Miljø- og Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Genanvendelse af knust beton i nye betonkonstruktioner

MUDP-Rapport

August 2018

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Jonas Vistesen, Landager

ISBN: 978-87-93710-70-2

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

INDHOLDSFORTEGNELSE

4 INTRODUKTION

6 KAPITEL 1 - BAGGRUND FOR DET CIRKULÆRE BYGGERI

7 CIRKULERING AF MATERIALER

10 BETONBYGNINGER I DAG

11 NEDRIVNING AF BETONBYGNINGER

12 DEN CIRKULÆRE BYGGEPLADS

14 KAPITEL 2 - BYGGEPROCESSEN

15 DE EKSISTERENDE FORHOLD

17 FRA KNUST BYGNING TIL NY BETON

20 KVALITETSKONTROL

22 FACADEUDVIKLING

28 KAPITEL 3 - RESULTATER

29 TEKNISKE RESULTATER

32 ØKONOMISKE RESULTATER

34 MILJØMÆSSIGE RESULTATER - LIVSCYKLUSVURDERING

37 FORMIDLINGSRESULTATER

39 KONKLUSION

INTRODUKTION

Nednust beton på byggepladsen

I Danmark er der i de seneste tre år registreret omkring én million ton betonaffald om året. Ikke al betonaffald registreres, og branchen vurderer, at den reelle mængde betonaffald er dobbelt så stor, som det, der i dag registreres. Det betyder altså, at der reelt produceres omkring to millioner tons betonaffald i Danmark om året. Mere end 90 % af det registrerede affald bliver registreret som genanvendt. Men betonaffaldet finder genanvendelse som ubundne bærelag til veje. Ydermere er der i dag ikke nogen systematisk separering af betonaffaldsstrømme med samme tekniske kvaliteter. Betonaffald med forskellig teknisk kvalitet kan derfor blive blandet sammen.

Der er altså meget få eksempler på måder at genbruge og genanvende beton på i Danmark og i udlandet.

Vi har derfor med dette projekt haft et formål om at udvikle et totalkoncept for on-site genanvendelse af de tunge byggematerialer (beton og tegl), der i dag nedrives. Vi satte os et mål om, at 80-100 % af betonen på en byggeplads skal kunne genanvendes til nye betonkonstruktioner med et fokus på konstruktioner i passiv og moderat miljøklasse. På den måde ønskede vi, at gøre det muligt at spare naturlige ressourcer i form af sand og sten, mens der opnås mere cirkulære materialeflows. Ved at eksemplificere et cirkulært materialeflow, håbede vi at kunne bevise, at man yderligere kan reducere transport og spild af de tunge materialer til betonproduktion og bortskaffelse og dermed reducere den samlede miljøpåvirkning.

Der er i dag stort fokus på at minimere den store CO_2-udledning i byggebranchen. Vi ønskede derfor at demonstrere, at man kan producere betonkonstruktioner som har tilslag af nedknust beton og tegl fra eksisterende bygninger, og derfor gøre det muligt at sætte nye standarder for, hvordan der kan bygges bæredygtigt i beton.

Ved at knuse eksisterende bygninger og bruge det nedknuste materiale i nye konstruktioner, vil betonen i stedet forblive i cirkulation. Med det store fokus på bæredygtighed og cirkulær økonomi i samfundet, vil betonkonstruktioner med tilslag af nedknust beton og tegl være et bæredygtigt alternativ til konventionelle betonkonstruktioner. Det antages, at der vil være et stort marked for en udbredelse af denne type bæredygtige produkter både nationalt og internationalt.

Med dette projekt på Prags Boulevard 43 på Amager demonstrerer vi, at en cirkulær byggeplads er mulig. Med opbygningen af Pelican Self Storage eksemplificerer projektet, hvordan det er muligt at genanvende 100 % af den rene beton fra de eksisterende bygninger direkte på byggepladsen i nye betonkonstruktioner til opbygning.

Vi vil med denne rapport beskrive forudsætningerne og processen for projektet. Derudover beskriver rapporten de økonomiske og miljømæssige vindinger ved at genanvende nedknust beton i nye betonkonstruktioner.

Projektet er et samarbejde mellem Miljøstyrelsen, Pelican Self Storage, Lendager Group, LH Hockerup, Nymølle Stenindustri og Pelcon Materials & Testing.

KAPITEL 1 - BAGGRUND FOR DET CIRKULÆRE BYGGERI

CIRKULERING AF MATERIALER

I løbet af det sidste årti har vi set, hvordan cirkulær økonomi i byggeriet har skabt en unik mulighed for at bidrage til at afhjælpe de negative klimaudfordringer via bæredygtig arkitektur – uden at bremse væksten. Cirkulær økonomi i byggeriet har i de seneste år skabt en unik mulighed for at bidrage til afhjælpning af negative klimaforandringer gennem bæredygtig arkitektur. Der er i dag en overflod af allerede eksisterende byggematerialer i byggebranchen i dag – beton, mursten, træ, plastik, glas, tegl og metal. Disse kan gennem de rette processer genanvendes og bliver til nye materialer med nye funktioner og skabe værdi.

Men cirkulær økonomi i byggesektoren er en vanskelig størrelse. Når der i dag genanvendes byggematerialer, sker det i høj grad gennem håndholdte processer, og der er store udsving i kvalitet, forsyningssikkerhed og mængde. På trods af det har flere spillere etableret sig på markedet for cirkulært byggeri, og forretningspotentialerne er store.

GENBRUG VS. GENANVENDELSE AF BYGGEMATERIALER

Der benyttes overordnet tre tilgange til cirkulering: genbrug, genanvendelse gennem downcycling og genanvendelse gennem upcycling. I Danmark er vi kendt for vores kompetencer indenfor downcycling, hvor vi f.eks. omdanner affald til energi på forbrændingsanlæg eller bygger veje på grus af nedrevne byggematerialer. Ved downcycling undgår man deponi, men fokuseres indsatsen på ressourceoptimering, kan cirkuleringen gøres væsentlig mere effektiv og værdiskabende.

Hvis mængden af genanvendelse er den eneste succesfaktor, fremstår byggeriet i Danmark stærkt. I 2014 udgjorde byggeaffald ca. 35 % af den samlede affaldsmængde. Heraf blev 87 % genanvendt.

At konkludere at genanvendelse i byggesektoren er veludviklet på baggrund af disse tal er dog en overdrivelse. Store mængder af de genanvendte materialer bliver nemlig downcyclet til vejfyld og lignenende, hvorfor de økonomiske og CO_2-mæssige potentialer i cirkuleringen ikke udnyttes maksimalt – langtfra.

TRE TYPER AF CIRKULERING

Genbrug

Genbrug sker når et produkt bevarer samme form, som det oprindeligt har haft. Et godt eksempel herpå er glas eller plastikflasker. Genbrug dækker over nedbrydningen af et produkt, som oparbejdes til samme type produkt, og eventuelt bliver tilføjet virgine materialer i processen.

Upcycling

Upcycling bruger affald eller restprodukter til nye produkter, hvorved materialet opnår en højere værdi. Det sker fx når udtjente aluminiumsdåser bliver til facadeplader, eller når gamle tekstiler (der ellers sendes til forbrænding) bliver til paneler eller isolering i huse. Affaldet får altså mere værdi gennem oparbejdelsesprocesser og levetiden af materialet forlænges. Ved upcycling tillader innovation, at produktet kan erstatte et konventionelt produkt lavet af virgine materialer. Derved spares der på råstoffer og CO_2-udledningen nedsættes. Innovation er her nøgleordet.

Downcycling

Downcycling beskriver den proces, hvor materialet, der er udvundet af et tidligere produkt, bliver brugt til at skabe et nyt produkt med en lavere økonomisk værdi eller en markant lavere levetid end det oprindelige. Det er også downcycling, hvis et produkt af en høj kvalitet og med en høj økonomisk værdi erstatter et produkt, der hverken kræver økonomi eller energi at fremstille. Et eksempel på downcycling er, når konstruktionstræ indgår i en spånpladeproduktion og derved mister noget af den værdi, der knyttede sig til tidligere anvendelse.

OMSTILLINGEN

Byggebranchen er forholdsvis konservativ samt teknisk og aktivmæssigt tung, hvorfor forandring sker over en længere periode. Grundlæggende er der er behov for en større omstilling af mindset i en bevægelse væk fra "business af usual". Dertil er der behov for yderligere erfaring og nye tekniske innovationer, som kan bane vejen for bedre genanvendelse. Vi vil gennem dette projekt bidrage til at udvide det eksisterende vidensgrundlag og innovere måden vi genanvender beton i dag.

Det er derfor vigtigt at erkende, at den cirkulære økonomi i byggebranchen bevæger sig på et tidligt udviklingsstadie, og der er et stadig et stort behov for at hjælpe eksisterende spillere med at forstå mulighederne og incitamenterne for omstilling.

MATERIALER TIL DET CIRKULÆRE BYGGERI

For at forstå det cirkulære byggeri, må vi forstå de materialer byggeriet anvender – nemlig affald fra byggebranchen. Det kan deles op i tre hovedprocesser:

- Nybyggeri
- Renoveringer
- Nedrivning

Mængden af affald fra nedrivning udgør langt den største del med 96%. Genanvendelse af spildmateriale fra nybyggerier er ofte nemmere pga. renhed, kendskab og tilgængelighed. Men når man ser på mængden, er der et kæmpe potentiale i cirkulering af materialerne fra nedrivning.

PROCES FOR MATERIALEUDVIKLING

Der er flere elementer, der skal overvejes, når et materiale skal vurderes til cirkulering, som det ses i figuren ovenfor. Når stand og mængde af materialet er etableret, besluttes det, hvilken cirkulering der vil være passende i forhold til at give materialet nyt liv. Er der f.eks. beton nok som tilslag til de nye betonkonstruktioner i den nye bygning, eller skal der findes alternative genbrugsmetoder? Denne proces er illustreret overfor. Processen bygger på en stræben efter optimeret ressourceforbrug. Det er således en proces for opbygning af materialeforsyningen til den cirkulære byggebranche.

BETONBYGNINGER I DAG

I sin basisform består beton af fire ingredienser: Sten, sand, cement og vand. Blandingsforholdet af disse fire ingredienser bestemmer betonens fysiske og æstetiske egenskaber.

Sten og sand:

Sten og sand opgraves fra grusgrave rundt om i landet med de miljøeffekter det har på natur og biodiversitet. Herefter transporteres sten og sand til en betonfabrik.

Vand:

Vand er i Danmark den lettest tilgængelige ressource i beton. Vandforbruget i produktionen af beton er højt, da vand bruges til at aktivere cementen og få den til at binde sten og sand sammen til beton.

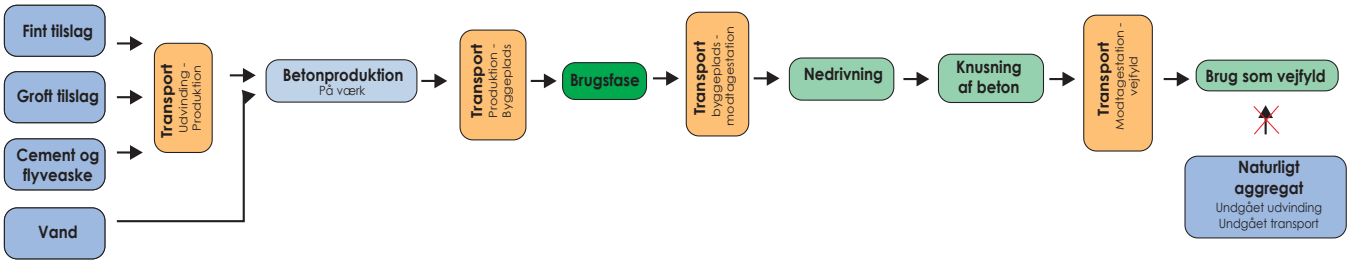
Cement:

Cement er bindemiddel i betonproduktionen. Når cementen kommer i kontakt med vand, binder det tilslaget i form af sand og sten sammen til en samlet masse.

Cement er den mest miljøbelastende del i betonproduktion. Cement produceres i store cementovne der opvarmer kalk og ler til 1400-1500 °C. Denne proces kræver enorme energiressourcer. Det betyder altså, at der i processen produceres ditto enorme mængder CO_2.

Når alle delelementerne til beton er samlet på betonfabrikken, blandes de til beton. Betonen støbes derefter i forme, hvis der skal laves betonelementer, eller fyldes i en rotérbil, hvis betonen skal transporteres til byggepladsen i flydende form og støbes in situ.

Fælles for alle metoderne i dag er, at der er meget transport i produktionen af beton. Fra grusgrav til betonfabrik, fra cementfabrik til betonfabrik og fra betonfabrikken til byggepladsen. Al denne transport kræver store mængder energi, da især den færdigblandede beton er tung, bl.a. grundet højt vandindhold.



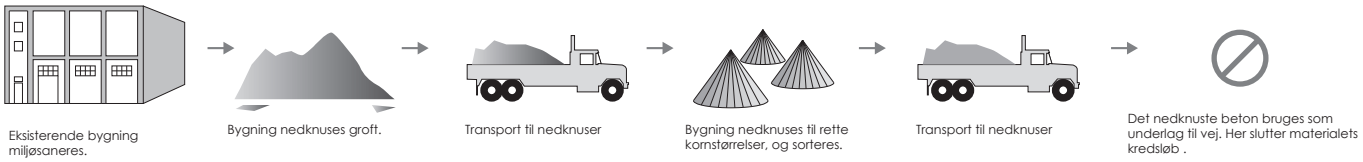
Betonproduktionmed virgint tilslag

NEDRIVNING AF BETONBYGNINGER

I dag er der krav til nedrivning af bygninger, der betyder, at de forskellige affaldsfraktioner skal sorteres. Træ sorteres i en container, gips i en anden, beton i en tredje og så fremdeles. Danmark har gennem lovgivning gjort det muligt at genanvende de forskellige affaldsfraktioner fra byggebranchen i en vis grad. Det betyder, at betonen i dag genanvendes kvantitativt. Man bør dog stille spørgsmålstegn ved, om måden betonen bliver brugt på, er den mest ressourceeffektive og værdiskabende.

Når en betonbygning rives ned i dag, er første skridt at teste om bygningen indeholder farlige stoffer, som ikke må blandes sammen med de rene materialefraktioner. Bygningsdelene testes for PCB, bly og andre miljøskadelige stoffer. Bygningsdelene bliver renset før nedrivningen, og de miljøskadelige stoffer bringes i depot.

Når miljøsaneringen af bygningerne er afsluttet, nedrives bygningerne og de forskellige materialefraktioner sorteres. Betonen køres til nedknusning hos specialiserede firmaer og den nedknuste beton benyttes som tilslag under veje.



Den lineære byggeplads.

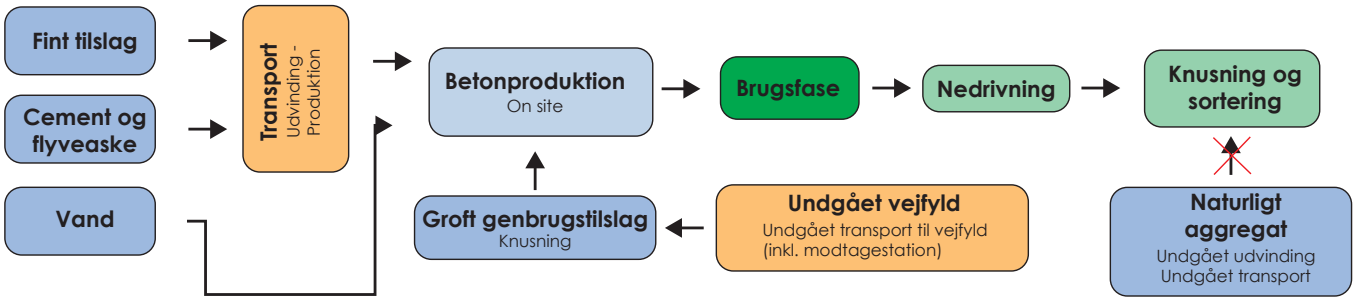
DEN CIRKULÆRE BYGGEPLADS

Vores mål med projektet var at skabe en cirkulær byggeplads. Derfor ønskede vi at udelade flere transportflows for materialer til og fra byggepladsen i forbindelse med nedrivning af den eksisterende bygningsmasse, men også i konstruktionen af de nye bygninger på grunden.

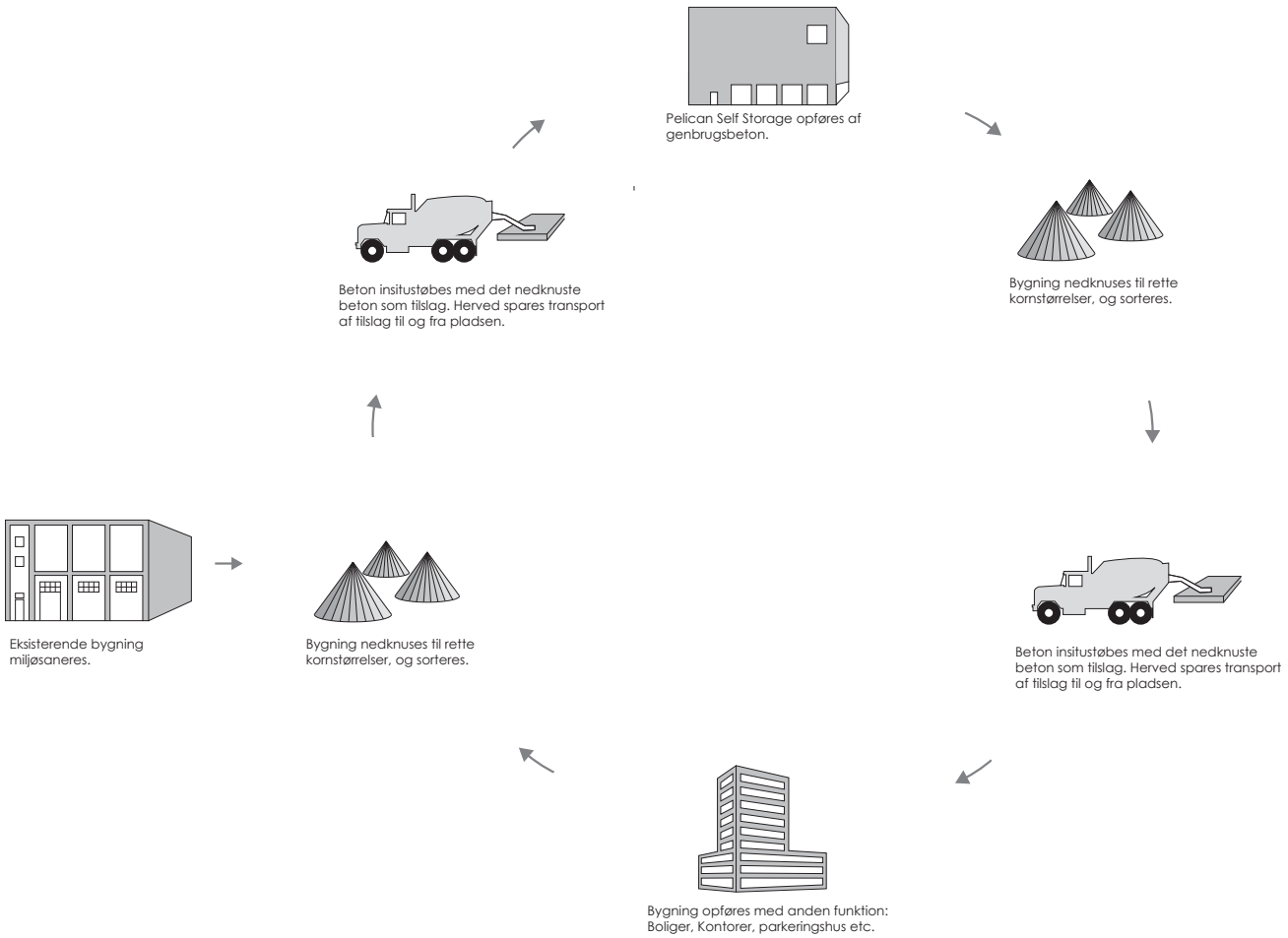
Vi havde sat som mål, at 80-100 % af de rene betonfraktioner fra de eksisterende bygninger skulle bruges direkte på byggepladsen i nye konstruktioner. Vi ønskede ydermere at spare CO_2 ved at undgå transport og spild. Dette går hånd i hånd med ønsket om den høje anvendelses%, da den nedknuste beton ikke skal transporteres til modtagestationer for beton, da den bliver genbrugt direkte på den samme byggeplads. Der skal ligeledes heller ikke transporteres sten og grus til et betonværk, og den færdige beton skal ikke transporteres fra et eksternt betonværk til byggepladsen. Den cirkulære byggeplads har altså de fordele, at der skal transporteres langt færre materialer til og fra byggepladsen.

Når sten og grus blandes som tilslag til beton, kan det aldrig vende tilbage til sin oprindelige form som sten og grus. Derfor er det en fordel, hvis der skabes et materialeflow, hvor det ikke er nødvendigt at grave sten og grus op af jorden til produktionen af beton. Hvis man i stedet bruger nedknust beton fra bygninger, der skal nedrives, benytter man et materiale, som allerede er forurenet af betonen. Materialet beholder derved sin plads i materialekredsløbet.

På nuværende tidspunkt er det ikke kutyme i Danmark at producere beton på mobile anlæg med nedknust beton som tilslag. Derfor var det vigtigt, at vi i processen udviklede en grundig kontrol og dokumentationsplan. Der blev i projektteamet udviklet en sådan plan, som blev fremvist til Københavns Kommune, som på den baggrund gav dispensation til at producere beton med nedknust beton som 100 % af det grove tilslag i den nye beton til både bærende og ikke bærende konstruktioner i demonstrationsbyggeriet.



Betonproduktion med genbrugstilslag direkte anvendt på samme byggegrund



Det cirkulære byggeplads gør, at byggematerialer fra de eksisterende bygninger kan genbruges direkte på byggepladsen. Derved skabes et cirkulært lukket materialeflow

KAPITEL 2 - BYGGEPROCESSEN

Sortering af nedknust beton til de rette kornstørrelser

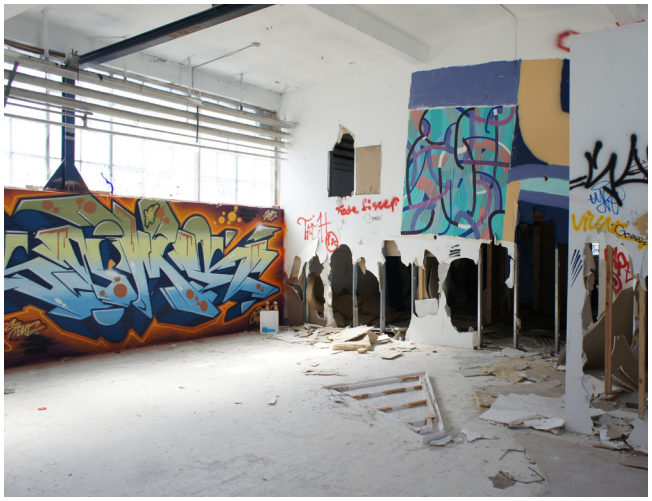
DE EKSISTERENDE FORHOLD

Inden projektets igangsættelse var det på byggegrunden fire forskellige bygninger (se billeder næste sider). Bygningerne bestod af en blanding af beton, tegl og gips og var i rigtig dårlig stand. Ved hjælp af en screening af bygningerne blev mængden af beton analyseret, og det blev på den baggrund besluttet, at grunden egnede sig til at blive omdannet til en cirkulær byggeplads. Projektparterne blev enige om, at nedriveren skulle knuse og sortere al beton fra de eksisterende bygninger og efterlade det i to bunker på byggepladsen. Herefter ville det kunne indgå som tilslag i nye betonkonstruktioner.

De materialer, der ikke skulle bruges som tilslag i den nye beton; det vil sige tegl, gips og metal, blev sorteret fra og sendt til genanvendelse eller i depot efter de i Danmark gældende regler.

Når der arbejdes med cirkulære materialeflows i byggeri er sporbarheden for materialerne vigtig. Årsagen er, at når der laves beton med nedknust beton som tilslag, er det vigtigt at vide, hvor materialerne kommer fra. Sporbarheden er altså vigtig for at have kontrol over kvaliteten af det tilslag, der bruges i betonen. Mindst ligeså vigtigt er det for at sikre, at tilslaget ikke indeholder uønskede stoffer og urenheder. Disse stoffer kan være stoffer som PCB og bly, men også organisk materiale i den nedknuste beton er dårligt for kvaliteten af tilslaget.

På dette projekt blev sporbarhed håndteret på pladsen, således at der var styring mellem bygninger, der blev nedrevet, og at den pågældende beton blev udsorteret efter miljøklasse og til sidst knust og blandet til beton.



De eksisterende bygninger

FRA KNUST BYGNING TIL NY BETON

For at kunne nå vores mål om at skabe en cirkulær byggeplads, er det, som beskrevet tidligere, værd at se på transportflows i byggeprocessen. I dette projekt var vi i den taknemmelige situation, at vi kunne udelade flere transportflows for materialer til og fra byggepladsen i forbindelse med nedrivning af den eksisterende bygningsmasse samt konstruktion af nye bygninger på grunden, da vi byggede Pelican Self Storage af de bygninger, der allerede var på pladsen.

På vejen mod en cirkulær byggeplads, vil der selvsagt være en række processer, der ændrer sig væsentligt i forhold til normal produktion og levering af beton i forhold, hvordan den typiske proces foregår i dag. De største ændringer vil ske i forbindelse med følgende forhold:

- *Sortering og nedknusning på byggepladsen*
- *Produktion på mobilt anlæg*
- *Kvalitetssikre på byggepladsen*
- *Ændret arbejdsrytme på byggepladsen*

Nedknusning og sortering af den eksisterende beton på byggepladsen giver nogle udfordringer. Byggepladsen skal have en vis størrelse, hvis der skal være plads til sorteringsanlægget. Inden sorteringen går i gang, er det vigtigt at gøre sig klart, hvilke kornstørrelser betonen skal sorteres i. Når dette er klargjort, kan nedknusningen og sorteringen sættes i gang.

I dette projekt foregik nedknusningen af betonen på et mobilt knuseanlæg, der knuste de eksisterende bygninger til mindre stykker. Betonen blev nedknust til en kornstørrelse på 0-32 mm. Det vil sige at størrelserne på det nedknuste materiale går fra helt fint betonstøv til klumper med en maksimal størrelse på 32 mm i diameter. Dette tilslagsmateriale kan ikke bruges direkte i ny beton, da de mindste fraktioner fra knusningen vil gøre den færdige beton svag. Derudover er det meget svært at styre mængden af vand, der skal puttes i den færdige beton, hvis der er betonstøv i blandingen. Løsningen herpå var en sortering af tilslaget, hvor de fineste fraktioner blev sorteret fra. Derved blev det muligt at styre betonens egenskaber meget præcist i betonanlægget.

Produktionen på det mobile betonanlæg gav nogle udfordringer på byggepladsen, men det viste sig også hurtigt, at der var en række fordele ved at produere betonen direkte på pladsen. Vores udfordringer bestod hovedsageligt i, at entreprenørerne skulle lave betonarbejdet på en anden måde, end de var vant til. Til lignende projekter ville entreprenøren typisk bruge en laser screed til udjævning af betonen. En laser screed er en stor maskine, der er effektiv til udjævning af meget store betonflader, hvor betonen bliver udlagt på hele fladen på én gang. Men på grund af det valgte satsblandeanlæg, kom betonen i demonstrationsprojektet i mindre satser. Vi måtte derfor løse opgaven på anden vis. Vi valgte derfor at anvende den traditionelle og mere manuelle måde – nemlig at jutte betonen ud.

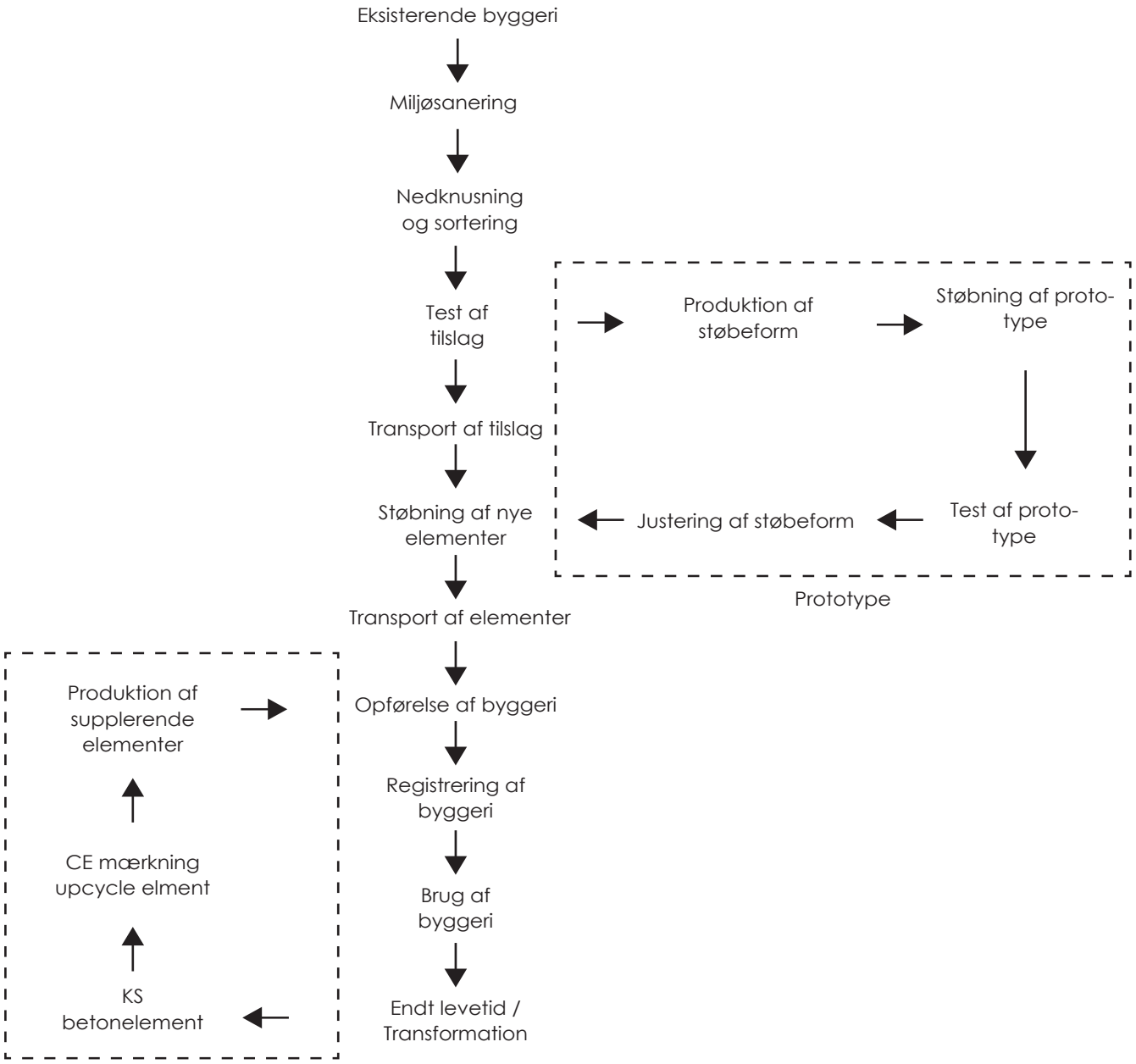
Normalt er det en tung proces at jutte beton ud. Men da vi havde det mobile betonanlæg på selve pladsen, var det selvsagt meget let at justere betonens konsistens. Desuden var betonen af samme årsag meget frisk og derfor var det utroligt let at arbejde med. De to betonarbejdere kunne tilsammen udlægge 1600 m2 terrændæk på én dag., Det faktum at de kunne få leveret den friske beton, lige når de havde brug for det, og ikke skulle vente på, at betonbilerne kom til fra en betonproducent, betød altså at de to betonarbejdere kunne arbejde utroligt effektivt og uden betydeligt spild. De udeladte transportflows betød altså, at der blev kun produceret lige præcis den mængde beton, der var brug for på pladsen – og i det tempo, der krævedes.

Konstruktionsdelene, der blev støbt af genbrugsbeton, er terrændæk og fundamenter. Disse dele er valgt fordi de er i passiv miljøklasse

Efter at betonen var hærdet en smule op, blev terrændæk af beton slebet for at lade det knuste betontilslag stå frem i den færdige overflade.

Det er vigtigt at tage stilling til støj- og støvudfordringer, der måtte opstå, når der knuses og støbes beton direkte på byggepladsen. Når der støbes in-situ kan vibrationsarbejdet give anledning til støj på byggepladense. Støjen kommer bl.a. fra kompressorer og generatorer fra vibrationsudstyret. Vanligvis vil rotervogn og pumpearbejde give anledning til en del støj, men da dette ikke blev anvendt i denne proces er denne støj undgået. Støjen fra brug af rendegraver og blandemaskine har til gengæld udgjort en støjgene i stedet.

Ved knusning og genavendelse af beton på pladsen kan der opstå støvgener i processen. Vand og fugt er den simpleste metode til at undgå støv. I knuseanlægget er der installeret et sprinklersystem, som sørger for at det knuste materiale er fugtigt, og dermed minsker støvgener. Ved blandingsprocssen kan der med fordel tilsættes vand fra starten af, således tilslaget ikke støver.



Processen for udvikling af genbrugsbeton

To betonarbejdere lægger sidste hånd på dagens 1600 m² betondæk

KVALITETSKONTROL

Når der bygges, er det essentielt at sikre, at det holder. Derfor er der udarbejdet en masse retningslinjer og lovgivning for at sikre kvalitet og holdbarhed. I vores tilfælde var vi udenfor en traditionel tilgang og det var derfor ekstra vigtigt, at holde en grundig kontrol- og dokumentationsplan for at kunne dokumentere overfor de kommunale dispensationer, at en cirkulær byggeplads er en mulig og holdbar løsning.

Kontrollen skete i to faser:

Den første kontrol var på Pelcons Materials & Testings laboratorium, hvor tilslaget blev testet for renhed, styrke og vandoptag. Laboratorieanalyserne blev foretaget af 4-22 mm fraktioner omfattende: sortering og kornkurve, densitet og vandabsorption, chloridindhold og vandopløselige alkalier, og klassificering af materialet iht. det nedknuste materiales bestanddele.

Pelcon Materials & Testing udviklede recepter til brug i demonstationsbyggeriet, der levede op til den ønskede styrke til de forskellige konstruktionsdele.

Den anden kontrol var på pladsen, hvor den færdigproducerede beton blev testet for bearbejdelighed, vandindhold og sætmål.

Betonen blev produceret på et satsblandeanlæg. Dette gjorde, at hver betonsats kunne kontrolleres, inden det blev brugt i byggeriet.

1. Det mobile betonanlæg inspiceres

2. Betonen produceres på det mobile betonanlæg

3. Der tages sætmål af betonen

4. Måling af vandindhold i betonen

5. Den færdige beton flyttes flyttes til støbestedet

6. Betonen udstøbes

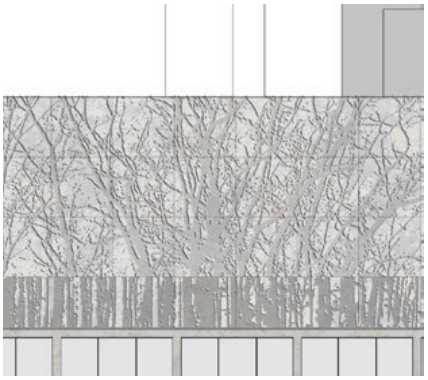
FACADEUDVIKLING

En central del af projektet var udviklingen af faceelementerne. Målet var at skabe et levende betonelement, som både fremstod æstetisk og som kunne indrage naturen i byen.

TRÆET

Naturen vokser efter principper, som kan forståes ud fra matematiske formler kaldet fraktaler.

Træet ændrer farve ved årstidernes skiften. Bladene bliver gule og røde om efteråret og lysegrønne om foråret.



FACADEN

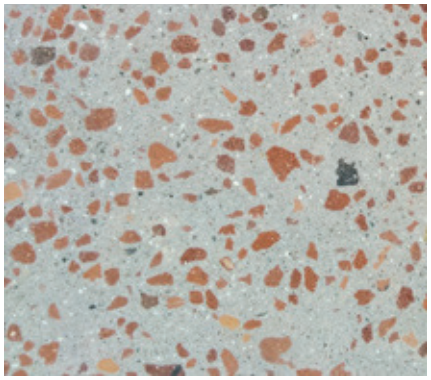
Facademønstret bruger fraktaler til at skabe et mønset, som ligger mellem genkendelighed og abstraktration

Ved at begrønne facadem vil Pelicanbygningen skifte udtryk med årstidernes skift

Planter optager CO_2 i deres masse når de vokser. Derved renser planterne luften for den forurening mennesker udleder til luften.

Skove er verdens lunger. Gennem fotosyntese omdanner planter CO_2 til O_2.

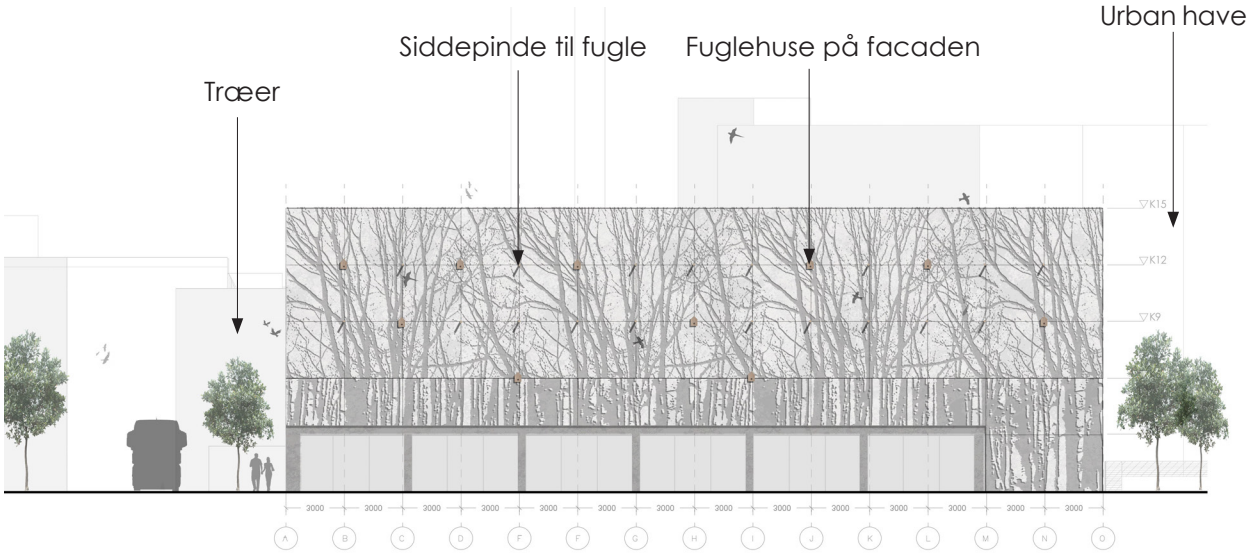
Skoven har en høj biodiversitet med dyr og planter. Dyr kommer til specifikke områder forid forholdenen er favorable.

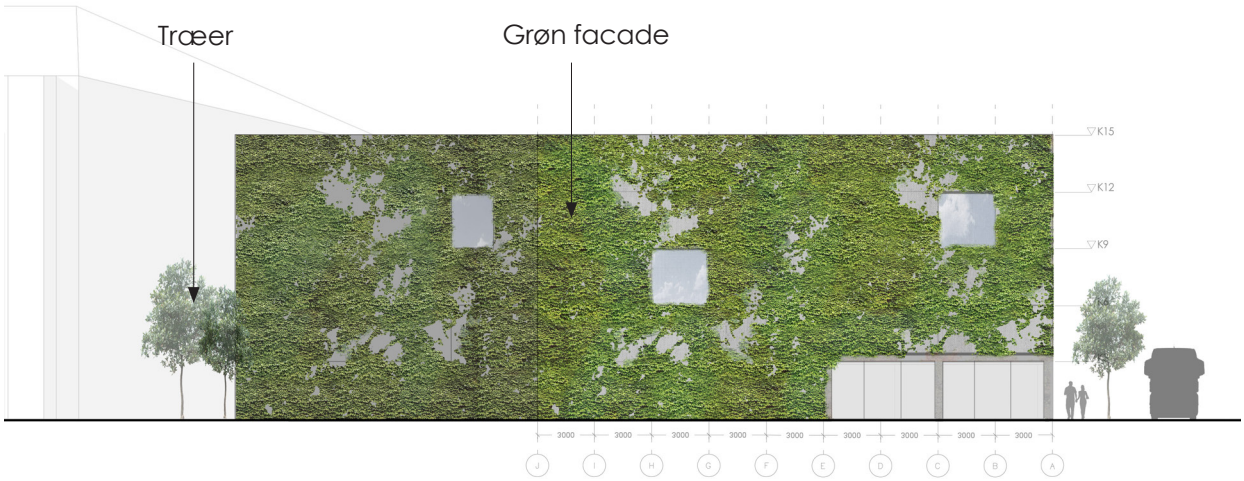


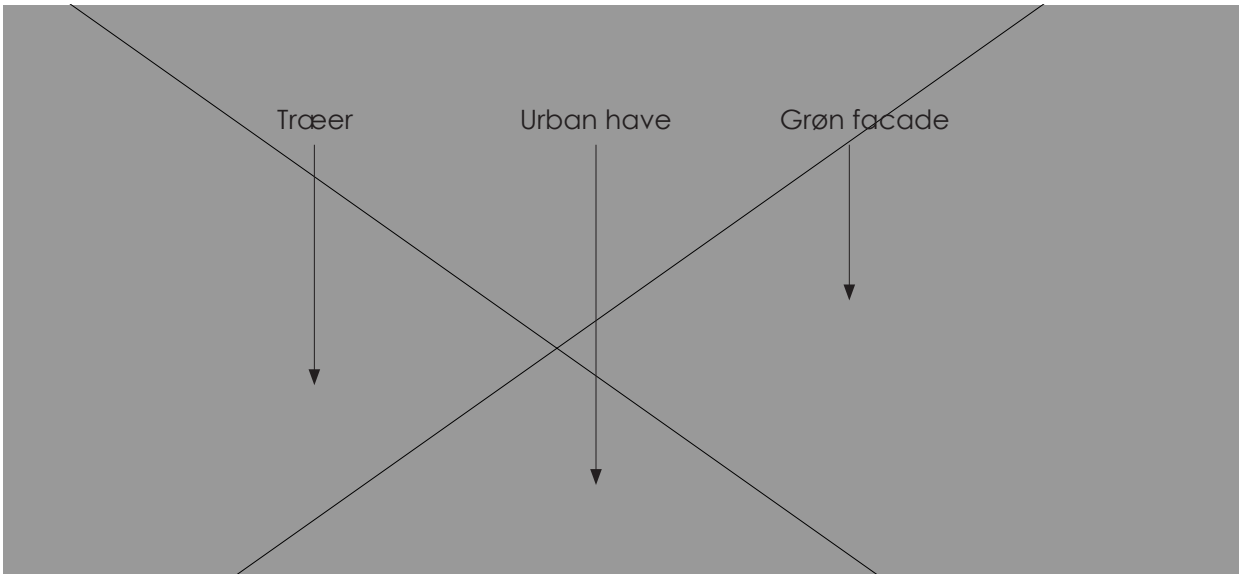
Pelican-bygningen er bygget af genbrugsbeton. Bygningen har reduceret CO_2-aftrykket med op til 11% gennem materialerne.

Begrønningen af facaden gør, at bygningen kan lave fotosyntese. Fotosyntes er processen hvorved planter omdanner sollys og CO_2 til ilt.

For at øge biodiversiteten bliver der arbejdet aktivt med at forbedre forholdene for dyrene i byen.

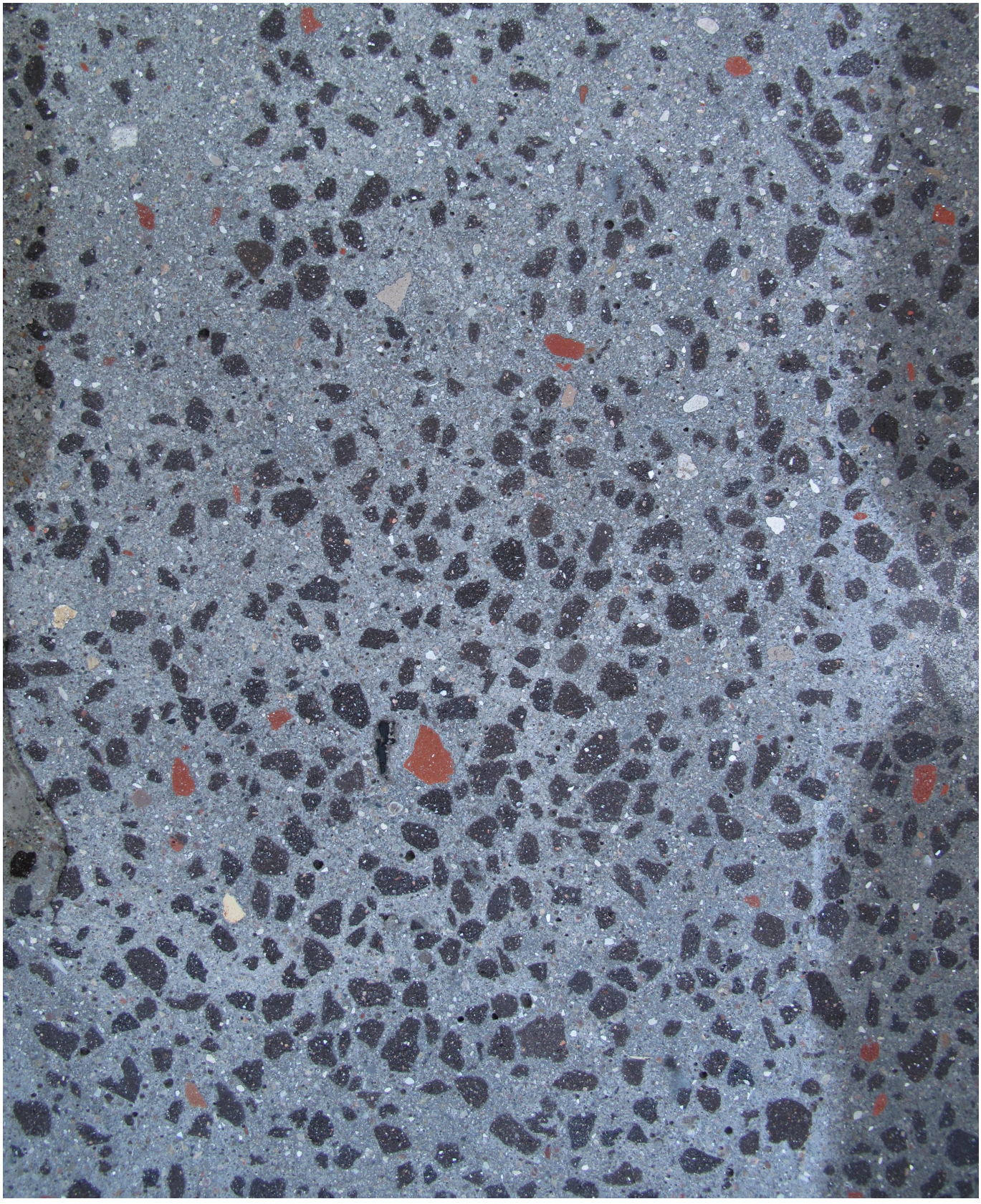

Urban have
Siddepinde til fugle
Fuglehuse på facaden
Træer
K15
K12
K9


Træer
Grøn facade
K15
K12
K9


Træer
Urban have
Grøn facade

Støbeform til facader (Foto: Rasmus Hjortshøj - COAST Studio)

KAPITEL 3 - RESULTATER



Genbrugsbeton

TEKNISKE RESULTATER

SORTERING OG DEKLARATION AF GENBRUGSTILSLAGET

Vores tekniske resultater for sortering og deklaration af genbrugstilslaget vil her fremgå for at give et faktuelt overblik. Indledningsvis blev der udtaget og udført sigteanalyser af råmaterialet fra bunkerne med knust beton. Det viste sig at kun 20-30 % af materialet lå i fraktionen 4-16, hvorimod, at hvis Dmax blev øget til 22 mm, ville 40-50 % af materialet være i den anvendelige fraktion. Derfor blev det besluttet af sortere materialet i tre fraktioner: 0-4 mm, 4-22 mm og >22 mm. Faktionerne er vist på billedet nedenfor.

I henhold til DS/EN 12620 og DS 2426, tabel 2426-3, stilles der en række krav til groft tilslag af knust genanvendt beton til miljøklasse P:

- Hvilke sorteringer der kan anvendes.
- At kornkurven skal deklareres
- At densitet og vandabsorption skal deklareres
- At chloridindhold skal deklareres.
- At vandopløselige alkalier skal deklareres.
- At materialet klassificeres ift. bestandele og renhed.

Derfor er der udtaget prøver fra bunken med 4-22 mm materialet, hvilke er analyseret iht. ovenstående krav. Resultaterne analyserne er vist på næste side.

På baggrund af analyserne, er det PELCON's vurdering, at materialet er velegnet til brug som groft tilslag til beton i miljøklasse P.

P1: 0-4 mm | P1: 4-25 mm | P1: >25 mm

P2: 0-4 mm | P2: 4-25 mm | P2: >25 mm

Fotos af nedknust beton fra de oprindelige bunker i sigtede fraktioner.

Sortering af materialet i 3 fraktioner

Materiale	Vægt [g]	Indhold [vægt%]
Beton	2467,3	79
Stenaggregater	569,6	18
Tegl og mursten	97,3	3
Glas	0,2	0
Total	3134,4	100
Materiale	Volumen [cm^3]	Mængdeforhold [cm^3/kg]
Træstykker, flydende	1,2	1,7

Resultat at håndpetografisk analyse iht. DS/EN 933-11 for 4-22 mm-fraktionen

Sigtestørrelse [mm]		Krav til gennemfald		Gennemfald		Er krarv opfyldt?
		[vægt%]	[tolerance, %]	[vægt%]	[tolerance, %]	
2D	44	100		100		OK
1,4D	31	98-100		100		OK
D	22	90-99		100		OK
D/2	11	25-70	± 17,5	53	± 10	OK
d	4	0-15		10		OK
d/2	2	0-5		7		Nej

Krav til groft tilslag af typen Gc90/15, jf. DS/EN 12620 tabel 2 og 3 sammenholdt med målte værdier for 4-22 materialet

Prøve ID	Tilsyneladende densitet (kg/m^3)	Densitet, tør (kg/m^3)	Densitet, v.o.t. (kg/m^3)	Absorption (%)
1	2585	2335	2432	4,1
2	2584	2347	2439	3,9
Middelværdi	2584	2341	2435	4,0

Densitet og vandabsorption for 4-22 mm materialet

Delprøvenr.	**Na_2O [masse%]**
1-1	0,004
1-2	0,003
Middelværdi	**0,003**

Indhold af vandopløselige alkalier for 4-22 mm materialet

Delprøvenr.	**Chloridindhold [masse%]**
1-1	0,004
1-2	0,004
Middelværdi	**0,004**

Chloridindhold for 4-22 mm materialet

RECEPT OG STYRKEUDVIKLING

I PELCON's laboratorium er der udviklet og afprøvet i alt otte recepter. De målte styrker er vist på grafen.

For at gøre genbrugsbetonen mindst mulig CO_2-belastende, er en del af cementen erstattet af flyveaske. Der er dog også undersøgt referenceblandinger (mix 5 og 8) med ren cement. Udover at reducere CO_2-belastningen, vil tilsætning af flyveaske reducere risikoen for alkalikiselskader i betonen og reducere risikoen for, at der opstår termorevner i konstruktionen under betonens hærdning.

Som ventet giver tilsætning af flyveaske en øget styrketilvækst til de sene terminer - fra 28 til 56 døgn.

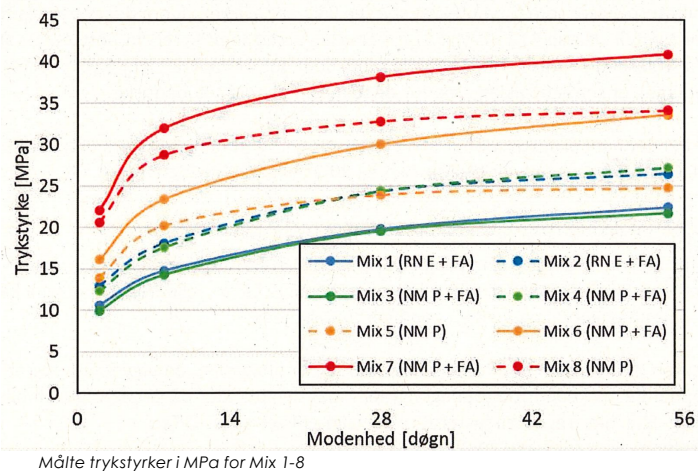
Det er i projektforløbet besluttet at benytte en C30 beton som standard recept. PELCON's Mix 7 opfylder kravene til en C30 beton og betonen fremstår samtidig robust, sammenhængende og med en god bearbejdelighed.

Recept, Mix 7 er efterfølgende blevet finjusteret, så den opnår de ønskede friskbetonegenskaber, når den blandes på det mobile blandeanlæg. Der udtages prøver fra de justerede blandinger og styrkeudviklingen sammenlignes med styrkeudviklingen for Mix 7. Resultatet er vist i diagrammerne på nederst.

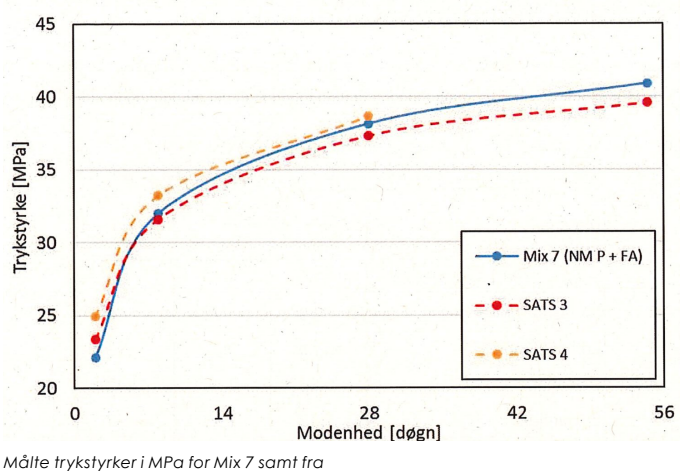
PELCON har vist med resultaterne fra produktionsfasen, at det er muligt at producere beton med 100% genbrugsbeton i stenfraktionen, som har samme friskbeton- og styrkeegenskaber som man vil forvente af en konventionel beton med samme styrkeklasse (C30/37).

Følgende har kunnet iagttages:

- For genbrugsbetonerne er der opnået en karakteristisk styrke på 30 MPa (svarende til styrkeklasse C30/37).
- Der er anvendt samme cementindhold som man vil forvente af en konventionel beton C30/37.
- Det har været muligt at finjustere betonrecepterne, så der for alle konstruktionsdele er opnået en beton med optimal bearbejdelighed.
- Proceduren med at styre mindre variationer i genbrugstilslagets vandindhold ved at justere vandtilsætningen ved dagens begyndelse, indtil ønsket bearbejdelighed er opnået, har vist sig effektiv og resulteret i ensartede resultater opnået for såvel friskbeton som trykstyrker.



Målte trykstyrker i MPa for Mix 1-8



Målte trykstyrker i MPa for Mix 7 samt fra indledende satse blandet på det mobile blandeanlæg

ØKONOMISKE RESULTATER

ØKONOMISKE INCITAMENTER

Generelt er potentialet for cirkulær økonomi i Danmark stort og The Ellen MacArthur Foundation vurderede således i samarbejde med McKinsey & Co. i 2015, at en omstilling til cirkulær økonomi frem mod 2035 i Danmark vil kunne øge BNP med op til 45 mia. kr. ekstra svarende til en 1,4 % stigning, give en øget eksport på tre til seks %, en øget arbejdsindkomst svarende til over 13.000 ekstra jobs, et reduceret dansk CO_2-fodaftryk med tre til syv % og en minimering af ressourceforbruget på op til 50 % – Ud af det potentiale fandt man samtidig at den industri med det samlede største økonomiske potentiale er det byggede miljø, hvor der alene ved "genbrug og højværdigenanvendelse af komponenter og materialer", som vores innovative upcyclede beton hører under, har et økonomisk potentiale på mellem 0,8 og 1,1 milliarder.

Ved at benytte den eksisterende beton til at producere den nye beton undgår vi at skulle bruge jomfruressourcer. Det er med til at frakoble vækst og værdi fra brugen af materialer og CO_2-udledning. Det er vigtigt for verdens betonproduktion er støt stigende og betonbranchen oplever lige nu stor vækst både lokalt og globalt. I Kina tog det eksempelvis kun fra 2011 til 2013 at producere mere beton, end USA brugte i hele det 20. århundrede. Det er en udfordring, men det betyder også, at det globale potentiale for genbrugsbeton er enormt.

LIFE CYCLE COST-ANALYSE

Genavendelse af beton skal også vurderes ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv. En life cycle cost-analyse (LCC) udregnet på baggrund af et referencescenarie og et genanvendelsesscenarie belyser de økonomiske fordele der er for samfundet, når beton genanvndes i nye betonkonstruktioner. Der kan knyttes en LCC-pris til referencescenariet miljøbelastning på 315kr og en LCC-pris for miljøbelastningen i genanvendelsesscenariet på 278kr. Tabellen nedefor viser den anslåede omkostning for hver påvirkningskategori.

Der er stor usikkerhed omkring værdisætning af miljøpåvirkninger, og det er et tema der stadig er diskuteres

Påvirkningskategori	*Referancescenarie (pris DKK)*	*Genanvendelses-scenarie (pris DKK)*
Global warming, fossil	200	177
Respiratory inorganics	87	72
Human toxicity, non-carc.	13	17
Ecotoxicity, terrestrial	4,8	5,1
Human toxicity, carcinogens	4,3	2,8
Photochemical ozone, vegetat.	3,3	2,2
Eutrophication, terrestrial	1,9	1,5
Acidification	0,62	0,54
Ecotoxicity, aquatic	0,62	0,16
Respiratory organics	0,19	0,12
Ionizing radiation	0,14	0,08
Eutrophication, aquatic	0,04	0,03
Mineral extraction	0,01	0,02
Ozone layer depletion	0,01	0,007
Nature occupation	-0,27	-0,18
Total	**315**	**278**

LCC-screenings resultater fordelt på påvirkningskategorier

og forfines i akademiske kredse. Benyttes der Miljø- og-Fødevareministeriets miljøøkonomiske tal fra nøgletalskatalog, så fås et resultat, der er 10 gange lavere, da den væsentlige pris for CO2 i Miljø- og Fødevareministeriets miljøøkonomiske tal er relateret til de meget lave CO2-

kvotepriser. Denne prissætning af eksternaliteterne skal ikke ses som eksakte tal, men de kan give en indikation af miljøbelastningernes samfundsøkonomiske betydning.

AKTØRER I VÆRDIKÆDEN

Der er og skal være økonomiske incitamenter for alle led i værdikæden. Nedriveren skal normalt betale for at komme af med betonen fra byggepladsen. På den cirkulære byggeplads slipper nedriveren for denne udgift. Entreprenøren får god bearbejdelighed af betonen, mindre spild, samt lettere og billigere adgang til tilslagsmaterialet. Bygherre får øget leveringssikkerhed, og et bæredygtigt byggeri til en konkurrencedygtig pris. Her er det værd at holde sig for øje at netop på grund af den øgede efterspørgsel på beton, som beskrevet i afsnittet ovenfor, er der et stigende økonomisk incitament til at benytte den upcyclede beton på grund af dens tilgængelighed, i det entreprenører i stigende grad oplever at de må vente på jomfrubeton.

MARKEDET

I dag produceres 1.166.784 m3 beton pr år i Danmark, heraf ca. 616.000 m3 i bykontekst. Det forventes at ca. 44 % vil kunne laves som genbrugsbeton med mobile værker. Det vurderes at potentialet er stort, da der i dag ikke er lignende løsninger med cirkulære mobile værker.

Den nye produktionsmetode ved brug af mobilt blandeanlæg har i produktionsperioden på 3.5 måneder skabt ni arbejdspladser. Dette kan skaleres til resterende betonproduktion både i Danmark og internationalt – og bekræfter derved The Ellen MacArthur Foundation og McKinseys analyse af potentialet.

Det har vist sig muligt at producere beton med 100 % genbrugsbeton. Dette er markedsmodent til at kunne skaleres både i Danmark og internationalt. Den økonomiske værdi ved betonproduktion i en cirkulær byggeplads ved brug af mobilt blandeanlæg i Danmark og internationalt formodes at repræsentere 140 kr. pr ton, tilsvarende 160 årsværk. Både eksport af genbrugsbetonproduktion og knowhow af genbrugsbeton vurderes modent til særligt skandinaviske lande og Nordeuropa.

Vi vurderer altså, at der er både arbejdspladser og økonomigevinst at vinde ved at omstille til cirkulær økonomi.

MILJØMÆSSIGE RESULTATER - LIVSCYKLUSVURDERING

Med det stigende behov for beton er det nødvendigt at se nærmere på de miljømæssige konsekvenser ved brug af materialet. Miljøpåvirkningen ved fremstilling og bortskaffelse af byggematerialer er en væsentlig udfordring for natur og samfund. For at sænke miljøpåvirkningen fra det byggede miljø arbejdes der mange steder for omlæggelse af systemet og en eliminering af affald, Dette projekts fremstilling af genbrugsbeton er et vigtigt led i den igangværende omstilling fra lineær tænkning i byggeriet mod etableringen af en cirkulær værdikæde.

Der er foretaget en livscyklusvurderings-screening (LCA-screening) af to scenarier med formål at kunne lave en sammenligning. Screeningen ligger sig metodemæssigt op af ISO 14040 og 14044 standarderne, og er baseret på data fundet via tilgængelig litteratur, databaser, ekspertvurderinger og antagelser. Beregningssoftware er Simapro og karakteriseringsmetode er ILCD 2011 midtpoint. Resultaterne er illustreret i tabeller næste side.

Beregningen tager udgangspunkt i den konkrete case Pelican Self Storage med brug af 100 % genanvendt beton som groft tilslag. Scenariet af én m3 blandet passiv beton klar til brug ved Prags Boulevard sammenlignes med et referencescenarie, hvor der ikke bruges genanvendt tilslag, men almindelige grus.

REDUKTION AF SPILD OG TRANSPORT

Ved produktion af beton på byggeplads i stedet for på betonfabrik, kan opnås en væsentlig lavere spild%. Spildet opstår dels ved leverandøren og dels på byggepladsen:

- Fejlblandinger og fejlstøbninger
- Spild, der skyldes trafik under leverancen, og derved bliver betonen hærdet før den når byggepladsen.
- Spild, der skyldes, at kunden ikke er klar ved levering
- Spild, der skyldes, at kunden bevidst bestiller ekstra beton for at sikre, at projektet ikke bremses, såfremt der er beregnet for lidt beton.

Interviews med otte forskellige virksomheder har belyst at et konservativt estimat er en spild% på 5.8 %. Noget af dette spild er relateret til fejlstøbninger, og vil også kunne forekomme, selvom betonen er blandet på byggepladsen. Derfor er denne del af spildet ikke inkluderet som reduktion ved blanding på byggeplads. Ligeledes nyttiggøres dele af den spildte beton i nye betonprodukter for eksempel ved støbning af "byggeklodser", og denne del af spilder medregnes derfor heller ikke som reduktion. Til dette formål er der derfor regnet med spild% på nul % i genanvendelsesscenariet svarende til 1 m3 beton henholdsvis seks % i referencescenariet svarende til 1,03 m3 beton.

Der opnås en samlet besparelse på 37 kg CO_2-eq ved at bruge genanvendt beton som tilslag og blande på byggepladsen ved én m3 beton anvendt i byggeriet. Det svarer til 24,263 tons CO_2-eq for det samlede byggeri og giver en samlet 11% besparelse i forhold til referencescenariet.

Den sparede transport betyder, at halvdelen af besparelsen blev frigivet ved at der blev transporteret en mindre mængde tilslag, og der spares transport, da man undgår at køre nedknust beton til vejprojekt. Der er i denne beregning medtaget produktion af stabilgrus til vejfyld, da der ikke kan bruges knust beton når det bruges som tilslag i stedet. Den anden halvdel af besparelsen kommer af den mindre spild%, der opnås ved at blande beton direkte på pladsen.

Der er ikke medregnet miljøomkostning forbundet med udvinding af sten som groft tilslag, idet det formodes, at besparelsen ved at erstatte sten med beton, bliver indhentet af den manglende grus til vejfyld. Ligeledes er der heller ikke medregnet undgåede omkostninger forbundet med udvinding af granit som groft tilslag samt transport ved produktion af beton i højere miljøklasser end passiv beton.

Granit udvindes i lande som Norge, Skotland og Italien, hvorefter det fragtes til Danmark. Granitten i groft tilslag benyttes til beton i miljøklasser højere end passiv.

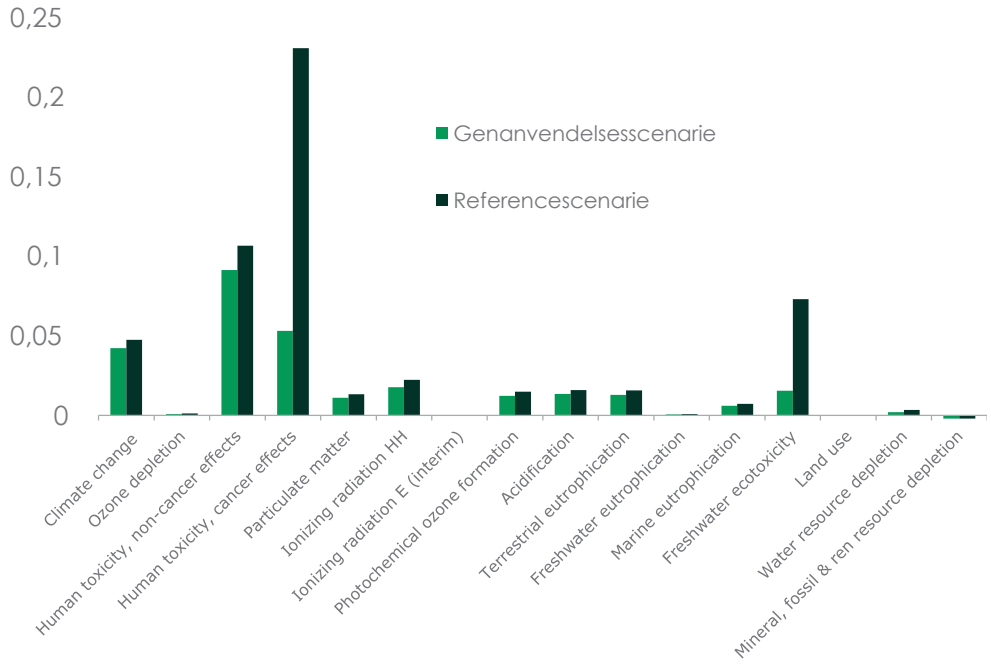
Hvis knust beton i genbrugsbeton i stedet erstatter bortskaffelse af knust beton, vil den miljømæssige gevinst være væsentligt mere end de 11 %, som LCA-screeningen kommer frem til. I LCA-screeningen formodes det, at den nedbrudte beton har en funktion som vejfyldt. Udvindelse af grus til erstatning for knust beton som vejfyld udgør den største negative faktor for genbrugsscenariet i LCA-screeningens komparative analyse af de to scenarier. LCA-screeningens resultat vil derfor se væsentligt anderledes ud, hvis kunst beton ikke kunne bruges som vejfyld.

Process	*Miljøbelastning (kg CO_2-ækvivalent)*
Transport grusgrav til vejfyld (kompensation)	6,41
Nedsivning fra grus	0
Grus til vejfyld (kompensation)	2,45
Transport Virgint tilslag	2,01
Vand	0,108
Fint tilslag	2,46
Blødgøre	7,68
Blandeproces mobilblander	8,2
Cement	276
Transport af knust beton til vejfyld	-8,49
Total	**297**

Miljøbelastning målt i kg CO_2-ækvivalenter for genanvendelsesscenariet

Process	*Miljøbelastning (kg CO_2-ækvivalent)*
Transport fra betonfabrik til byggeplads	8,58
Nedsivning fra knust beton i vejfyld	0
Groft tilslag	2,03
Transport Virgint tilslag	5,31
Vand	0,118
Fint tilslag	2,68
Blødgøre	8,38
Blandeproces fabrik	5,71
Cement	301
Total	**338**

Miljøbelastning målt i kg CO_2-ækvivalenter for referencescenariet



Samlet forskel i miljøbelastning målt på forskellige miljøpåvirkningskategorier. Enheden er miliperson-ækvivalenter (mPE)

ANDRE MIJLØ- OG SUNDHEDSMÆSSIGE PÅVIRKNINGER

Resultaterne fra LCA-screeningen peger desuden (med en vis usikkerhed) på, at der kan undgås en væsentlig miljøbelastning ved ikke at bruge beton som vejfyld, da det giver en del toksiske miljøbelastninger (kræfteffekt) fra nedsivning af stoffer (se diagram s. 36). Her viser referencescenariet mere end fire gange større udslag på Human toxicity (cancer effects) end genanvendelsesscenariet. LCA-screeningen viser ikke hvilke benzen-eq der er tale om, eller om der i forbindelse med brugen af knust beton til vejfyld gøres noget for at hindre udsivningen og dermed den toksiske miljøbelastning. Ligeledes er der et fire gange højere udslag på den toksiske påvirkning på ferskvand (freshwater ecotoxicity). Det anbefales derfor at de nærmere forhold omkring denne mulige miljøbelastning gøres til genstand for yderligere undersøgelse.

Hvis den toksiske miljøbelastning medfører at knust beton ikke er egnet til vejfyld, skal betonen erstattes af et andet materiale. Det mest oplagte er at anvende grus. Dog anslås det at grus vil være en mangelvare i Danmark fremadrettet. Derfor er der desto bedre grund til at erstatte det grus, der anvendes som groft tilslag i beton med groft tilslag af genbrugsbeton. Derved vil det være muligt at afmagre grusreserverne yderligere. Ved udvinding af grus fra grusgrav er der ydermere en miljøbelastning i form af optag af landarealer, som alternativt kunne have haft positiv miljøeffekt som beplantet område, og dermed nedsætte CO_2-påvirkningen fra processen.

METODEMÆSSIGE USIKKERHEDER

LCA-metodens resultater giver en god indikation om miljøpåvirkningen, men kan ikke give et entydigt svar på, hvilken metode der er mest miljøvenlig. Det skyldes blandt andet at LCA-metoden er behæftet med en vis usikkerhed: data stammer fra kilder som kan være mangelfulde, nogle essentielle input er baseret på antagelser frem for faktisk data, og metoden indbefatter, trods standardisering, et vist element af subjektivitet i valg af omfang og inkludering af eksternaliteter.

Desuden bygger LCA-metoden på en lineær struktur og et eksisterende kredsløb for materialer. Det medfører at metoden ofte favoriserer en lineære værdikæde over cirkulære scenarier. Den sammenligning der laves mellem referencescenariet og genanvendelsesscenariet tager udgangspunkt i referencescenariets eksternaliteter, og andre eksternaliteter af genbrugsscenariet inkluderes ikke. LCA-screeningen er således ikke egnet til at drage konklusioner ud fra. Resultaterne kan udelukkende bruges som indikationer på, hvor der er mulige miljømæssige fordel og ulemper, samt som beslutningsgrundlag for videre undersøgelse.

FORMIDLING

Formidling af både vision og resultaterne har været essentielt for at projektet kunne leve op til de langsigtede mål om udbredelse. Målet har været at udbrede viden om mulighederne for genanvendelse af beton i så stor omfang som muligt, så de bæredygtige ideer kan vinde indpas i samfundet. Jo mere projektet synliggøres og eksponeres, des mere virkning vil det have for den samlede byggebranche og jo større værdi har projektet skabt.

Vi har løbende formidlet resultatet gennem faglige tidsskrifter så som Ingeniøren, Mandag Morgen m.fl. Dermed har vi bidraget til at projektets resultater bliver bredt forankret i byggebranchen.

En af de største formidlingsaktiviteter har været i forbindelse med åbningen af udstillingen Wasteland på Dansk Arkitektur Center (DAC) i januar 2017. Wasteland er til dato en af de mest populære udstillinger i DAC, og vi har derfor formået at udbrede budskabet om genanvendelse af ressourcer til et stor publikum.

Wasteland viser, med udgangspunkt i konkrete projekter fra Lendager Group, hvordan affald kan betragtes som vores største uudnyttede ressource og kan indgå i produktionen af nye bygninger og i moderne byudvikling. Udstillingen gør det håndgribeligt, hvordan arkitektoniske greb kan være med til at løse nogle af de globale udfordringer, som verden står overfor.

Vi har med udstillingen inviteret ind i en verden, hvor vægge er lavet af aluminiumsdåser, lofter af plastikflasker, gulve af champagnepropper og vægelementer af genanvendt beton. I Wasteland-udstillingen vises allerede eksisterende eksempler på en sådan verden. Udstillingens udgangspunkt er materialer, som vi kender – nemlig plastik, træ, beton, mursten, glas og metal, som blev fulgt tæt i processen fra restprodukt til værdifulde ressourcer af høj arkitektonisk og æstetisk kvalitet.

Blandt udstillingens installationer er blandt andet facadeelementerne fra Pelican-bygningen og forskellige eksempler på genanvendt beton – lavet på tilslag med beton og tegl. Resultaterne af projektet er derfor i høj grad synliggjort på udstillingen.

Udstillingen er sidenhen blevet til en vandreudstilling og fortsætter derfor med at brede budskabet om det cirkulære byggeri.

VELKOMMEN TIL WASTELAND
WELCOME TO WASTELAND

KONKLUSION

Nednust beton på byggepladsen

På baggrund af projektet kan vi konkludere, at der er fremtidsperspektiver for genanvendelse af nedknust beton som erstatning for groft tilslag. Genanvendelsen giver nemlig beviseligt både økonomisk og miljømæssig gevinst.

Erfaringerne fra projektet har vist, at det er muligt at fremstille genbrugsbeton med groft tilslag bestående af 100 % nedknust beton med egenskaber for såvel frisk som hærdet beton, der fuldt modsvarer en konventionel beton med samme styrkeklasse, i dette tilfælde beton C30/37.

Resultaterne fra produktionen viste tilmed, at det var muligt at opnå en højere betonstyrke med samme cementindhold, og der samtidig blev blandet en beton, der var nemmere at bearbejde. Det skabte ensartede resultater, som giver unikke æstetiske muligheder.

Økonomisk har det vist sig muligt at producere beton med 100 % genbrugsbeton. Dette er markedsmodent til at kunne skaleres både i Danmark og internationalt. Den økonomiske værdi ved betonproduktion i en cirkulær byggeplads ved brug af mobilt blandeanlæg i Danmark og internationalt formodes at repræsentere 140 kr. per ton, hvilket svarer til 160 årsværk.

Den nye produktionsmetode ved brug af mobilt blandeanlæg har i produktionsperioden på 3.5 måneder skabt ni arbejdspladser. Dette kan skaleres til resterende betonproduktion både i Danmark og internationalt. Både eksport af genbrugsbetonproduktion og knowhow af genbrugsbeton vurderes modent til særligt skandinaviske lande og Nordeuropa.

Miljømæssigt blev der til Pelican Self Storage projektet opnået en samlet besparelse på 24,263 ton CO_2-eq ved at bruge genanvendt beton som tilslag og blande på byggepladsen. Det svarer til en konservativ 11 % besparelse i forhold til referencescenariet.

De mest væsentlige faktorer i miljøreduktionen er hhv. reduceret transport og reduceret spild. Behovet for transport af såvel delmaterialer som frisk beton er reduceret væsentligt sammenlignet med traditionel fabriksbeton med naturligt tilslag. Det grove tilslag af nedknust beton er fra de eksisterende bygninger på grunden samt nedknusning og sortering er foretaget på pladsen. Sammenlignet med traditionel udførelse af byggeri, har anvendelsen af genbrugsbeton i dette projekt således resulteret i et markant reduceret transportbehov, fordelt på ca. 85-100 vognlæs sparet bortkørsel af de oprindelige bunker samt 100 læs sparet tilkørsel af traditionel beton. Med den fornødne tilkørsel af sand, cement og flyveaske på i alt

40 vognlæs til det mobile blandeanlæg fratrukket, ender resultatet på mindst 150 vognlæs sparet kørsel.

Den reducerede spildfaktor udgør det andet væsentlige bidrag til miljøforbedringer i sammenligning med konventionel betonproduktion og byggeri. Spildet opstår dels ved leverandøren og dels på byggepladsen ved; fejlblandinger og fejlstøbninger; spild, der skyldes trafik under leverancen, og derved bliver betonen hærdet før den når byggepladsen; spild, der skyldes, at kunden ikke er klar ved levering, eller; spild, der skyldes, at kunden bevidst bestiller ekstra beton for at sikre, at projektet ikke bremses, såfremt der er beregnet for lidt beton.

Derudover er der et potentiale for at mindske den toksiske miljøbelastning fra vejfyld, ved i stedet at bruge ressourcen som groft tilslag i beton. I genbrugsscenariet reduceres nedsivningen af benzen-eq til under en fjerdedel af referencescenariet. Ligeledes sænkes påvirkningen på ferskvand betragteligt i genbrugsscenariet.

Der ligger et uindfriet potentiale i at bruge genbrugsbeton fremfor konventionel beton både kommercielt, miljømæssigt og samfundsøkonomisk.

Der er en række barrierer, som skal overvindes før metoden for alvor er skalérbar. Der er bl.a. en række tekniske forhold vedrørende selve betonens egenskaber, der kræver mere undersøgelse. Der er også brug for en klar lovgivning på området, for eksempel til godkendelse af brug af over 20 % genbrugstilslag i nye betonkonstruktioner og myndighedsgodkendelser ved afvigelser fra normer. En anden barriere værd at nævne er i forhold til logistikken og værdikæder for affaldsstrømme, der skal brydes for at sikre gode genbrugsmaterialer samt i forhold til de organisatoriske og etablerede rammer for hele betonindustrien.

Erfaringerne fra projektet Pelican Self Storage har vist, at der kan skabes en endnu bedre proces med både økonomiske og miljømæssige forbedringer samt et stort skaleringspotentiale både i Danmark og internationalt.

Sortering af nedknust beton

Genanvendelse af knust beton i nye betonkonstruktioner
Vi har med MUDP-projektet Genanvendelse af beton i nye betonkonstruktioner ønsket at undersøge mulighederne for at genanvende knust beton som tilslag i ny beton. Det har resulteret i et demonstrationsprojekt på Prags Boulevard på Amager. Her har vi upcycled beton fra eksisterende bygninger og brugt betonen i nye konstruktioner på den samme grund. Vi har genbrugt de rene betonfraktioner fra de eksisterende bygninger i det nye byggeri og har på den måde opnået en total gen¬anvendelse af betonen fra de nedrevne bygninger. Det betyder, at projektet hat en genanvendelsesprocent på 100.

Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk