark blev kendt internationalt som foregangsland inden for udvikling af beton med reducerede miljøpåvirkninger.

### 21.1.1 Definition på Grøn Beton

Det nordiske netværk "Concrete for the environment – a nordic network" [3] har skabt konsensus omkring definitionen på Grøn Beton:

"An environmentally sustainable concrete structure is a structure that is constructed so that the total environmental impact during the entire lifetime, including use of the structure, is reduced to a minimum. This means that the structure shall be designed and produced in a manner that is tailor-made for the use, i.e. to the specified lifetime, loads, environmental impact, maintenance strategy, heating needs, etc.. This shall be achieved by utilizing the inherent environmentally beneficial properties of concrete, e.g. the strength, durability, and the thermal capacity. Furthermore, the concrete constituents shall be extracted and produced in an environmentally friendly matter. "

Sidenhen er arbejdet med udvikling af Grøn Beton blevet udvidet. Det skyldes, at bæredygtighedsbegrebet i henhold til definitionen i DS/EN 15643-1:2010 [4] er blevet indført, og det dækker over 3 søjler: Det sociale, det miljømæssige og det økonomiske. Det betyder, at bygværker i fremtiden vil blive vurderet ud fra, hvor bæredygtige de er, som foruden en vurdering af miljøpåvirkningerne. Det kræver en vurdering af parametre som fx æstetik, indeklima, sundhed som en del af "det sociale" og en vurdering af bygværkets totale omkostninger som en del af "det økonomiske".



Figur 2. I bæredygtighedsbegrebet arbejdes ud fra en balancering mellem effekter på miljøet, økonomien og det sociale.

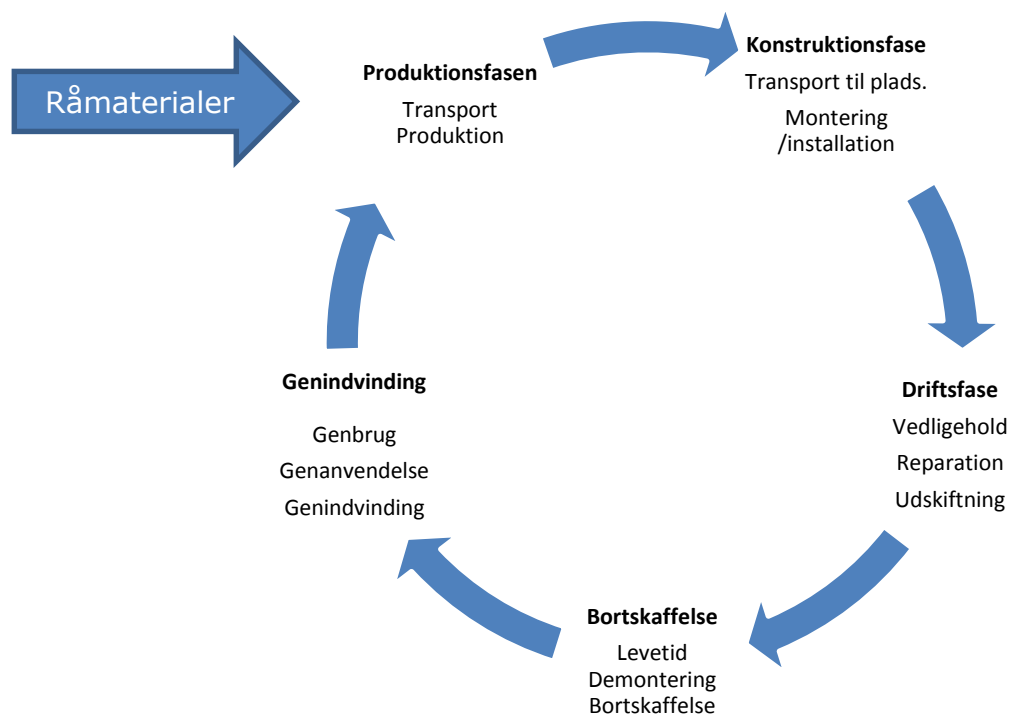
## 21.1.2 Betons miljøaftryk

Når betons miljøaftryk beregnes, er det vigtigt at betragte de miljøaftryk, der er gennem hele betonproduktets livscyklus.

### 21.1.2.1 Livscyklus

Det samlede miljøaftryk for beton skal ses som summen fra hver af betonproduktets livscyklusfaser. Der er ofte stor forskel på aftrykkene fra de forskellige faser. For beton hidrører det tungeste aftryk fra produktionen af delmaterialerne - herunder især fra cementen. Driftsperioden kan indgå med en lav eller måske ligefrem negativ påvirkning, når materialets positive egenskaber på energiforbruget i en bygning regnes med, eller når der ses på CO<sub>2</sub>-optag i betonen, som følge af at beton forbruger CO<sub>2</sub>, når den karbonatiserer.

I en betonkonstruktions levetid indgår følgende faser, som skal medtages i en livscyklusanalyse:



Figur 3. Det er vigtigt at vurdere effekterne på miljø, økonomi og det sociale i et livscyklusperspektiv. Faserne angivet på denne figur viser de relevante faser i en betonkonstruktions levetid.

I tabellen nedenfor er de påvirkninger der medregnes i de enkelte faser beskrevet:

Produktionsfasen	I denne fase ligger indvinding og produktion af delmaterialerne, transporten af delmaterialerne til producenten samt fremstillingen af betonproduktet på betonfabrikken.
Konstruktionsfasen	Konstruktionsfasen dækker transporten af det færdige betonprodukt til byggeplads samt det arbejde, der ligger i at montere eller installere produktet i konstruktionen.
Driftsfasen	Dette er brugssituationen for konstruktionen, som selvfølgelig er forskellig fra en anlægskonstruktion til et byggeri. Denne fase dækker således over forbrug af fx varme og el i et byggeri i driftsfasen og fx miljøbelastninger relateret til drift og vedligehold af en anlægskonstruktion.
Slutfasen	Denne fase medtager miljøpåvirkninger i forbindelse med demontering, nedrivning og bortskaffelse. Således skal forhold som nedknusning, affaldshåndtering og transport til deponering medtages i beregningerne.
Efterliv	De første fire faser beskriver i princippet livscyklus fra vuggetil-grav, men det giver god mening – specielt for betonprodukter – også at se på muligheden for direkte genanvendelse, genbrug som fx vejfyld eller genindvinding af tilslag fra beton til produktion af ny beton. Dette er indbefattet i denne sidste fase.

*Tabel 1. Tabellen indeholder en beskrivelse af hvilke bidrag til miljøet, der er indeholdt de forskellige faser i et betonprodukts livscyklus [5].*

### **21.1.2.2 Funktionel enhed/Deklareret enhed**

For at kunne beregne et betonprodukts miljøpåvirkning i et livscyklus perspektiv er det nødvendigt at fastlægge, hvilken produktenhed man regner på. Der skelnes mellem den såkaldte "funktionelle enhed" og "den deklarerede enhed" [5].

Den funktionelle enhed anvendes når der gennemføres en fuld livscyklusanalyse for produktet fra "vugge til grav". En funktionel enhed kan fx være 1 m<sup>2</sup> bærende væg i en bygning med en veldefineret ydeevne, eller 1 m betonrør i en given dimension med en given ydeevne.

Hvis der gennemføres en analyse af miljøbelastningen i de to første faser af et produkts livscyklus – såkaldt "vugge til port" analyse, taler man om en deklareret enhed. En deklareret enhed kan fx være 1 tons færdigblandet fabriksbeton.

Hvis man sammenligner forskellige betonprodukters miljøvaredeklarationer, så er det vigtigt, at det er beregninger baseret på en funktionel enhed, der sammenlignes. Hvis man fx sammenligner 2 forskellige typer cement, er det vigtigt at forholde sig til, hvilken kvalitet af betonen, som cementen skal bruges i, og dermed hvor meget cement, der skal bruges. Og de oplysninger får man IKKE ved blot at vurdere miljøvaredeklarationen for cement baseret på den deklarerede enhed i en vugge til port analyse.

### **21.1.2.3 Miljøparametre**

De fleste er bekendte med at miljøpåvirkning har noget med energiforbrug og CO<sub>2</sub> udslip at gøre, og disse parametre er da også vigtige. I standardiserede metoder (fx DS/EN 15804:2012 [5]) til at beregne betonprodukters miljøbelastning (såkaldte miljøvaredeklarationer) betragter man imidlertid flere miljøparametre, herunder:

#### ***Klimaændring (global opvarmning) [kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter]***

Klimaændring eller et produkts "carbon footprint" angives i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter, da CO<sub>2</sub> er en primær faktor for klimaforandringer. Men andre gasser har også konsekvenser for den globale opvarmning og medregnes efter en faktor i forhold til betydningen sammenlignet med CO<sub>2</sub>'s påvirkning.

#### ***Nedbrydning af ozonlaget i stratosfæren [kg CFC 11-ækvivalenter]***

CFC-gasser, lattergas samt flere andre forbindelser medfører nedbrydning af ozonlaget, hvilket betyder, at der absorberes mindre af den skadelige solstråling.

#### ***Forsuring af jord- og vandkilder [kg SO<sub>2</sub>-ækvivalenter]***

Udledning af svovldioxid til atmosfæren øger syreindholdet i fx vand med forsuring af jord- og vandkilder til følge.

#### ***Eutrofiering [kg PO<sub>4</sub>-ækvivalenter]***

Eutrofieringen kommer af en "overgødning" med nitrater og fosfater fra landbrug, industri og husholdning og forårsager algevækst i søer, hvilket medfører iltsvind og fiskedød til følge.

#### ***Dannelse af fotokemiske oxidanter [kg etnen-ækvivalenter]***

Fotokemisk ozondannelse er en følge af brug af opløsningsmidler samt udledninger fra biler og kraftværker. Ozon forårsager gener og sygdomme i luftveje hos mennesker, men forvolder også skader på skov og landbrug.

#### ***Udtømmning af fossile energikilder [kg olie-ækvivalenter]***

De fossile brændstoffer og fossile brændsler er en energireserve, der har ligget i jorden gennem millioner af år. Her er organisk materiale blevet udsat for et meget højt tryk, og dermed blevet til forskellige fossile brændstoffer. De fossile brændsler består hovedsageligt af kulstof og brint.

#### ***Udtømmning af mineralske ressourcer [kg Sb-ækvivalenter]***

Parameteren har med de ikke-fornyelige ressourcer som metaller, mineraler, sten, grus, jord etc. at gøre. Stibium er det latinske navn for grundstoffet Antimon med betegnelsen Sb. Det er forekomsten af Antimon som vurderingen af denne miljøparameter bliver holdt op i mod.

Eksempler på data for de ovenstående miljøparametre kan ses i tabel 2, hvor typiske værdier for de forskellige miljøparametre for cement, sand og beton er angivet. Det skal dog bemærkes, at der er lokale forskelle i data fra land til land og fra delmateriale til delmateriale.

Materiale	Klimaændring	Nedbrydning af ozonlaget i stratosfæren ODP	Forsuring af jord- og vandkilder AP	Eutrofiering EP	Dannelse af fotokemiske oxidanter POCP	Udtømning af fossile energikilder	Udtømning af mineral-ske ressourcer
Enhed angivet pr. 1000 kg af materialet.	kg CO <sub>2</sub> ækv	kg CFC 11 ækv	kg SO <sub>2</sub> ækv	kg PO <sub>4</sub> ækv	kg ethene ækv	MJ (nedre brændværdi)	kg Sb ækv
Cement CEM I 52,5	800	4,4·10 <sup>-7</sup>	0,9	0,12	0,1	1155	1,4·10 <sup>-3</sup>
Sand (0/2)	3	0,1·10 <sup>-7</sup>	0,01	0,002	0,001	30	0,0·10 <sup>-3</sup>
Sten (16/32, knust)	13	0,5·10 <sup>-7</sup>	0,02	0,003	0,002	130	1,0·10 <sup>-6</sup>
Plastificering	2530	15,6·10 <sup>-7</sup>	8	5	0,6	30	0,16
Beton C30/37	110	0,7·10 <sup>-7</sup>	0,2	0,03	0,02	455	0,2·10 <sup>-3</sup>

Tabel 2. Eksempler på miljødata for cement, sand og beton. Data stammer fra [PE International, extension database "XIV Construction materials" for GaBi software version 5].

### 21.1.3 Grøn Beton teknologier

Der er mange forskellige teknologier, der kan tages i anvendelse for at optimere et betonprodukts miljøprofil, herunder valg af råmaterialer, optimering af mix design, optimering af produktionsmetoder, forskellige typer af beton genanvendelses-teknologier, osv. [6].

#### 21.1.3.1 Valg af delmaterialer til betonfremstilling

Delmaterialerne til beton er hovedsagelig cement, sand, sten og vand. Cement fremstilles typisk ud fra kalk og ler. Alle disse råstoffer er naturlige materialer som forefindes overalt på jordkloden i store mængder, men udvindingen af råmaterialerne og fremstillingen af cement og beton er forbundet med et vist energiforbrug. Ud over de nævnte materialer er der mange muligheder for at anvende andre materialer, der kan medvirke til at optimere betonprodukters miljøprofil.

Der arbejdes konstant på at finde restprodukter – fra betonindustrien selv eller fra andre industrier - som kan erstatte en del af cementen i beton og derved bidrage til at reducere miljøbelastningen.

Der er også mange muligheder for at anvende genbrugsmaterialer i beton for at beskytte de naturlige ressourcer. Dette er dog ikke så udbredt, da erstatning af sand og sten i beton med fx genbrugsbeton ikke bidrager ret meget i det samlede miljøregnskab og samtidig er forbundet med ikke uvæsentlige produktionsmæssige udfordringer. I det følgende præsenteres nogle af de delmaterialer, der påvirker betonprodukters miljøprofil.

## Cement

Cement er det delmateriale, der kræver mest energi i forbindelse med fremstillingsprocessen og ofte kan man med god tilnærmelse opgøre betons miljøprofil alene på basis af cementindholdet.

I forbindelse med fremstillingen af cement udledes CO<sub>2</sub>, som dels skyldes energiforbruget ved opvarmning (brænding) af klinkerne, dels kalcineringsprocessen (CaCO<sub>3</sub> brændes til CaO plus CO<sub>2</sub>).

Ca. halvdelen af CO<sub>2</sub> udledningen skyldes kalcineringsprocessen. Derfor kan CO<sub>2</sub> udledningen ved fremstilling af cement ikke undgås, men cementproducenterne arbejder kontinuerligt på at udvikle mindre energikrævende processer. Derudover produceres cement, hvor cementklinkerne erstattes med fx kalkfiller (formales sammen med klinkerne) eller forskellige industrielle restprodukter, i form af puzzolaner som flyveaske, mikrosilica og slagge.

I dag udgør cementer med mere end én komponent omkring 70 % af de cementer der produceres og anvendes i Europa. Udover at erstatte klinker i cement kan puzzolaner også tilsættes betonen som delvis erstatning for cement.

I det følgende præsenteres forskellige typer af puzzolaner.

## Puzzolaner

Puzzolaner er fællesbetegnelsen for en række finkornede materialer med cementlignende egenskaber. Puzzolaner kan danne ikke-vandopløselige bindemidler, der ligner de bindemidler, cementklinker danner. Det sker ved, at puzzolanet i betonen reagerer med den Ca(OH)<sub>2</sub>, der dannes ved cementens reaktion med vand.

Der skelnes mellem kunstige puzzolaner som flyveaske, mikrosilica og slagge og naturlige puzzolaner som vulkansk aske, se også afsnittet om flyveaske, mikrosilica og slagge.

Den miljømæssige fordel ved anvendelse af puzzolaner fremkommer ved, at de kan erstatte cementklinker, enten ved direkte substitution under produktion af cement (altså på cementfabrikken) eller ved substitution af cement under produktion af beton (altså på betonfabrikken).

Puzzolaner kan rigtigt anvendt både forbedre og billiggøre beton.

Flyveaske, som er et restprodukt fra kulfyrede kraftværker, er klart det mest anvendte puzzolan. Substitutionen af cement med flyveaske svarer typisk til 10-25 % relativt til cementvægten, men op til 50 % af cementen kan substitueres

Der er dog ikke tale om en kg til kg erstatning, da flyveaske ikke bidrager så meget til betonens styrke som cement og derudover har flyveaske en lavere rumvægt.

Anvendelsen af flyveaske forbedrer betonprodukters miljøprofil, fordi flyveaske kan regnes neutralt i det samlede miljøregnskab. Det kan det, fordi det er kategoriseret som et biprodukt fra produktion af el og varme.

Mikrosilica er et biprodukt ved fremstilling af ferrosilicium og har en lang tradition for anvendelse i beton med doseringer omkring 5 % af bindermængden, typisk i kombination med flyveaske.

Metakaolin fremstilles ved kalcinering af lermineralet kaolinite. Dette er en proces meget lig fremstillingen af cement og derved forbundet med udledning af CO<sub>2</sub>, som skal tages i regning i CO<sub>2</sub> regnskabet.

Bioaske (slamaske) fra forbrænding af spildevandsslam har vist potentiale for anvendelse i beton, men det har en lav puzzolan reaktivitet. Derudover har det vist sig at give betonen en rødlig nuance som et resultat af jernindholdet stammende fra bundfældning i forbindelse med rensningen af spildevandet. EU-LIFE projektet "BioCrete" har demonstreret at bioaske kan anvendes i beton med op til 50 vægt% udskiftning af flyveaske uden forringelse af betonens egenskaber, og der er etableret egnethed af bioasken til miljøklasse P beton.

Endelig er formalet højovns slagge et meget anvendt puzzolan, især til fremstilling af slaggecement med op til 80 % substitution af cementklinkerne. Slagge anvendes dog traditionelt ikke i Danmark, hverken til cement eller beton.

Der findes en lang række andre asker som også kan anvendes i beton, men som typisk ikke er anvendt i Danmark. Som eksempel kan nævnes risskalaske fra forbrænding af risskaller, der har potentiale til at blive et vigtigt delmateriale til beton og er tilgængeligt i store mængder. Risskalaske har et højt indhold af amorft silika (85-90 %) og har en forholdsvis høj puzzolan reaktivitet. Risskalaske kan derfor potentielt erstatte mikrosilica.

### **Inaktive fillere**

Kalkfiller anvendes som navnet antyder som filler i beton og kan i mindre grad erstatte cement til fordel for betonprodukters miljøprofil. Kalkfiller kan dog på nuværende tidspunkt ikke medregnes i det ækvivalente v/c forhold. Kalkfiller accelererer hydratiseringen og giver derved højere tidlig styrke og fillereffekten kan give en tættere og mere holdbar beton.

### **Tilslag**

De miljømæssige overvejelser i forhold til tilslag relaterer sig mest til den geografiske tilgængelighed af tilslagene. Typisk vil en betonproducent vælge tilslag fra en kilde relativt tæt på produktionsstedet for at minimere udgifter til transport.

Energiforbruget ved fremstilling af tilslag er væsentligt mindre end for cement, men i forhold til at mindske forbruget af naturligt tilslag, og risikoen for udtømning (især lokalt) af ressourcer, kan genanvendt tilslag i form af nedknust beton være en mulighed. Der er dog problemer forbundet med at sikre kvaliteten af betonen og anvendelsen er derfor meget begrænset. Nedknust beton har desuden igennem mange år har været et værdifuldt materiale til bundsikring i vejbygning.



Et andet genbrugsmateriale – også med primær anvendelse som bundsikring i vejbygning - som også har potentiale som tilslag i beton, er bundaske fra forbrænding af affald. Anvendelsen som tilslag i beton er dog meget begrænset på grund af udfordringer med at kvalitetssikre produktet og indholdet af fx metaller (især aluminium) og glas.

Endelig kan stenmel fra knusning af klippe anvendes som erstatning for sand i beton, idet dog et for stort indhold af finstof kan øge behovet for cement, hvorved miljøgevinsten forsvinder.

Der er dog ingen tvivl om, at der i fremtiden vil komme yderligere fokus på, at vi genbruger alle ressourcer og der er et politisk fokus på at udvikle teknologier til at "kunne skille en konstruktion ad" og genanvende alle byggematerialerne – helst til deres oprindelige formål.

### **21.1.3.2 Miljømæssig optimering af betonsammensætning**

Betonprodukters miljøprofil afhænger primært af 3 ting:

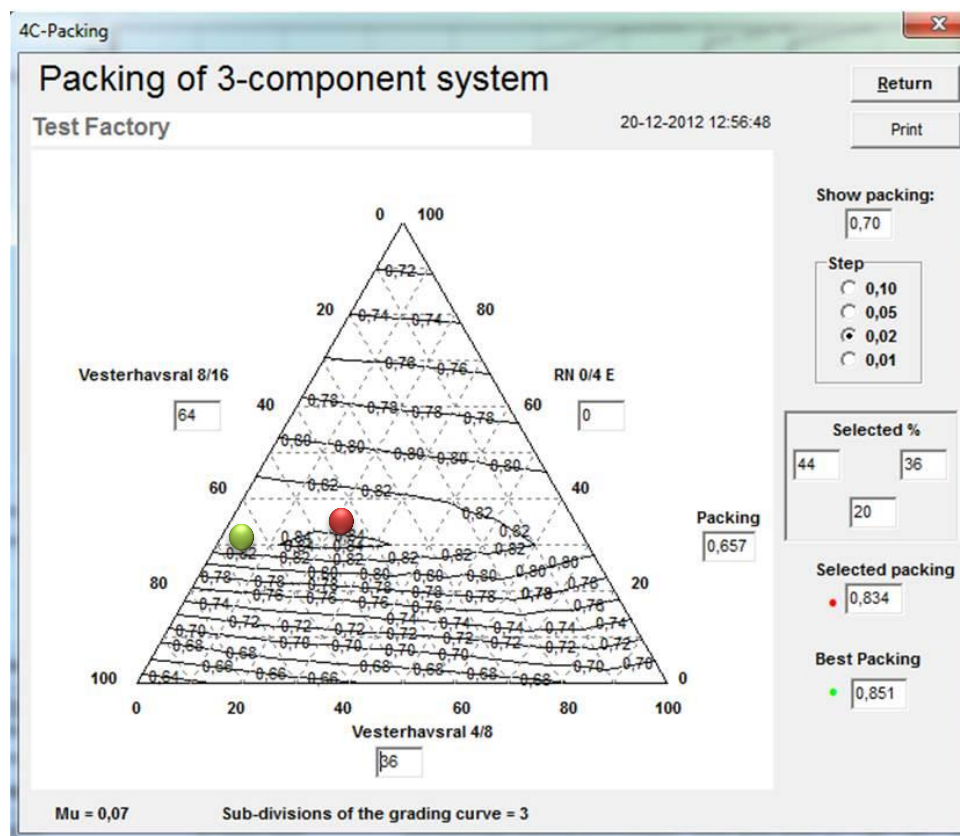
1. Valg af cementtype – der er forskel på forskellige cements miljøprofil, som betyder, at betonens miljøprofil kan optimeres ved det korrekte valg af cement i forhold til den kvalitet af betonen, der skal leveres.
2. Valg af delmaterialer – generelt. Der kan være miljømæssige gevinster ved at sammensætte sin beton, så den netop opfylder kravene i normer og standarder i stedet for at levere "for god beton" til formålet.
3. Optimering af sammensætningen af delmaterialer, således at behovet for cement reduceres. Dette forklares yderligere i det følgende.

Typisk designes en beton ud fra, hvilke tekniske krav betonproduktet skal leve op til. Krav til miljøklasse, styrkeklasse, konsistens mv. er med til at afgøre, hvad vand/cementtallet skal være, hvor meget cement der skal tilsættes, hvilken bindersammensætning betonen skal have osv. Men der er muligheder også indenfor for rammerne i normer og standarder for at optimere på betonsammensætningen og derved nedbringe behovet for cement i betonen.

Når designet af betonen er optimeret i forhold til kravene kan indholdet af pasta og dermed cement optimeres ud fra fx en pakningsanalyse af tilslagene. En pakningsanalyse anvendes til bestemmelse af den kombination af tilslag i forskellige fraktioner, der resulterer i det mindste hulrum imellem tilslagene og dermed det maksimale volumen fast stof i et givent totalvolumen.

Der findes computerværktøjer, der kan udføre pakningsanalyse på baggrund af en eksperimentelt bestemt egenpakning for hver af de enkelte tilslagsfraktioner. Den optimale kombination af tilslag minimerer det nødvendige indhold af pasta for at opnå en given bearbejdelighed, hvorved indholdet af cement kan minimeres og miljøprofilen optimeres.

Generelt er danske betoner optimeret i pakningsmæssig henseende, hvilket især skal ses i lyset af det økonomiske incitament ved at minimere indholdet af cement. Yderligere optimering, set i et miljømæssigt perspektiv, vil kunne foregå ved at optimere miljøprofilen af de enkelte delmaterialer, fx anvendelse af mere "grønne" cementer og/eller alternative delmaterialer (restprodukter) som omtalt ovenfor.



Figur 4. Eksempel på pakningsberegning i computerprogrammet 4C-Packing. Her angiver den grønne prik den største pakning der kan opnås ved de valgte tre typer af tilslag, og den røde prik angiver den kombination af tilslag, der er valgt at anvende i designet af betonen [7].

Optimering af betonsammensætning vil typisk ske i kombination med prøveblandinger for at vurdere den overordnede kvalitet af den friske beton og samtidig bestemme de nødvendige doseringer af plastificering, superplastificering og luftindblanding. Endelig skal samtlige egenskaber af både den friske og hærdnede beton vises at være opfyldt ved en forprøvning af betonen.

### 21.1.3.3 Fremstilling af beton

Den overordnede optimering af en betonproduktion, både i et økonomisk og miljømæssigt perspektiv omfatter bl.a. overvejelser inden for udvikling, dokumentation og indkøring af betonrecepter og betonproduktion samt overvejelser vedrørende energi- og vandforbrug, brændstofforbrug og anvendelse af diverse kemikalier.

De væsentligste parametre i denne sammenhæng er at minimere spild og have procedurer for genanvendelse af evt. spild, fx restbeton og skyllevand. Ved restbeton forstås

kasseret beton og overskudsbeton fra dagens produktion og derudover beton fra diverse tests af betonegenskaber i forbindelse med kvalitetssikring.

Typisk vil en betonproducent bestille en mobilknuser, når mængderne af restbeton er store nok. Den nedknuste beton vil så kunne genanvendes i produktionen eller alternativt sælges som stabilgrus til fundering af veje.

Spildevand fra rensning af blander og betonbiler efter dagens produktion vil kunne samles op i specielle sedimentationstanke og genanvendes i produktionen. Derved kan der spares på vandforbruget og på udgifter forbundet med neutralisering og udledning af spildevand til det kommunale kloaksystem.

I forhold til håndtering af vand er det ydermere væsentligt at kunne styre vandindholdet i betonen. Vandindholdet er en afgørende parameter for egenskaberne af betonen. Typisk vil en betonproducent producere beton med et vand/cement forhold lavere end det nødvendige for at opnå den ønskede styrke.

Dette sker for at imødekomme eventuelle usikkerheder i vanddoseringen som skulle kunne give anledning til et højere vand/cement forhold og derved en lavere styrke. Ud over usikkerheden på selve vanddoseringen er der usikkerhed forbundet med bestemmelse af fugtindholdet i tilslag. Jo bedre disse parametre kan styres, jo højere vand/cement forhold kan man i princippet sigte efter for en given beton, hvorved der kan spares cement.

I forbindelse med produktion og udstøbning af beton anvendes formolie til smøring af blander og forme for at undgå at betonen "brænder" fast. Traditionelt har der i betonindustrien været anvendt mineralsk formolie, men denne kan med fordel for såvel økonomi som miljø og arbejdsmiljø erstattes med vegetabilsk formolie [8].

Mineralsk formolie er fremstillet på basis af råolie og indeholder derfor kulbrinter, som er skadelige for miljøet. Kulbrinterne ender både i betonen og spildevandet fra rengøring, hvilket både betyder at mulighederne for genanvendelse forringes og udgifterne til bortskaffelse øges. Derudover er mineralsk formolie dårligt for arbejdsmiljøet, idet det typisk påføres med spray, hvorved der dannes aerosoler, som kan være skadelige ved indånding.

Vegetabilsk formolie er derimod fremstillet af planteolier, som er let omsættelige i naturen og samtidig er det en fornybar ressource.

#### **21.1.3.4 Anvendelse af beton**

Der findes mange forskellige typer af beton, der anvendes til forskellige formål. Forskellige typer af betonprodukter til forskellige anvendelser er vigtige overvejelser i forbindelse med miljøoptimering af betonkonstruktioner.

#### **Selvkompakterende beton (SCC)**

I de senere år er der globalt og specielt i Danmark sket en markant stigning i anvendelsen af selvkompakterende beton (SCC). SCC har den fordel, at betonen selv flyder

ud i formen og omslutter armeringen, uden at der skal tilføres mekanisk vibrering. Dette har store fordele for arbejdsmiljøet på en byggeplads eller på en elementfabrik, samtidig med at der spares energi til vibrationsudstyr [9].

Til gengæld kræver SCC et lidt højere pulverindhold i betonen, og mange steder i verden er det cementindholdet der øges, hvorved miljøprofilen på betontypen bliver ringere end for en traditionel sætmålsbeton.

I Danmark har vi tradition for at anvende flyveaske i SCC betoner for at øge pulverindholdet, og dermed er SCC betoner i Danmark sammenlignelige med almindelige sætmålsbetoner i et miljøregnskab.

### **Anvendelse af stålfibre**

Armeringen i en betonkonstruktion har et betydeligt bidrag til den samlede miljøbelastning fra betonkonstruktioner. Der ligger derfor også et stort miljømæssigt potentiale i at begrænse armeringsmængden i konstruktionerne.

Det har for nogle konstruktionsdele vist sig muligt at erstatte dele af konstruktionsarmeringen med stålfibre og samlet set blive i stand til at reducere stålmængden i betonkonstruktionen.

I et demonstrationsprojekt på Eternitgrunden [10] i Aalborg, blev den samlede besparelse på mængden af stål i forhold til et traditionelt design på ca. 25 %. Derudover gav løsningen besparelser på arbejdsmiljøet, da en del af det belastende armeringsarbejde blev elimineret af, at "armeringen" (fibrene) var iblandet betonen.

### **Beton og energi**

Beton er et tungt byggemateriale og har en stor varmekapacitet – det vil sige evne til at lagre varme, når temperaturen er høj og afgive varmen igen, når temperaturen i rummet falder [11].

Det betyder, at betonkonstruktioner, der anvendes i bolig og erhvervsbyggeri, kan være med til markant at nedbringe energiforbruget til opvarmning og køling. Det kræver dog, at betonen er eksponeret med frie overflader inde i bygningerne, og dette er ofte en barriere for at udnytte disse fordele.

Nogen arkitekter har dog formået at udnytte betonens varmeakkumulerende evner samtidig med at konstruktionerne er tænkt ind i det æstetiske udtryk af bygningen.

### **Passiv klimatisering**

Termoaktive konstruktioner er tunge bygningskonstruktioner med indstøbte slanger. De termoaktive konstruktioner kan bruges til opvarmning om vinteren og køling om sommeren. Der er derfor ikke behov for andre opvarmnings- og kølesystemer såsom radiatorer eller kølebafler i bygningen.

Der er udarbejdet beregnings værktøjer, der kan til at tage betons varmekapacitet med i beregningerne af en bygnings energiramme.

### 21.1.3.5 CO<sub>2</sub> optag af beton

Beton optager CO<sub>2</sub> i en proces kendt som karbonatisering, hvor CaO omdannes til calcit (CaCO<sub>3</sub>) ved reaktion med vand og atmosfærens CO<sub>2</sub>. Det er den modsatte reaktion af kalcineringsprocessen under fremstillingen af cement.

Betons CO<sub>2</sub>-optag tages i dag ikke i regning i miljømæssige betragtninger, men bl.a. et nordisk projekt har tilvejebragt en del data omkring CO<sub>2</sub>-optag af beton, inklusive indflydelsen af nedknusning af beton, sådan som det praktiseres i Danmark i dag for kasseret/udtjent beton [12].

For Danmark blev det anslået, at helt op til 90 % af den CO<sub>2</sub> som udledes ved kalcineringsprocessen i forbindelse med cementproduktion, optages i betonen over en periode på 100 år.

Der udledes omkring 0,8 ton CO<sub>2</sub> pr. ton cement ved produktionen, hvoraf ca. 0,4 ton stammer fra kalcineringsprocessen og som altså mere eller mindre bliver optaget igen i betonen.

### 21.1.4 Litteratur

- [1] Center for Ressourcebesparende Betonkonstruktioner (Grøn Beton), 1998-2002, [www.gronbeton.dk](http://www.gronbeton.dk)
- [2] Demobro; Mathiesen D. og Berrig A, Teknologisk Institut, 2002.
- [3] [www.nordicinnovation.org/no/publikasjoner/concrete-for-the-environment-a-nordic-network/](http://www.nordicinnovation.org/no/publikasjoner/concrete-for-the-environment-a-nordic-network/)
- [4] DS/EN 15643-1:2010, Bæredygtighed for byggeri og anlæg - Bæredygtigheds-vurdering af bygninger – del 1: Generel struktur.
- [5] DS/EN 15804-1:2012, Bæredygtighed for byggeri og anlæg – Miljøvar-deklara-tioner – Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer.
- [6] Guidelines for green concrete structures, fib bulletin 67, May 2012.
- [7] Glavind M., Sørensen I., Thygesen E., Pakningsberegninger som hjælpemiddel ved betonproportionering, Beton-Teknik, 1999.
- [8] Bødker J., Kulbrinte i betonslam, Miljøstyrelsen 2006.
- [9] Nielsen C.V., "Does SCC really improve the working environment?", Proc 5<sup>th</sup> International symposium on Selfcompacting Concrete, 2007.
- [10] Nyhedsbrev nr. 2 fra Stålfiberbeton-konsortiet, 2012.
- [11] Olsen L., Hansen M.L., Varmeakkumulering i beton, Miljøstyrelsen, 2007.
- [12] Pade C., Guimaras M., The CO<sub>2</sub> uptake of concrete in a 100 years perspective, Cement and concrete research, 2007.