

CIRCULARITY
CI

Lokal genanvendelse af beton

Prospekt for udvikling af værdikæde og forretningsmodel og forslag til demonstrationsprojekt

December 2019

VÆRDIKÆDESAMARBEJDET

MINOR CHANGE GROUP - LAURITZEN ADVISING - FIBO INTERCON

BRABRAND BOLIGFORENING

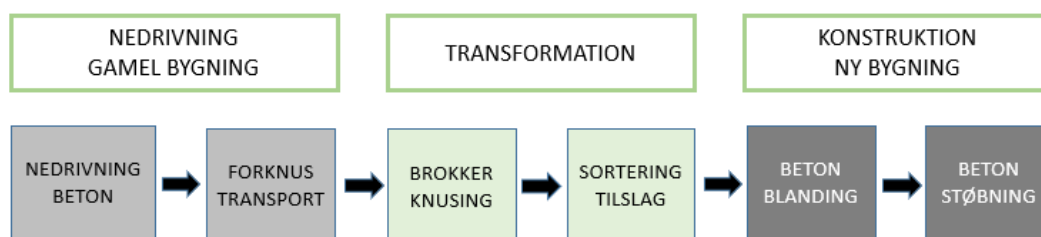
DANSKE MASKINSTATIONER 6 ENTREPRENØRER – DTU BYG

RESUMÉ

I tilknytning til udviklingsprojektet Circularity City har Circularity City ved Minor Change Group, Lauritzen Advising, Brabrand Boligforening, Fibo Intercon, Danske Maskinstationer & Entreprenører og DTU BYG indgået et samarbejde, kaldet Værdikædesamarbejdet, om et prospekt, der sigter på udvikling af lokal genanvendelse af beton. Prospektet omfatter udvikling af værdikæde og forretningsmodel for genanvendelse af beton samt forslag til implementeringsstrategi og demonstrationsprojekt.

Som grundlag for udvikling af værdikæde for genanvendelse af beton er der udført kortlægning af status for de forskellige typer nyttiggørelse af betonaffald: Genbrug af betonkonstruktioner, genanvendelse af knust beton som tilslag i ny beton, genanvendelse af knust beton som ubundne bærelagsmaterialer og nyttiggørelse af knust beton som fyldmaterialer. Danske erfaringer fra demonstrationsprojekter med genanvendelse af beton er kortfattet beskrevet, herunder erfaringer fra bygning af Pelican Self Storage 2017 og Sydhavn Genbrugscenter 2019. I kortlægningen indgår desuden en beskrivelse af de væsentligste forudsætninger for lokal genanvendelse af beton.

Udvikling af en generel værdikæde for genanvendelse af beton tager afsæt i Michal E. Porters værdikæde og en tidsafhængt livscyklus for bygninger og bygningsmaterialer. Værdikæden illustrerer et lineært tidsafhængt forløb fra afslutningen af livscyklus for en gammel bygning til starten af livscyklus for en ny bygning. Forslag til værdikæde for genanvendelse af beton som tilslag i ny beton fremgår af nedenstående figur.



Forslag til værdikæde for genanvendelse af beton som genanvendt tilslag i ny beton.

Værdikædens nøgleaktører omfatter bygherrer, rådgivere, entreprenører, leverandører og myndigheder m.fl., der er knyttet til såvel nedrivning af det gamle byggeri som nybyggeriet og de processer, der er forbundet med transformation af materialer fra nedrivning til nybyggeri.

Den foreslåede forretningsmodellen handler om:

- Produktet – Hvad kan vi tilbyde kunden?
- Salget – Hvordan sælger vi det, og hvem er kunden?
- Organisationen – Hvordan organiseres og gennemføres salget?
- Økonomien – Hvordan tjener vi penge på det?

Med henvisning til den foreslåede værdikæde gives en forklaring på de fire punkter og beskrivelse af metode til økonomisk og miljømæssig sammenligning mellem traditionelle scenarier og genanvendelsesscenarier. Økonomien ligger i forskellen mellem omkostninger i leverance af materialer, herunder især transportomkostninger. Fordelene ved lokal genanvendelse ligger hovedsagelig i besparelse af

- omkostninger til aflevering af beton til modtageanlæg efter nedrivning,
- omkostninger til levering af genanvendt tilslag i stedet for naturligt tilslag, og
- transportomkostninger

Det skal bemærkes, at ved anvendelse af mobilt betonblandeanlæg på plads passende nær pladsen for nybyggeri kan der opnås besparelse i såvel omkostninger til betonblanding som transportomkostninger.

Forskelle i miljøpåvirkninger mellem de to scenarier ligger ligesom økonomien i de forskellige aktiviteter. Hvor de primære miljøpåvirkninger, CO₂ emission, energiforbrug, støv, støj og vibrationer afhænger af hovedsagelig af transportafstande og transportgener. Hertil kommer miljøpåvirkninger fra knusning og sortering af materialer, hvor produktion af naturlige materialer i en grusgrav og knusning af beton på et stationært anlæg er mindre problematisk en knusning og sortering på et mobilt anlæg på en byggeplads.

Reduktion af omkostninger, energiforbrug og CO₂, afhænger af de aktuelle logistiske forhold og mulighederne for at "matche" nye bygge- og anlægsprojekter med nedrivningsprojekter. Den ideelle løsning ligger i genanvendelse af beton fra en nedrivning til et nybyggeri på samme sted. Dette forudsætter god plads og muligheder for opstilling af knuseanlæg og midlertidig lagring af materialer.

Det anbefales, at man indledningsvis skaber et overblik over omkostninger og miljøpåvirkninger ved simple overslagsberegninger og sammenligninger mellem traditionel nedrivning og byggeri med optimeret ressourcelogistik.

Implementering af værdikædens aktiviteter og samarbejde mellem aktørerne omkring de enkelte aktiviteter sigter på en sammenhængende og robust værdikæde rettet mod cirkulær økonomi. Implementeringen skal ses i lyset af regeringens *Strategi for Cirkulær Økonomi* og

den aktuelle planlægning i Miljø- og Fødevareministeriet og de enkelte kommuner om affaldsforebyggelse og ressourceeffektivitet frem til 2022/2024.

For at implementeringen af værdikæde for genanvendelse af beton giver mening, er det nødvendigt at fastsætte nogle operationelle betingelser for indsatsen. For det første skal der foreligge et passende volumen og potentiale af beton fra nedrivninger og renoveringer. For det andet skal der eksistere byggeri, renovering og anlægsarbejder med behov for de transformerede materialer. For det tredje skal der være muligheder for logistisk match mellem nedrivninger og byggeprojekter, så værdikædens aktiviteter integreres og omkostninger til transport, flytning, lagerleje m.v. reduceres til et minimum. Der skelnes mellem følgende typiske operationelle scenarier, som er kortfattet beskrevet:

- Nedrivning og genanvendelse på stedet
- Lokal genanvendelse
- Byudvikling med genanvendelse

Rapporten vurderer mulige demonstrationsprojekter og motiverer udpegning af Gellerupparken som et hensigtsmæssigt projekt på grund af nedrivningernes omfang, mængder af beton, potentielle genanvendelses-muligheder i nyt byggeri samt logistiske forhold. Rapporten afsluttes med konkret forslag til koncept for genanvendt tilslag i ny beton og vurdering af økonomiske og miljømæssige fordele og ulemper samt forslag til aktionsplan.

INDHOLD

RESUMÉI

| | | |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. | INDLEDNING | 1 |
| | 1.1 Projekt om genanvendelse af beton | 1 |
| | 1.2 Formål | 1 |
| | 1.3 Aktiviteter | 1 |
| | 1.4 Deltagere i Værdikædesamarbejdet | 2 |
| | 1.5 Gennemførelse af værdikædesamarbejdet | 2 |
| | 1.6 Rapport | 3 |
| 2. | KORTLÆGNING, GENANVENDELSE AF BETON | 4 |
| | 2.1 Indledning | 4 |
| | 2.2 International udvikling | 4 |
| | 2.3 Muligheder for genbrug og genanvendelse af beton | 5 |
| | 2.3.1 Genbrug af bygninger og betonkonstruktioner | 5 |
| | 2.3.2 Genbrug af betonelementer | 5 |
| | 2.3.3 Genanvendelse af nedknust beton som tilslag i ny beton | 7 |
| | 2.3.4 Genanvendelse af beton i ubunden form | 8 |
| | 2.4 Danske erfaringer | 8 |
| | 2.4.1 Nedknust beton i ny beton, Odense 1989-1990 | 9 |
| | 2.4.2 Genanvendelse af knust beton i Pelican Self Storage | 9 |
| | 2.4.3 Genanvendelse af beton fra skorsten til ny beton i Sydhavn Genbrugscenter 2019 | 9 |
| | 2.5 Lokal genanvendelse af beton | 11 |
| 3. | UDVIKLING AF VÆRDIKÆDE FOR GENANVENDT BETON | 14 |
| | 3.1 Indledning | 14 |
| | 3.2 Bygningers livscyklus | 15 |
| | 3.3 Forslag til generel værdikæde for konstruktioner og materialer | 16 |
| | 3.4 Forslag til værdikæde for beton | 17 |
| 4. | NØGLEAKTØRER | 18 |
| | 4.1 Indledning | 18 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2 | Typer aktører | 18 |
| 4.3 | Samarbejde | 20 |
| 5. | FORRETNINGSMODEL..... | 21 |
| 5.1 | Indledning..... | 21 |
| 5.2 | Eksempel på forretningsmodel..... | 21 |
| 5.3 | Produktet..... | 21 |
| 5.4 | Salg..... | 22 |
| 5.5 | Organisation | 22 |
| 5.6 | Økonomi og miljø..... | 23 |
| 6. | IMPLEMENTERINGSSTRATEGI | 25 |
| 6.1 | Indledning..... | 25 |
| 6.2 | Strategi..... | 25 |
| 6.3 | Operationelle scenarier | 26 |
| 6.3.1 | Genanvendelse på stedet..... | 26 |
| 6.3.2 | Lokal genanvendelse | 26 |
| 6.3.3 | Byudvikling med genanvendelse | 27 |
| 6.4 | Indikatorer og parametre | 27 |
| 7. | DEMONSTRATIONSPROJEKT..... | 29 |
| 7.1 | Indledning..... | 29 |
| 7.2 | Vurdering af mulige demonstrationsprojekter | 29 |
| 7.2.1 | Genanvendelse på stedet..... | 29 |
| 7.2.2 | Lokal genanvendelse | 29 |
| 7.3 | Demonstrationsprojekt Gellerupparken..... | 30 |
| 7.3.1 | Muligheder for genanvendelse af beton i Gellerupparken | 30 |
| 7.3.2 | Forudsætning for genanvendt tilslag | 30 |
| 7.3.3 | Krav til genanvendt tilslag | 32 |
| 7.3.4 | Design af beton med genanvendt tilslag | 32 |
| 7.3.5 | Leverance af beton | 32 |
| 7.3.6 | Scenarie for genanvendelsesprocesser | 33 |
| 7.3.7 | Kortfattet forslag til koncept for genanvendt tilslag i ny beton | 33 |
| 7.3.8 | Økonomiske og miljømæssige fordele og ulemper | 34 |
| 7.4 | Aktionsplan | 36 |
| | TILLÆG I. DEFINITIONER OG FORKORTELSER..... | 38 |
| | TILLÆG II. REFERENCER | 39 |
| | TILLÆG III. VÆRDIKÆDE FOR BETON, DETALJERET BESKRIVELSE | 41 |
| | Første led. Livscyklus for betonkonstruktioner i gammelt byggeri | 41 |
| | Andet led. Transformation af beton fra nedrivning til genanvendt tilslag..... | 43 |
| | Tredje led. Livscyklus for betonkonstruktioner i nyt byggeri | 44 |

1. INDLEDNING

1.1 Projekt om genanvendelse af beton

Genbrug/genanvendelse af beton er et højt prioriteret indsatsområde for at fremme cirkulær økonomi og bæredygtig, ressourceeffektiv genanvendelse af bygge- og anlægsaffald (BAA). I forbindelse med udviklingsprojektet Circularity City, som udføres af Region Midtjylland og partnere, ønskes udvikling af lokal genanvendelse af beton, herunder udvikling af værdikæde og opstilling af model for forretningsplan samt oplæg til demonstrationsprojekt.

I den anledning er der etableret et samarbejde om et prospekt, der går på lokal genanvendelse af beton, kaldet Værdikædesamarbejdet, mellem Circularity City ved Minor Change Group, Lauritzen Advising, Brabrand Boligforening, Fibo Intercon, Danske Maskinstationer & Entreprenører og DTU BYG.

1.2 Formål

Formålet med prospektet er at anskueliggøre, hvordan lokal genanvendelse af beton kan ske i praksis – både teknisk og forretningsmæssigt – og dermed skabe gennembruddet for dette i bygge- og anlægssektoren. Det er hensigten at udvikle et ensartet grundlag for den mest økonomiske og miljømæssige ressourceudnyttelse af beton fra bygge- og anlægsaffald. Det vil blive samlet i et prospekt for hvordan en sådan genanvendelse af beton kan ske i praksis, i konkrete scenarier og hvordan de enkelte parter i værdikæden skal samarbejde for at få det til at ske. Dette prospekt vil være tilgængelig for alle.

1.3 Aktiviteter

Prospektet omfatter følgende aktiviteter:

- Kortlægning og fokusering af indsatsen vedrørende transformation af beton.
- Opstilling værdikæde for lokal transformation af beton til nyt byggeri - udpegning og sammenstilling af delelementer.
- Udpegning og engagering af nøgleaktører - udførende deltagere i værdikæden – og supporterende deltagere – ved workshop.
- Udvikling af forretningsmodel for værdikæden for lokal transformation af beton.
- Udarbejdelse af implementeringsstrategi.
- Udfoldelse af værdikæde i demoprojekt (Gellerup Parken).

1.4 Deltagere i Værdikædesamarbejdet

MINOR CHANGE GROUP

Minor Change Group ApS er et innovationshus, som er specialiseret cirkulær økonomi. Minor Change Group var i 2012 med til at introducere cirkulær økonomi til Danmark i regi af det regionale erhvervsudviklingsprojekt Rethink Business i Region Midt. Siden har Minor Change Group rådgivet over 30 virksomheder i omstilling til cirkulære forretningsmodeller og igangsat og været partner i en række større udviklingsprojekter inden for feltet – bl.a. Circularity City.

LAURITZEN ADVISING (Rådgiver)

Lauritzen Advising, Erik Krogh Lauritzen ApS har ca. 40 erfaring inden for genanvendelse af byggematerialer, herunder beton. Har således været rådgiver i en række markante byggerier i de seneste år, hvor der har været genanvendt beton – bl.a. Sydhavnens Genbrugscenter, som vandt Byggeriet Grønne Betonpris i 2019.

BRABRAND BOLIGFORENING (Bygherre)

Brabrand Boligforening er bedre kendt for et af de boligområder det ejer og driver, nemlig Gellerup Parken i Aarhus. Brabrand Boligforening har netop gennemført første fase af de nedrivninger og renoveringer, som foreningen er blevet pålagt at gennemføre som følge af Ghettoplanen, og står nu over for at skal i gang med anden fase, hvor endnu flere boligblokke skal rives ned eller renoveres. Denne fase 2 af ombygning af Gellerupparken bliver anvendt som case – muligt demonstrationsprojekt - i projektet.

FIBO INTERCON (Mobil betonblander)

Fibo Intercon producerer mobile betonblandere, der kan producere beton efter meget præcise recepter – on site. De er derfor meget velegnede i forbindelse med en on-site genanvendelse af beton til nye bygninger, hvor det er afgørende at kunne styre blandingen ift. variabelt input af nedknust beton, og at den nedknuste beton ikke behøver at blive transporteret bort fra og tilbage til byggepladsen. Fibo Intercons blandere har således være anvendt i flere af de seneste byggeprojekter hvor nedknust beton er blevet genanvendt.

DANSKE MASKINSTATIONER OG ENTREPRENØRER, DM&E (Nedbrydere)

DM&E er interesseorganisation for bl.a. entreprenører, som foretager nedbrydning af bygninger og herunder nedknusning af beton.

DTU BYG (Forskning)

DTU Byg er DTU's afdeling for forskning i nye byggematerialer og byggemetoder. DTU Byg deltager i prospektet med viden om genanvendelse af beton.

1.5 Gennemførelse af værdikædesamarbejdet

Værdikædesamarbejdet begyndte i august 2018 med de to første opgaver, kortlægning og opstilling af værdikæde. Dernæst blev der gennemført workshop d. 19.11.2018 med præsentation og dialog om værdikæde og identifikation af aktører. Samtidig blev der foretaget en screening af mulige demonstrationsprojekter for genanvendelse af beton omfattende bl.a. nedrivning af slagteriet i Skive og udvikling af boligbyggeriet Gellerupparken. Efter indledende dialog med Brabrand Boligforening afholdtes møde i Gellerupparken med Brabrand Boligforening og repræsentanter for Værdikædesamarbejdet 25.2.2019, hvor man blev enige om at arbejde videre med idéen om et demonstrationsprojekt i forbindelse med næste nedrivningsfase i udviklingen af Gellerupparken. Fibo og Lauritzen Advising arbejdede herefter videre med konkret forslag til demonstrationsprojekt, som er præsenteret i kapitel 7 i denne rapport.

Værdikædesamarbejdet er afsluttet med rapport ved udgangen af 2019, som præsenteres på Circularity City konference i Skanderborg d. 14.1.2020.

1.6 Rapport

Denne rapport beskriver de gennemførte aktiviteter, som nævnt i afsnit 1.3. I kapitel 2 gives kortfattet gennemgang af de hidtidige internationale og danske erfaringer med genanvendelse af beton med fokus på genanvendelse af beton som tilslag til ny beton. I Kapitel 3 præsenteres værdikæde for transformation af affald fra gammel bygning til materialer i nyt byggeri. Værdikæden er baseret på et lineært tidsforløb fra afslutning af livscyklus for udtjent gammel bygning til ny livscyklus for ny bygning. På grundlag af værdikædens elementer beskrives de forskellige aktører og deres roller i kapitel 4. Forretningsmodellen, som beskrives i kapitel 5, skal betragtes som en to-delt model med sammenhæng mellem nedrivning, håndtering og bortskaffelse af materialer ved afslutning af gammelt byggeri og produktion og levering af materialer til nyt byggeri ved start af ny livscyklus. I kapitel 6 gives bud på hvorledes samspillet mellem elementer og aktører i værdikæden forenes i en økonomisk og miljømæssig fordelagtig proces. Rapporten afsluttes med beskrivelse af principperne for et hensigtsmæssigt demonstrationsprojekt og konkret forslag til demonstrationsprojekt til gennemførelse i forbindelse med 2. fase af nedrivninger i Gellerupparken.

Definitioner m.v. fremgår af Tillæg I og referencer er listet i Tillæg II. Tillæg III giver en detaljeret beskrivelse af elementerne i værdikæden for genanvendelse af beton som tilslag i ny beton.

I rapporten er der lagt vægt på formidling af de indhøstede erfaringer fra værdikædesamarbejdet således at der opstår interesse for opfølgning og gennemførelse af konkrete projekter med elementer af lokal genanvendelse af beton.

2. KORTLÆGNING, GENANVENDELSE AF BETON

2.1 Indledning

Kortlægningen omfatter en kortfattet beskrivelse af state-of-the-art for genanvendelse af beton med reference til de seneste praktiske erfaringer i Danmark og andre lande. På dette grundlag gives en opgørelse af væsentligste muligheder, udfordringer og barrierer for lokal genanvendelse af beton.

Beskrivelse af state-of-the-art er udarbejdet med generel henvisning til rapporten *Affaldsforebyggelse i byggeriet, Miljøprojekt 1919, 2017*¹, *Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton, Miljøprojekt 1667, 2015*², og publikationen *Construction, Demolition and Disaster Waste Management, (Lauritzen2018)*³.

2.2 International udvikling

Inspireret af udviklingen inden for genbrug af knust beton i ny vejbeton i USA under Federal Highway Association (FHWA) tog den internationale forsknings- og udviklingsorganisation RILEM⁴ i 1981 initiativ til nedsættelse af en arbejdsgruppe om nedrivning og genanvendelse af beton. Dette arbejde resulterede i anbefaling af anvendelse af nedknust beton i ny beton, *RILEM specification for concrete with recycled aggregates*⁵, som skabte grundlag for den videre udvikling af EU CEN standarder for anvendelse af nedknust beton i ny beton, som omtales senere.

Arbejdet med genanvendelse af beton fortsatte i RILEM regi gennem en række af arbejdsgrupper og internationale konferencer, indledningsvis med betydeligt hollandsk og dansk indflydelse. Den tredje internationale RILEM-konference om nedrivning og genanvendelse af tegl og beton blev afholdt i Odense 1993⁶. Arbejdet fortsættes stadig i nye arbejdsgrupper, - nu med bidrag af kinesiske deltagere (Lauritzen 2018)

Den seneste udvikling på området om genanvendelse af beton følges af Dansk Byggeri i samarbejde med Dansk Kompetencecenter for Affald og Ressourcer (DAKOFA) i en fælles arbejdsgruppe, *Beton-*

¹ Affaldsforebyggelse i byggeriet, forprojekt, af NIRAS, Copenhagen Resources Institute og Lauritzen Advising, udgivet af Miljøstyrelsen som Miljøprojekt 1919, januar 1917

² Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton, af Teknologisk Institut, udgivet af Miljøstyrelsen som miljøprojekt nr. 1667, 2015

³ Construction, Demolition and Disaster Waste Management – an integrated and sustainable approach, Erik K. Lauritzen, CRC Tanfort Taylor Press, August 2018.

⁴ RILEM: Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions/International Union on Testing and Research Laboratories for Materials and Structures.

⁵ RILEM specifications for concrete with recycled aggregates. *Materials and Structures* 27, 1994, 557–559.

⁶ Lauritzen, E. K., Demolition and reuse of concrete and masonry. *Proceedings of the 3rd International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, Odense, Denmark, 1993, E. & F. N. Spon, 1993.

gruppen. Der henvises til besøg i Holland og møder med særlig fokus på genbrug af nedknust beton i ny beton.

2.3 Muligheder for genbrug og genanvendelse af beton

Beton fra nedrivning af konstruktioner og anlæg kan genbruges og genanvendes i kvaliteter, som nævnt i Tabel.1. Tabel.1 *Forskellige kvaliteter af genbrug og genanvendelse af beton, nævnt i kvalitetsmæssig orden fra toppen med hensyn til værdien af materialet.*

2.3.1 Genbrug af bygninger og betonkonstruktioner

Gamle industribygninger, fx kornsiloer og svære fabriksbygninger, kan med fordel ombygges til andet formål, fx udstillinger, boliger eller kontorer, afhængig af beliggenhed og kvalitet. Den økonomiske fordel ligger ofte i bevarelse af en sund og stærk betonkonstruktion i relativ stor højde. I Region Midtjylland skal fx nævnes ombygning af silo i Løgten og fremtidige muligheder for ombygning af siloer i Aarhus havn, anvendelse af statsfængslet i Horsens som museum og kulturhus m.fl.

2.3.2 Genbrug af betonelementer

Siden midten af 1960erne har elementbyggeri været almindeligt i Danmark. Man har undersøgt mulighederne for genbrug af præfabrikerede betonelementer, fx i forbindelse med renovering af Brøndby Stand husene i 1980erne. Der foreligger enkelte eksempler på genbrug af armerede betonbjælker i nyt byggeri til værkstedsformål. Det har imidlertid vist sig umuligt at nedrive elementbyggeri med henblik på genbrug fordi samlingerne er udført med kraftoverførende armeringssamlinger og samlingsfugerne er injiceret med cementmørtel, som ikke er lige til at hugge op. Løfteøjer m.v. er fjernet, således at korrekt løft af elementerne kræver særlige foranstaltninger. Dertil kommer spørgsmål om kvalitet, produktansvar, forsikring m.v. Man skal dog ikke se bort fra genbrug af

giver eksempler på genbrug og genanvendelse af beton. Sorteret beton og tegl kan nyttiggøres efter reglerne i restproduktbekendtgørelsen uden særlig tilladelse efter miljøbeskyttelsesloven, forudsat at materialerne ikke er forurenede. Spild af beton fra betonproduktion og byggepladser genanvendes som knust beton i ny beton.

| Kvalitetsniveau | Materiale | Anvendelse |
|-----------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Genbrug af bygninger og betonkonstruktioner | Ombygning af gamle siloer, fabriksbygninger og genbrug af betonelementer. |
| 2 | Genanvendelse af knust beton som tilslag til ny beton | Beton i passiv miljøklasse og , f.eks. i fundamenter, etagedæk, kantsten, klaplag, og afspærringsblokke (Hofmannblokke). |
| 2-4 | Genbrug af brokker og fliser | Kystsikring, flisebelægninger. |
| 3 | Genanvendelse af knust beton i ubundne bærelag | Genbrugsstabil 0-32 og større stenfraktioner f.eks. i veje og befæstelser, f.eks. i permanente veje, startbaner og pladser. |
| 4 | Genanvendelse af knust beton i overfladebelægninger | Evt. blandet med nedknust tegl og asfalt i belægninger, f.eks. i cykelstier, midlertidige byggepladsveje m.v. |
| 5 | Fyld | Byggepladser, terrænregulering, opfyld i havne m.v. |

Tabel.1 Forskellige kvaliteter af genbrug og genanvendelse af beton, nævnt i kvalitetsmæssig orden fra toppen med hensyn til værdien af materialet.

2.3.3 Genbrug af bygninger og betonkonstruktioner

Gamle industribygninger, fx kornsiloer og svære fabriksbygninger, kan med fordel ombygges til andet formål, fx udstillinger, boliger eller kontorer, afhængig af beliggenhed og kvalitet. Den økonomiske fordel ligger ofte i bevarelse af en sund og stærk betonkonstruktion i relativ stor højde. I Region Midtjylland skal fx nævnes ombygning af silo i Løgten og fremtidige muligheder for ombygning af siloer i Aarhus havn, anvendelse af statsfængslet i Horsens som museum og kulturhus m.fl.

2.3.4 Genbrug af betonelementer

Siden midten af 1960erne har elementbyggeri været almindeligt i Danmark. Man har undersøgt mulighederne for genbrug af præfabrikerede betonelementer, fx i forbindelse med renovering af Brøndby Stand husene i 1980erne. Der foreligger enkelte eksempler på genbrug af armerede betonbjælker i nyt byggeri til værkstedsformål. Det har imidlertid vist sig umuligt at nedrive elementbyggeri med henblik på genbrug fordi samlingerne er udført med kraftoverførende armeringssamlinger og samlingsfugerne er injiceret med cementmørtel, som ikke er lige til at hugge op. Løfteøjer m.v. er fjernet, således at korrekt løft af elementerne kræver særlige foranstaltninger. Dertil kommer spørgsmål om kvalitet, produktansvar, forsikring m.v. Man skal dog ikke se bort fra genbrug af

| Genbrug /genanvendelse | Eksempler |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Genbrug af betonbygninger | Brandts Klædefabrik, Odense Gemini Residence, Islands Brygge (genbrugte siloer fra Soyakagefabrikken). Portlands Towers (genbrugte cementsiloer) og The Silo (genbrugt DLG siloer) til kontorer i Aarhusgadekvarteret, Nordhavn. Genbrugt silo i Frederikshavn. Genbrugt kornsilo i Løgten. Genbrugte bygninger, Carlsbergbyen Der henvises til Genbrugsstudier, Kunstakademiets Arkitektskole 2015. |
| Genbrug af betonelementer | SBI anvisning 171 giver eksempel på genbrug af betonelementer i ny industrihal og overvejelser om genbrug af betonelementer som støjskærme. Building a Circular Future, GXN og MT Højgaard 2015 beskriver udvikling af metoder til design af betonelementer med henblik på genanvendelse. Metoderne er ikke afprøvet i konkrete projekter. |
| Genbrug af betonspild | Genbrug af frisk betonspild. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 16/1990 Genbrug af frisk betonspild i betonelementer og betonvarer. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 17/1990. Genbrug af friske betonrester ved betonfremstilling. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 37/1990 Betonfabrikker modtager vådt overskudsbeton fra byggepladser og restbeton fra betonproduktion, især betonelementer. |
| Genanvendelse af knust beton som tilslag til ny beton | Anvendelse af nedknust beton i ny beton i byggeri i Odense, fremstillet i henhold til Dansk betonforenings publikation nr. 34, oktober 1989. Miljøprojekt 157, 1990 Genbrugshus i Odense, Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 78/1995 Det genanvendte hus, København, Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 34/1996 Gulvbelægning med nedknust beton og tegl i hotel Crowne Plaza Co- |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | penhagen Towers, 2016 Pelican Self Storage, Prags Boulevard, København 2017, MUDP 2017 Upcycled Studio, Ørestaden, Ressourcerækkerne, Ørestaden 2018 Sydhavn Genbrugscenter, 2019 |
| Genanvendelse af knust beton som bærelag til veje og befæstelser | Genanvendelse af beton ved renovering af hovedlandingsbanen i Kastrup lufthavn 1983-84. Genanvendelse af 75.000 t asfalt og 150.000 t beton. Genanvendelse af nedknust byggeaffald i vejbygning, bygning af 160 m lang vej i Vejle kommune, Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 53/1994 Genanvendelse af knust beton fra nedrivning af bygninger på Marmor-molen til vejbygning på stedet, 2009-2012. Beton fra knuste bunkere fra Vestkysten brugt som underlag for en cykelsti mellem Harboøre og Thyborøn, 2015 ⁷ Vejdirektoratet genanvender nedknust e af beton og tegl i vejbygning |
| Genanvendelse af knust beton som fyld | Anvendelse af knust tegl og beton som fyld i ledningsgrave. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 41/1993. |

Tabel 2. Eksempler på genbrug og genanvendelse af beton

betonelementer eller stykker af betonelementer til overfladebelægninger, jordafstivninger, plan siloer i landbruget, kystsikring m.v.

Medens man i dag praktisk talt kan glemme alt om genbrug af betonelementer i nyt byggeri kan vi se frem til genbrug af betonelementer i fremtiden under forudsætning at idéerne om projektering med henblik på nedrivning, *design for disassembly*⁸, implementeres.

Med henvisning til flagskibsprojektet *Circle House* planlægges opført almennyttigt boligbyggeri i Lisbjerg, Region Midtjylland, med betonelementer projekteret for genbrug efter principper som beskrevet i publikationen *Building a Circular Future*⁹. Bygherre er Lejerbo, 3XN og MT Højgaard er overordnet ansvarlig for projektet, som udføres i samarbejde med en lang række partnere med særlig ekspertise inden for cirkulært byggeri. Projektet indgår i Circularity City projektet.

2.3.5 Genanvendelse af nedknust beton som tilslag i ny beton

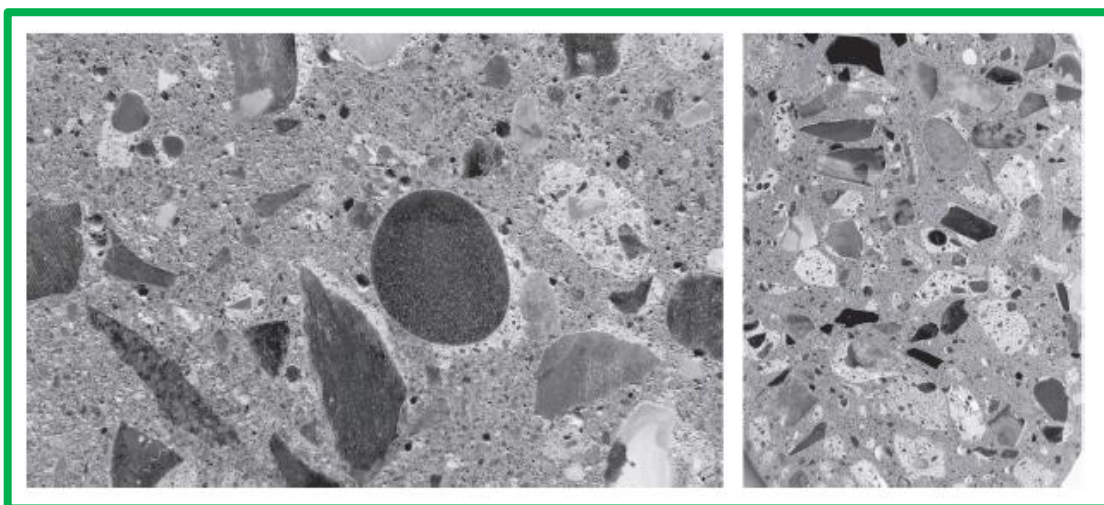
Med bygning af de tre huse i Horsens, Odense og København med ca. 80% genanvendte materialer som demonstrationsprojekter, herunder knust beton som 100% groft tilslag i ny beton, i begyndelsen af 1990'erne¹⁰ har det vist sig teknisk og praktisk muligt at bruge beton med nedknust beton som tilslag til ny beton. Der findes tekniske specifikationer, standarder og anbefalinger for anvendelse af nedknust beton i ny beton i passiv miljøklasse.

⁷ <http://www.niras.dk/aktuelt/nyheder/2015/knuste-bunkere-bliver-til-cykelsti.aspx>

⁸ Guldager Jensen, K. and Sommer, J. *Building a Circular future*, Published by GXN and MT Højgaard in 2016 with support from the Danish Environmental Protection Agency

⁹ Guldager Jensen, K. and Sommer, J. *Building a Circular future*, Published by GXN and MT Højgaard in 2016 with support from the Danish Environmental Protection Agency

¹⁰ Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 10 1996 Genanvendelsesindsatsen i bygge- og anlægssektoren 1986-1995.



Figur 1. Tyndslib af to typer beton med tilslag af knust beton. De to figurer vise knuste aggregater med gamle sten med belægninger af gammel cementpasta og partikler af knust cementpasta (PELCON 2018)

Nedknust tilslag indeholder sten med rester af beton som vist på figur 1. Dette indebærer, at denne type tilslagsmaterialer skal opfylde standard for naturlige stenmaterialer DS/EN 12620:2013 Tilslag til beton og DS EN 206:2019 Beton – Specifikationer, egenskaber, produktion – Regler for anvendelse af EN 206 i Danmark.

Beton med knuste genbrugsmaterialer adskiller sig i øvrigt fra almindelig beton med naturligt tilslag på en række områder, som ikke udgøre barriere for genanvendelsen, men kræver opmærksomhed og særlige prøvemethoder under transformation af materialerne og betonblanding. Det gælder fx densitet, trykstyrke, elasticitetsmodul, absorption, frostbestandighed og alkalikiselreaktivitet. Nærmere oplysninger kan hentes i de nævnte referencer, tillæg II, fx Københavns kommunes og ARC's rapport om genanvendelse af beton¹¹.

Beton med stentilslag af nedknuste betonmaterialer egner sig ikke til anvendelse i bærende konstruktioner, bl.a. på grund af egenskaber som højt udtørringssvind, høj og ofte ukontrolleret krybning og på grund af en kraftigt reduceret E-modul sammenlignet med beton med normalt tilslag af sten.

Derimod kan nedknust beton være ligeså velegnet som stentilslag fremstillet af primære råstoffer ved anvendelse i beton til f.eks. pladsbelægninger, betongulve, indvendige ikke-bærende skillerum i bygninger m.v. Med henvisning til Bygningsreglementet, BR18, og DS/EN 206-2019 og DS 2426¹² kan nedknust beton fra ren kilde anvendes som tilslag i beton i passiv miljøklasse op til styrkeklasse C30/37. Den nedknuste beton må maksimalt udgøre 20% af stenfraktionen og 10% af sandfraktionen.

¹¹Genanvendelse af beton. Erfaringer fra nedrivning af skorsten, HOFOR Amagerværket, og genanvendelse af knust beton som tilslag i ny beton til opførelse af Sydhavn Genbrugscenter i Valby. Københavns Kommune og ARC Amager ressource center. Udkast, september 2019.

¹² BR2015, 4.2 Dimensionering af konstruktioner, stk. 2, DS/EN 206-1 Beton, specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse og DS 2426 Beton-Materialer-Regler for anvendelse af DS/EN 206 i Danmark.

2.3.6 *Genanvendelse af beton i ubunden form*

Siden starten af genanvendelse af byggeaffald i 1980'erne har der været behov for nedknust asfalt, tegl og beton i ubunden form til bærelag til veje, befæstelser, fyld m.v. Genbrugsstabil har været en efterspurgt vare, og det har sjældent været noget problem at komme af med ren nedknust beton. Men genanvendelse af nedknust beton som tilslag til produktion af ny beton har aldrig været efterspurgt i betonindustrien. Det har imidlertid vist sig, at markedet hidtil har fundet det teknisk, økonomisk og miljømæssigt mest fordelagtigt at anvende nedknust beton i ubundne bærelag til veje og befæstelser. Der henvises til erfaringer fra Københavns Kommune og Vejdirektoratet, som beskrevet i Miljøstyrelsens udredning¹³. Desuden henvises til artiklen Nye udbudsforskrifter for ubundne bærelag af knust beton, tegl og asfalt¹⁴.

2.4 Danske erfaringer

Der foreligger solide veldokumenterede erfaringer for genanvendelse af beton i ubunden form som udnyttes rutinemæssigt i bygge- og anlægssektoren i dag. For genanvendelse af beton i bunden form som tilslag til ny beton er der også veldokumenterede erfaringer, men de ses endnu ikke udnyttet i praksis. Som opfølgning på Miljøstyrelsens ressourceplan 2013-2018¹⁵, Ressourceplan I, har højkvalitetsgenanvendelse af beton i bunden form som tilslag til ny beton har fået ny og stigende opmærksomhed. Flere projekter har fået tilskud til teknologisk udvikling med offentlig støtte. Det gælder f.eks. de to MUDP-projekt *Genanvendelse knust beton og tegl i nye betonkonstruktioner*¹⁶ og CLEAN-projekt *Genanvendelse af bygge- og anlægsaffald via udbud*¹⁷.

2.4.1 *Nedknust beton i ny beton, Odense 1989-1990*

Det første praktiske forsøg med afprøvning af Dansk Betonforenings anvisning nr. 34 for genanvendelsesmaterialer til beton i passiv miljøklasse blev udført i Odense 1989-1990¹⁸. Beton fra to broer i Odense blev nedknust i mobilt knuseanlæg og sorteret i to fraktioner, henholdsvis 4-16 mm og 16-32 mm. Ca. 400 t tilslagsmaterialer blev produceret og anvendt i beton til to nybyggerier, boligbyggeri og parkeringskælder. Betonfremstilling og leverance forløb som planlagt, men genbrugsmaterialernes relative store vandabsorption krævede meget omhyggelig overvågning af blandeprocessen.

Projektet viste, at der ikke var tekniske eller ansvarsmæssige problemer med at genanvende nedknust beton som tilslag i ny beton. Der var desuden en økonomisk gevinst idet man sparede ca. 100 kr. pr. ton nedrevet beton sammenlignet med deponering af affaldet på losseplads og anvendelsen af primære råstoffer til ny beton.

2.4.2 *Genanvendelse af knust beton i Pelican Self Storage*

Til bygning af Pelican Self Storage på Prags Boulevard, Amager, anvendtes nedknust beton fra nedrivning af bygninger på stedet til ny beton. Projektet blev gennemført i et samarbejde mellem Miljø-

¹³ Miljøstyrelsen Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton, Miljøprojekt nr. 1667, Teknologisk Institut 2015.

¹⁴ Flemming Berg og Caroline Hejlesen: Nye udbudsforskrifter for ubundne bærelag af knust beton, tegl og asfalt, Trafik & Veje, november 2011.

¹⁵ Danmark uden affald. Ressourceplan for affaldshåndtering. Miljøstyrelsen 2014. kap. 7 Øget kvalitet i genanvendelsen af bygge- og anlægsaffald.

¹⁶ Genanvendelse af knust beton og tegl i nye betonkonstruktioner, Pelican Denmark ApS og Anders Lendager Group, tilskud fra MUDP 2015, rapport, november 2017.

¹⁷ Genanvendelse af bygge- og anlægsaffald via udbud, CLEAN, 2015-2017, med tilskud fra Grøn Omstillingsfond og 0.5 mio. kr. fra Region Sjælland

¹⁸ Anvendelse af nedknust beton i ny beton. Axel Nielsen A/S, Miljøprojekt 157. Miljøstyrelsen 1990

styrelsen, Pelican Self Storage, Lendager Group, LH Hockerup, Nymølle Stenindustri og Pelcon Materials & Testing som beskrevet i rapport udgivet af Miljøstyrelsen¹⁹.

Betonbrokker fra nedrivning af gamle bygninger blev knust på stedet og materialerne blev sorteret og anvendt som tilslag i ny beton. Betonen med genbrugstilslag blev blandet på mobilt anlæg (Fibo) på stedet og brugt til terrændæk og fundamenter i passiv miljøklasse. De nedknuste materialer blev sorteret i tre fraktioner: 0-4 mm, 4-22 mm og over 22 mm. Følgende blev iagttaget:

- For betoner med genanvendt tilslag 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 genbrugstilslagsets 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.

2.4.3

Genanvendelse af beton fra skorsten til ny beton i Sydhavn Genbrugscenter 2019

Københavns Kommune og Amager Recycling Center (ARC) gennemførte i tiden 2017-2018 et demonstrationsprojekt med genanvendelse af beton fra nedrivning af skorsten på Amagerværket i nyt anlægsbyggeri, Sydhavn Genbrugscenter (SGC). Der blev udført genanvendelse af knust beton som stentilslag, 100%, i både passiv, moderat og aggressiv miljøklasse og genanvendelse af knust beton i ubunden form i bærelag. Projektet har vist, at genanvendelse af knust beton som tilslag i ny beton og genanvendelse af knust beton i ubundet bærelag er fordelagtig med hensyn til såvel reduktion af CO₂-emission som økonomisk besparelse i sammenlignet med beton og bærelag med naturlige materiale.

Med henvisning til foreløbigt udkast²⁰ til rapport om erfaringerne fra projektet er der givet følgende konklusioner og anbefalinger:

Fakta om genanvendelse af beton som tilslag til ny beton:

- Med genanvendt tilslag af rette kvalitet, er det muligt at fremstille genbrugsbeton med groft tilslag bestående af 100% nedknust beton med egenskaber for såvel frisk som hærdnet beton, der fuldt modsvarer en traditionel beton C35/45 i miljøklasse A.
- Genbrugsbeton kræver ikke højere cementindhold end en traditionel beton med tilsvarende trykstyrke.
- Genbrugsbetons E-modul er ikke nødvendigvis lavere end E-modulet for traditionel beton med tilsvarende trykstyrke.
- For at få en retvisende bestemmelse af egenskaberne af genanvendt tilslag, er det for visse egenskaber, herunder densitet og absorption, frostbestandighed og alkalikiselreaktivitet, nødvendigt at bruge modificerede/alternative prøvningsmetoder.
- Produktion af genbrugsbeton kræver, at der tages særlige forholdsregler mht. styring af vandindhold sammenlignet med produktion af beton med traditionelt tilslag.

Særlig logistik og forsyningsikkerhed

¹⁹ Genanvendelse af knust beton i nye betonkonstruktioner, Lendaager Group. Miljø- og Fødevarestyrelsen 2017.

²⁰ Københavns Kommune og Amager Recycling Center. Erfaringer fra genanvendelse af knust beton fra skorsten som tilslag til ny beton i Sydhavn Genbrugscenter, september 2019 (udkast).

Genanvendelse af beton i nybyggeri er forbundet med en anden logistik og andre processer med hensyn til forsyning og levering af materialerne i stedet for traditionel forsyning af naturlige materialer. Implementering af genanvendelse af beton i byggesektoren kræver, at genanvendelsesprocesserne og den særlige logistik integreres som et naturligt og konkurrencedygtigt element i det fremtidige byggeri. Fordelene ved genanvendelse med hensyn til såvel CO₂-reduktion som økonomisk besparelse afhænger af de konkrete omstændigheder omkring affalds- og forsyningslogistik samt transportafstande.

Projekter med genanvendelse af beton kræver matching af nedrivningsprojekter med byggeprojekter og detaljeret planlægning af forsyning af genanvendte materialer til rettidig levering på byggepladsen. Det anbefales,

- at der etableres regionale/kommunale/private lagerpladser for knust beton til genanvendelse som bufferlagre til dækning af løbende efterspørgsel af forskellige kategorier og kvaliteter af knust beton til genanvendelse, og
- at der i forbindelse med genanvendelse af beton altid foretages en risikovurdering af forsyningsikkerheden og, at der planlægges afhjælpende foranstaltninger / alternative forsyninger.

Gensidig forståelse

Gennemførelse af succesfuld genanvendelse af nedknust beton, hvad enten vi taler om genanvendt tilslag eller genanvendt bærelag forudsætter, at alle aktører i værdikæden fra nedrivning og transformation til nybyggeri har en fælles og tilstrækkelig forståelse for materialeegenskaber og processer. Det gælder om at etablere et hensigtsmæssigt aftalegrundlag og sikre en gensidig forståelse for opfyldelse af krav til materialerne og krav til logistiske sammenhænge samt krav til minimering af transport og rettidig levering i rette mængder.

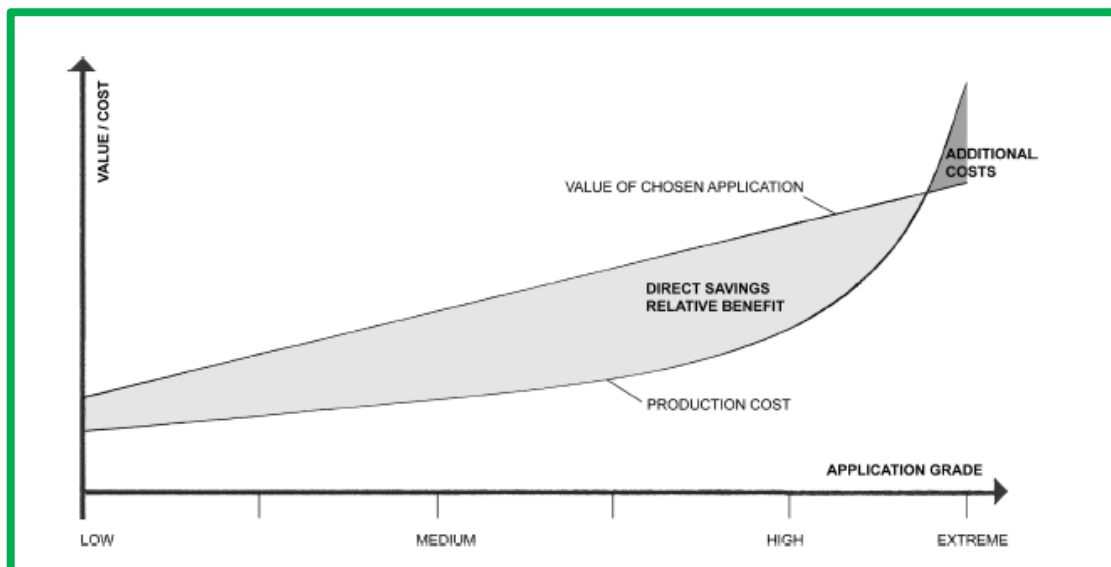
De konkrete forhold og scenarier skal vurderes

Spørgsmålet om hvad der er mest økonomisk og CO₂-mæssigt fordelagtigt med hensyn til genanvendelse af beton som tilslag eller i bærelag kan kun besvares ved en detaljeret vurdering af de konkrete forhold, især hvad angår transportafstande, i de foreliggende scenarier for transformation af materialer fra affald fra nedrivning til ressourcer i nybyggeri.

2.5 Lokal genanvendelse af beton

Den lokale transformation af beton handler om optimering af de foreliggende konkrete muligheder for udnyttelse af ressourcerne fra beton i BAA. Medens erfaringerne fra genanvendelse af knust beton i ubundne bærelag og fyld er alment kendt, kniber det stærkt med praktiske erfaringer med anvendelse af nedknust beton som tilslag i ny beton.

Principielt bør man sigte efter højest mulige kvalitet med hensyn til miljømæssige og økonomiske fordele i transformation af beton fra affald til ressourcer. Det er imidlertid vigtigt, at man afvejer de forskellige muligheder for genanvendelse, som omtalt i afsnit 2.3 og eksempler vist i tabel 2, og søger den mest optimale transformation. Som vist i Figur 2 er kan en høj kvalitet i genanvendelsen, fx 100% tilslag af nedknust beton i ny beton, være mindre økonomisk fordelagtig end en lavere kvalitet, fx beton i passiv miljøklasse og uklassificeret beton.



Figur 2. Illustration af relative den relative profit ved forskellige kvaliteter af genanvendt tilslag af knust beton i ny beton. Figuren viser, at den mest profitabel genanvendelse ligger omkring typer af beton med medium kvaliteter i passiv miljøklasse. Produktion af beton 100% genanvendt tilslag med høj kvalitet og aggressiv miljøklasse vurderes at være mindre profitabel. (Integrated Decontamination and Rehabilitation of Buildings, Structures and Materials in Urban Renewal [IRMA] ²¹).

Den økonomiske og miljømæssige gevinst i genanvendelse af nedknust beton enten i bunden form som tilslag til ny beton eller i ubunden form til bærelag afhænger af mulighederne for lokal genanvendelse. Reduktion af omkostninger, energiforbrug og CO₂, afhænger af de aktuelle logistiske forhold og mulighederne for at "matche" nye bygge- og anlægsprojekter med nedrivningsprojekter. Den ideelle løsning ligger i genanvendelse af beton fra en nedrivning til et nybyggeri på samme sted. Dette forudsætter god plads og muligheder for opstilling af knuseanlæg og midlertidig lagring af materialer.

Bygherrens incitament til byggeri med genbrugsbeton er en kombineret økonomisk og miljømæssig gevinst, der er betinget af, at genanvendelsen sker lokalt, at der er et reduceret transportbehov af materialer, og der spares naturlige råstoffer. Totaløkonomien hænger sammen med besparelse på omkostninger til håndtering af beton som affald fra nedrivning af bygninger i nærheden eller besparelse på omkostninger for bortskaffelse af anden overskudsbeton.

Forudsætningerne for anvendelse af genbrugsbeton kan opdeles i økonomiske, miljømæssige, produktionsmæssige og logistiske forudsætninger samt lovmæssige forudsætninger og udfordringer.

Økonomiske forudsætninger:

Leverancen af genbrugsbeton skal gennemføres til en konkurrencedygtig pris sammenlignet med pris for færdigbeton med naturlige materialer leveret på stedet. Henset til de miljømæssige forudsætninger og besparelse i CO₂ sammenlignet med leverance af færdigbeton kan en mindre prisdifference accepteres.

²¹ European Fifth Framework Programme Energy, Environment and Sustainable Development Key Action 4: City of Tomorrow and Cultural Heritage. Contract no. EVK4-CT-220-00092. Project files and report to the EU Commission 2006.).

Miljømæssige forudsætninger:

- Genanvendelsesprocesserne skal ske lokalt for at spare på transport og dermed spare energi og reducere CO₂.
- Transformation af beton, inkl. knusning af brokker og midlertidig oplægning af brokker før og efter knusning bør ligeledes ske lokalt med størst mulig hensyntagen til støj, støv og vibrationer.
- Renheden af brokkerne fra nedrivning skal være dokumenteret.

Produktionsmæssige forudsætninger:

- Der er behov for ensartede betonmængder med en passende kvalitet for at opnå genbrugsbeton med den krævede kvalitet.
- Beton skal kontrolleres og kvalificeres før nedrivning.
- Genbrugsbetonen bør blandes på stedet med mobilt blandedanlæg med en kapacitet, der er nødvendig for den planlagte støbeprocess, alternativt blandes beton på lokalt beliggende stationært anlæg.
- Betonbrokker skal nedknuses i fraktioner, afhængig af de specifikke krav til beton i nybyggeriet.
- De nedknuste materialer skal vandes før blanding.
- De fine materialer, under 4 mm, som frasorteres efter knusning af groft genanvendelsestilslag til anden materialenyttiggørelse, kan muligvis anvendes som tilslag.

Logistiske forudsætninger:

- Henset til de særlige processer, der er forbundet med produktion af tilslag af nedknust beton, som opfylder normkravene, skal der være behov for en betragtelig mængde genbrugsbeton i et lokalt nybyggeri. Vi taler skønsomt om størrelsesorden ikke under 100 m³ beton. Afhængig af den godkendte procentmængde genbrugstilslag, skal der regnes med en mængde donorbeton med en frasortering af armeringsjern og materialer under 4 mm på ca. 50%. Dette betyder, at der er behov for mindst 200 t ren ensartet donorbeton fra nedrivning, førend genbrug af nedknust beton som tilslag i ny beton bliver interessant.
- Nedrivning, knusning, sortering af donorbeton, levering af materialer til blanding og levering af blandet beton på byggeplads for nyt byggeri skal ske i rette tid og med rette mængder. Koordinering og matching af de forskellige processer er en nødvendig forudsætning.
- Der skal findes plads til nedknusning og midlertidig oplægning af materialer før og efter knusning.

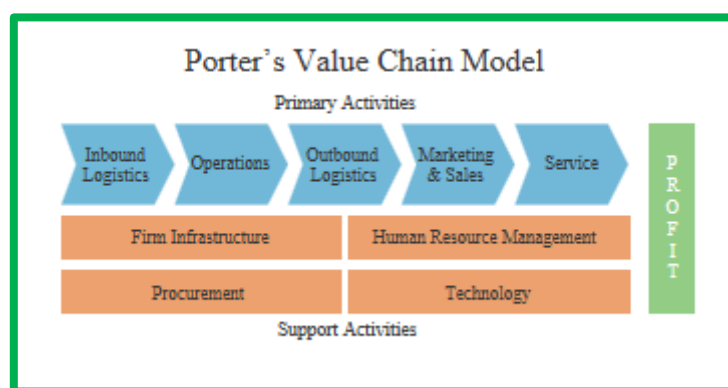
Lovmæssige forudsætninger og udfordringer:

- Den gældende lovgivning tillader anvendelse af genbrugsbeton med højest tilladte andel groft tilslag fx 4-32 mm, på 10 – 30%, jf. DS/EN 206 til konstruktioner passiv eller uklassificeret miljøklasse. Anvendelse af højere procentandel, fx 100% og i højere miljøklasse kræver de kommunale myndigheders dispensation.
- Det er imidlertid teknisk muligt at fremstille genbrugsbeton, der opfylder alle styrkemæssige og holdbarhedsmæssige forudsætninger til klasse-A. Det fordrer naturligvis at kvaliteten af den oprindelige beton er tilstrækkelig god, samt ikke mindst, at de produktionstekniske forhold sikrer mod opblanding med genbrugsmaterialer af lavere lødighed.

3. UDVIKLING AF VÆRDIKÆDE FOR GENANVENDT BETON

3.1 Indledning

I 1985 introducerede Michael E. Porter begrebet værdikæde, som handlede som en række aktiviteter der førte til et firmas forøgelse af profitten. Figur 3 viser Porters værdikædemodel.



Figur 3. Værdikæde, jf. Michael E. Porter²²

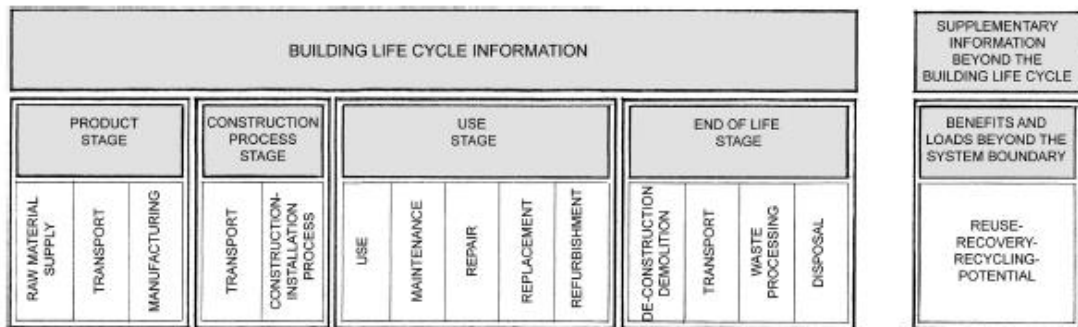
I forbindelse med cirkulær økonomi taler man ofte om værdikæder for ressourcer med sigte på bevarelse af ressourcernes værdi affødt af tanken om at holde ressourcerne i et lukket kredsløb. Derfor ses værdikæder udtrykt som reproducerbare cirkulære sammenhænge af aktiviteter og processer uden særlig relation til tid og værdi. Dette gælder typisk for produkter med en kortvarig levetid, som kan genbruges/genanvendes/nyttiggøres i nye produkter og sammenhænge der ligner de oprindelige, fx genbrug af flasker.

Værdikæden for bygninger og byggematerialer hænger sammen med deres livscyklus, som sædvanligvis forløber over en længere årrække. Her taler vi ikke om en cirkulær proces, der gentager sig i det uendelige, men en tidsafhængig proces der starter med på en given tid og afsluttes på en given tid. De enkelte produkter kan ikke umiddelbart tilbageføres i et miljø, der er det samme som det oprindelige miljø. Fx genbrugte mursten, som stammer fra bærende konstruktioner, anvendes i dag typisk som ikke-bærende facadesten uden på en bærende betonkonstruktion. Udvikling af en generel værdikæde for genanvendelse af beton tager afsæt i Porters værdikæde og en tidsafhængig livscyklus for bygninger og bygningsmaterialer. Værdikæden illustrerer et lineært tidsafhængt forløb fra afslutningen af livscyklus for en gammel bygning til starten af livscyklus for en ny bygning, som nærmere er beskrevet i afsnit 3.2.

²² Porter, M. E. Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance, 1985.

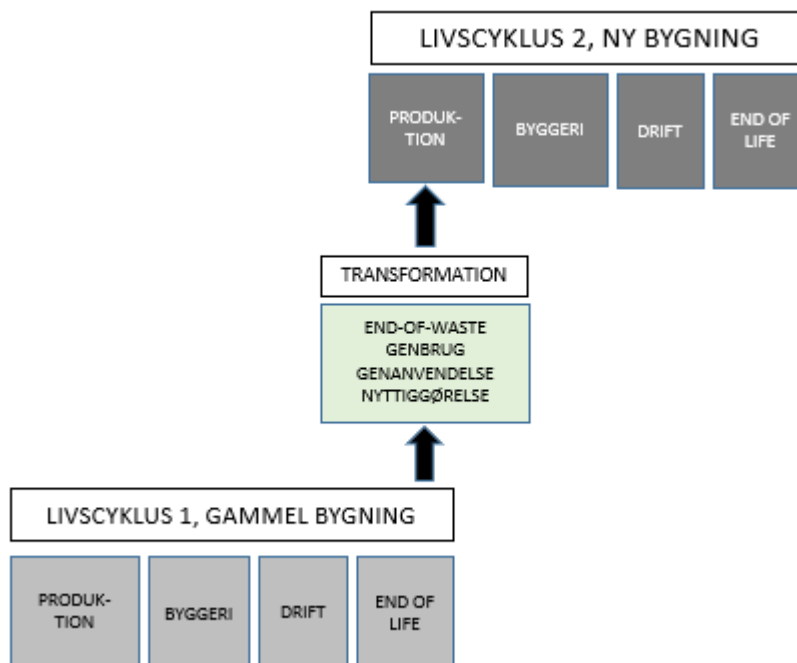
3.2 Bygningers livscyklus

Bygningers livscyklus er defineret af i CEN Technical Committee 350 og standarden *DS/EN 15978 Bæredygtighedsvurdering inden for byggeri og anlæg- Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet*. Standarden giver en opdeling af en bygningens levetid som vist i Figur 4.



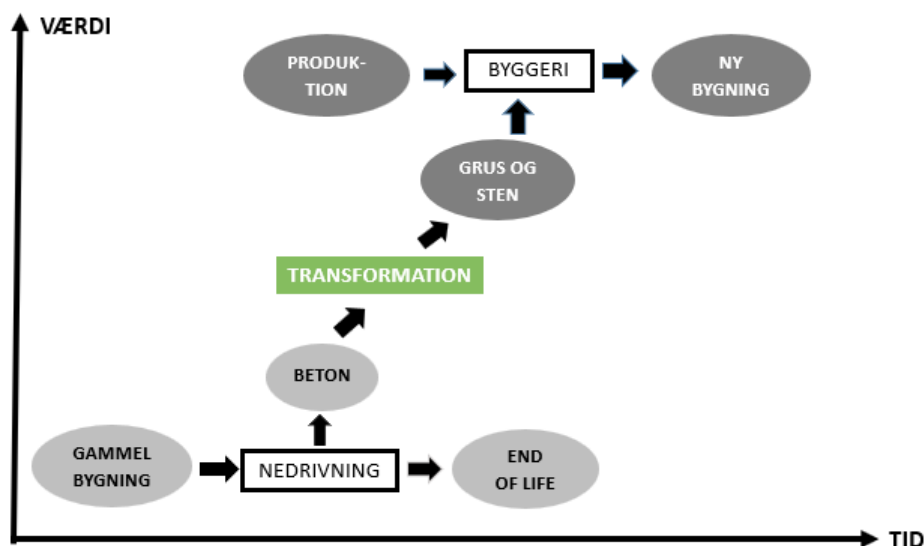
Figur 4. Bygningers livscyklusfaser, jf. DS/EN 15978-2011.

I cirkulær økonomi handler det om at holde kredsløbet af ressourcer i gang. Dvs. en fortsat udnyttelse af materialer og ressourcer som vist i Figur 5. Figuren viser overgang fra en gammel livscyklus til en ny livscyklus med transformation af affaldet fra den gamle livscyklus til ressourcer i den nye livscyklus.

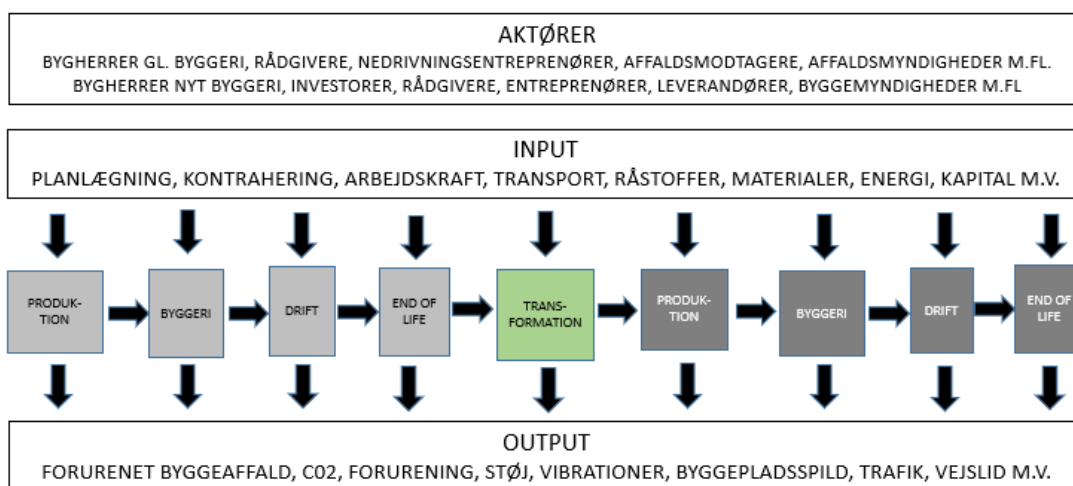


Figur 5. Overgang fra en gammel til en ny livscyklus med transformation (genbrug, genanvendelse, anden nyttiggørelse) af ressourcer i nyt byggeri (Lauritzen 2018).

På dette grundlag opstilles en principiel model, som vist i figur 6, for transformation af materialer og bygninger fra en gammel afsluttet livscyklus til påbegyndelse af en ny livscyklus.



Figur 6. Model for transformation af ressourcer fra en (gammel) livscyklus til en anden (ny) livscyklus (Lauritzen 2018).



Figur 7. Generel principmodel for værdikæde for bygninger, anlægskonstruktioner og materialer.

3.3 Forslag til generel værdikæde for konstruktioner og materialer

Med udgangspunkt i transformationsmodellen i figur 6 opstilles en generel værdikæde, som vist i figur 7, med to delkæder og forbindelsesled:

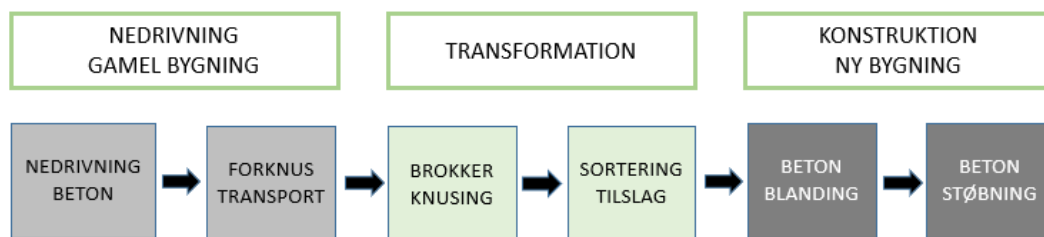
- Livscyklus, gammelt byggeri
- Transmission af affald fra gammelt byggeri til ressourcer i nyt byggeri
- Livscyklus, nyt byggeri

Værdikæden er vist med en markering af input og output samt oversigt over de respektive aktører, som kan skabe grundlag for en nærmere vurdering værdikædens enkelte led og sammenhæng med andre led.

3.4 Forslag til værdikæde for beton

På grundlag af principmodel, som vist i Figur 7, kan der opstille en værdikæde for beton bestående af tre led som vist i figur 8:

- Første led. Livscyklus for betonkonstruktioner i gammelt byggeri, svarende til traditionel livscyklus afsluttende med nedrivning af betonkonstruktioner, forknusning og transport.
- Andet led. Transformation af beton fra gammelt byggeri til beton i nyt byggeri omfattende knusning og sortering til genanvendt tilslag.
- Tredje led. Livscyklus for betonkonstruktioner i nyt byggeri med blanding af beton og støbning af nye betonkonstruktioner med genanvendt tilslag.



Figur 8. Forslag til værdikæde for genanvendelse af beton som genanvendt tilslag i ny beton.

Tillæg III giver en detaljeret beskrivelse af værdikædens enkelte elementer.

Styrken af den samlede værdikæde for transformation af beton er betinget af samme styrke og robusthed i alle kædens led. De to kædeled som udgøres af henholdsvis gammelt byggeri og nyt byggeri er baseret på kendte normer og regler for byggeri, jf. byggelovgivningen, samt traditionel udførelse af byggeriet og samarbejde mellem aktørerne. Transformation af byggeaffald fra gammelt byggeri til ressourcer i nyt byggeri er et relativt usikkert led i kæden – og dermed det svageste led - fordi, der mangler standarder og regler for renhed og kvalitet af de transformerede materialer samt detaljerede beskrivelser og kvalitetssikring af de enkelte processer i transformationen.

Derfor er det vigtigt at der etableres et værdikædesamarbejde mellem alle nøgleaktører m.fl. i kæden, som er nærmere beskrevet i kapitel 4.

4. NØGLEAKTØRER

4.1 Indledning

Med henvisning til figur 7 visende den generelle principmodel for værdikæde gives en række aktører. I forhold til traditionelle byggeprojekter skal vi i værdikæden for transformering af beton regne med tre sæt aktører:

- Bygherrer, rådgivere, nedrivningsentreprenører, leverandører og myndigheder m.fl. knyttet til det gamle byggeri.
- Rådgivere, nedrivningsentreprenører, affaldsmottagere, knusentreprenører, genanvendelseskaber/genbrugsforretninger og myndigheder m.fl. knyttet til transformation og afsætning af materialer.
- Bygherrer, rådgivere, entreprenører, leverandører og myndigheder m.fl. knyttet til nyt byggeri.

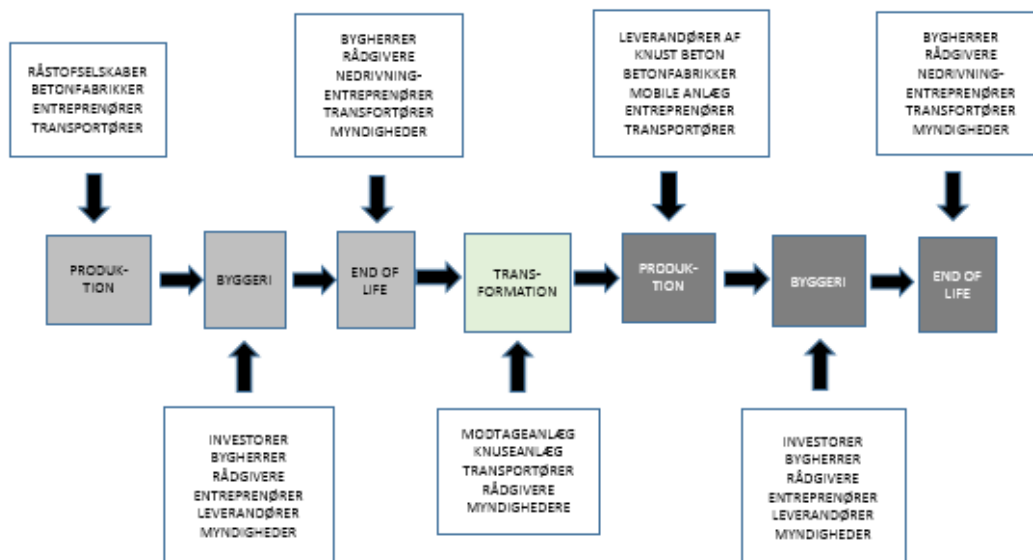
Kæden af aktører i den gamle og den nye livscyklus hører til byggesektoren og referer til byggeloven og bygningsreglementet. Kæden af aktører i transformations-leddet hører til både affaldssektoren og byggesektoren. Aktørerne i affaldssektoren referer til miljølovgivningen og affaldsreglementet. De forskellige referencer til henholdsvis affaldsreglementet og bygningsreglementet kan give anledning til svigt i kommunikation og risici for svigt i kæden. Dette gælder fx de kommunale myndigheds forskellige roller som henholdsvis, bygherre, byggemyndighed, affaldsmyndighed og affaldsbehandler. Det er ikke altid at fælles forståelse mellem kommunen som bygherre og kommunen som affaldsmyndighed om genanvendelsesindsatsen i kommunalt byggeri.

4.2 Typer aktører

Figur 9 viser en simplificeret værdikæde for beton med angivelse af typer på aktører, som medvirker i de enkelte led, gammelt byggeri, transformation og nyt byggeri. Drift-elementerne er ikke vist.

Flere og flere *investorer og bygherrer* ser i dag en fordel i bæredygtigt byggeri og cirkulær økonomi. I mange tilfælde er de villige til at betale mere for de ekstraomkostninger, der fx er afledt af DGNB certificeret byggeri (2-5% af byggesummen). I de senere år, er der som tidligere nævnt set flere eksempler på byggerier med genbrugte/genanvendte materialer, især beton og mursten, hvilket er udtryk for grøn omstilling og villighed til at tage den risiko der ligger i at afvige fra normer og sædvaner. Med henvisning til regeringens *Strategi for cirkulær økonomi*²³ bør såvel private som offentlige bygherrer følge op på mulighederne for udnyttelse af ressourcer fra gammelt byggeri i nyt byggeri.

²³ Miljø og Fødevarerministeriet Strategi for cirkulær økonomi, september 2018



Figur 9. Simplificeret værdikæde for beton med angivelse af typer på aktører

Bygherrer og ejere af gammelt byggeri bør i udbud af nedrivningsopgaver stille krav om/give de største muligheder for udnyttelse af ressourcepotentialet i de bygninger, som skal nedrives. Dette gælder ikke mindst kommunale bygherrer i udbud af nedrivning af kommunale ejendomme og bygninger med støtte fra Landsbyggefonden. Bygherrer, nedrivning, mængder og type af byggeaffald til kommunale myndigheder som klassificerer affaldet i henhold til affaldsbekendtgørelsen.

Bygherrer i nyt byggeri bør være opmærksom på foreliggende muligheder for at substituere råstoffer og materialer med transformererede ressourcer og stille krav om/give muligheder for størst mulig anvendelse af transformererede ressourcer i nyt byggeri. I tilfælde af afvigelser fra krav i bygningsreglement, fx ved anvendelse af tilslag af knust beton over 20%, søges dispensation hos den kommunale byggemyndighed.

Rådgivere og konsulenter bistår bygherren med udbud af nedrivningsopgaver. Udbud bør ske på grundlag af kortlægning af problematiske stoffer og potentielle ressourcer i gamle bygninger udført af kompetente, evt. certificerede specialister.

Arkitekter og projekterende ingeniører bør inspirere bygherren, nyt byggeri, til at bygge med transformererede materialer. Projektering, udbud og tilsyn gennemføres med fornøden hensyntagen til den usikkerhed og de risici, der er forbundet med transformererede materialer, henset til manglende standarder for kvalitet, renhed m.v.

Nedrivningsentrepriser gennemføres af nedrivningsentreprenører som selektiv nedrivning, som der i fremtiden vil blive lagt stor vægt på, jf. *Initiativ nr. 14* i regeringens *Strategi for Cirkulær Økonomi*. Nogle nedrivningsentreprenører nedknuser og afsætter beton til genanvendelse, typisk 0-32 mm stabil grus til ubundne bærelag. Andre nedrivningsentreprenører afhænder betonbrokker til *registrerede modtageanlæg*, som foretager nedknusning, sigtning og afsætning af genanvendt beton til nyt byggeri.

Anvendelse af nedknust beton i ubunden form og i bunden form sker efter kontrol af at materialerne opfylder relevante krav og specifikationer. Elementer og færdigbeton med tilslag af knust beton produceres hos de *traditionelle betonfabrikker og blandedanlæg*. Blanding af beton på byggepladser kan udføres med *mobile anlæg*.

I hele værdikæden for beton spiller *transportørerne* en markant rolle, idet de fysisk forbinder de enkelte led i værdikæden og bringer betonmaterialerne fra proces til proces.

Derudover er der en række støttende aktører, herunder knusentreprenører, betonlaboratorier, miljølaboratorier m.fl.

4.3 Samarbejde

Succesen i projekter med genanvendelse af transformerede materialer i dette tilfælde gælder det beton, afhænger af et godt samarbejde mellem aktørerne og en gensidig forståelse af de særlige vilkår der er knyttet til processerne i værdikæden. En tilfredsstillende matching mellem afsætning af beton fra nedrivning og behov for genanvendt tilslag i nybyggeri forudsætter, at bygherrerne og deres rådgivere i alle kædens elementer er proaktive og positivt indstillet med hensyn til genanvendelse af beton. Det er vigtigt at bygherre nedrivning af gammel bygning på den ene side tjekker lokalplaner og planlagt byggeri i lokalområdet og screener behovet for beton og dermed tilslag for beton, subsidiært behovet for stabilgrus og fyld. Bygherren kan også vælge at indgå fordelagtige aftale med modtageanlæg/genanvendelsesanlæg om afsætning af beton efter nedrivning. På den anden side bør den bygherre, der vælger mulighed for nybyggeri med beton med genanvendt tilslag, screening af aktuelle nedrivningsprojekter i området eller konsultere de lokale modtageanlæg/genanvendelsesanlæg om leverancer af nedknust beton.

Som i alle andre forhold i byggesektoren er det vigtigt, at der indgås konkrete aftaler mellem parterne for at understøtte materialestrømmen fra nedrivning til nybyggeri og i sidste ende sikre rettidig levering af genanvendte materialer i rette mængder og kvalitet. Aftalerne bør indeholde bestemmelser for løbende forventningsafstemning og risikostyring af kritiske hændelser, specielt i tilfælde af at det går galt med de aftalte leverancer.

Se pkt. 5.5. om organisation af samarbejdet.

5. FORRETNINGSMODEL

5.1 Indledning

Cirkulær økonomi handler om ressourcer og penge. Udviklingen af værdikæde for genbrug/genanvendelse af beton har kun mening, hvis den sigter mod økonomiske og miljømæssige fordele sammenlignet med traditionelle processer. De økonomiske og miljømæssige fordele kan kun opnås ved transmission af betonaffald til betonmaterialer, der kan afsættes på markedet for byggevarer. Dette forudsætter opstilling af en hensigtsmæssig forretningsmodel.

En forretningsmodel har samme målsætning som værdikæden, nemlig at skabe profit for virksomheden. Medens værdikæden for genbrug og genanvendelse af beton er orienteret mod cirkulær økonomi i et bredere perspektiv, fokuserer forretningsmodellen direkte på salget og afsætningen af knust beton eller økonomiske fordele ved byggeri med genanvendte materialer.

5.2 Eksempel på forretningsmodel

Der gives mange eksempler på forretningsmodeller. Med henvisning til Jan Bendtsen *Hvad er en forretningsmodel*²⁴ gives nedenstående eksempel på forretningsmodel.

En forretningsmodel handler om:

- Produktet – Hvad kan vi tilbyde kunden?
- Salget – Hvordan sælger vi det, og hvem er kunden?
- Organisationen – Hvordan organiseres og gennemføres salget?
- Økonomien – Hvordan tjener vi penge på det?

5.3 Produktet

Produktet er først og fremmest sten og grusmaterialer af knust beton til anvendelse i ubunden form til vejbygning overfladebelægning m.v. og i bunden form som tilslag til ny beton. Nedknust beton i ubunden form som 0-32 mm stabilgrus kan have styrkemæssige fordele sammenlignet med stabilgrus af naturlige materialer på grund af rester af ikke-hydratiseret cement i den nedknuste beton. Nedknuste beton som tilslag indebærer ikke specielt fordele sammenlignet med naturlige tilslagsmaterialer, men kræver derimod en del opmærksomhed under blanding af beton.

²⁴ Jan Bendtsen, Hvad er en forretningsmodel, <http://forretningsmodellen.dk/2011/03/hvad-er-en-forretningsmodel/>

Nedknust beton fra byggeaffald skaber ikke nogen nævneværdig værdi for bygherren af nyt byggeri, men det substituerer naturlige råstoffer og bidrager til en bæredygtig udvikling og regeringens strategi om cirkulær økonomi. Bygherren vil således se værdien af genbrug/genanvendelse af beton som eksponering af firmaets CSR (Corporate Social Responsibility) politik og øgede point i en eventuel DGNB/BREAM/LEED certificering.

5.4 Salg

Salg af knust beton til genanvendelse i ubunden form, fx stabilgrus 0-32 mm, er normalt uproblematisk under forudsætning af at materialet er rent og opfylder tekniske specifikationer og krav til anvendelse. Salget sker fra offentlige og private modtageanlæg/knuseanlæg/råstofselskaber. De primære kunder er entreprenører i byggesektoren.

Salg af knust beton til tilslag i ny beton er hidtil kun set i særlige demonstrationsprojekter, hvoraf nogle er støttet af Miljøstyrelsen. Målet er salg af knust beton til betonfabrikker og entreprenører i konkurrence med substitution af naturlige stenmaterialer. Men kunderelationer på området er endnu ikke færdigudviklede og konsoliderede, fordi incitamenterne til køb af sekundære materialer ikke er til stede. Den foreliggende udfordring er at udvikle produktet med den tilstrækkelige dokumentation og konkurrencedygtighed til at kunderne bliver interesserede. Dette søges gennemført med tillidsvækkende demonstrationsprojekter, dokumentation og information samt tiltag til CE-mærkning af genanvendte produkter.

De mest hensigtsmæssige salgskanaler antages at være eksisterende salgskanaler for primære råstoffer, således at kunderne kan forholde sig til konkrete sammenligninger mellem primære og sekundære materialer. Det anbefales, at man søger særlige projektsalg ved direkte salg af knust beton fra nedrivningsprojekter til genanvendelse i nybyggeri på stedet eller i nærheden. Herved opnås en konkurrencemæssig fordel i form af minimering af transport, økonomisk gevinst og reduktion af energiforbrug og CO₂-emission. Dette forudsætter logistisk match mellem nedrivning og nybyggeri.

5.5 Organisation

Sammenlignet med salg og levering af primære råstoffer er salg og levering af sekundære råstoffer, isæt knust beton som tilslag i ny beton, kompliceret. Primære råstoffer kommer fra råstofgrave og marine indvindinger i en kontinuert strøm af ensartede, sorterede og dokumenterede materialer. Sekundære råstoffer forekommer i diskontinuerte strømme fra forskellige kilder og ikke altid veldokumenteret. En konkurrencedygtig leverance af knust beton fra nedrivningsarbejder forudsætter en særlig organisation af de aktører, som er involveret i materialestrømmen frem til kunden. Alle aktørerne i værdikæden frem til nybyggeri, som nævnt i pkt. 4.2, skal være organiseret på en sådan måde, at leverancen af knust beton som tilslag sker rettidigt, i rette mængder og rette kvalitet. Vi taler om *værdikædesamarbejde* og *samspil - concerted actions*.

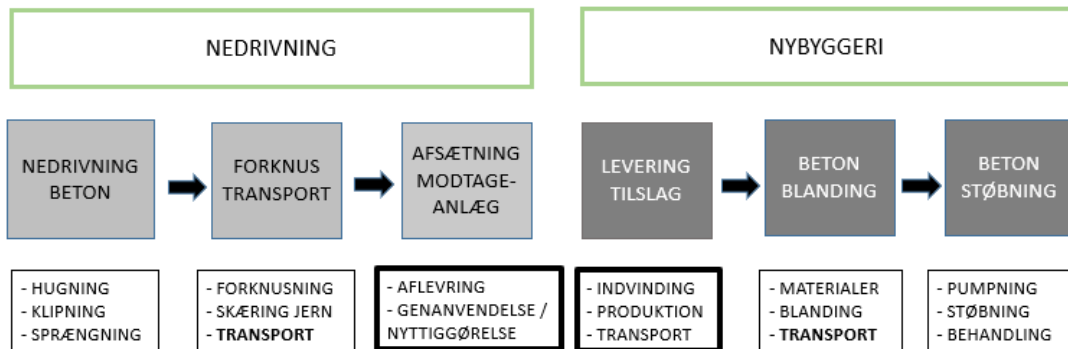
Organisationen og værdikædesamarbejdet forudsætter:

- Viden hos alle parter om hvad salg af genbrugsbeton handler om, og viden forudsætter uddannelse og information.
- Logistisk organisation af plads til modtagelse, knusning, sortering, oplæg m.v. og samling af mindre strømme på centrale anlæg m.v., der muliggør en passende kontinuert leverance til at opfylde efterspørgslen.

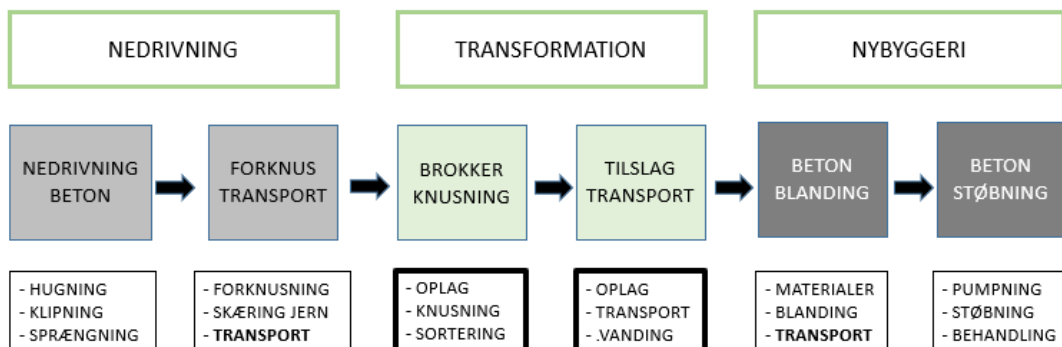
- Overblik over forestående større nedrivningsprojekter med realistiske potentialer for leverancer af genbrugsbeton samt planlægning af mulighederne for at gennemføre salg af knust beton som tilslagsmaterialer.

5.6 Økonomi og miljø

Den økonomiske og miljømæssige gevinst ved lokal genanvendelse af nedknust beton som tilslag til ny beton vurderes ud fra en sammenligning af omkostninger og miljøpåvirkninger i forskellige scenarier, traditionelle scenarier og genanvendelsesscenarier. Ved traditionelt scenarie forstås nedrivning af gammel bygning og bygning af ny bygning som adskilte økonomisk og miljømæssig uafhængige processer, som vist på figur 10. Ved genanvendelsesscenarie forstås nedrivning af gammel bygning og transformation af beton til genanvendt tilslag til beton i nybyggeri, som vist i figur 11, jf. værdikæde for beton som vist i figur 8.



Figur 10. Traditionelt scenarie, hvor nedrivning og nybyggeri udføres som adskilte og uafhængige processer. De særskilte aktiviteter, som med hensyn til omkostninger sammenlignes med genanvendelsesscenariet, er markeret med fede streger/typer.



Figur 11. Genanvendelsesscenarie, hvor beton efter nedrivning transformeres til tilslag i beton i nybyggeri. De særskilte aktiviteter, som med hensyn til omkostninger sammenlignes med det traditionelle scenarie, er markeret med fede streger/typer.

Ved sammenligning af omkostningerne vurderes omkostninger til nedrivning, forknusning og betonstøbning ikke at være væsentligt forskellige. Økonomien ligger i forskellen mellem omkostninger, som er fremhævet i figur 10 og 11. Fordelene ved lokal genanvendelse ligger hovedsagelig i besparelse af

- omkostninger til aflevering af beton til modtageanlæg efter nedrivning,

- omkostninger til levering af genanvendt tilslag i stedet for naturligt tilslag, og.
- transportomkostninger.

Det skal bemærkes, at ved anvendelse af mobilt betonblandeanlæg på plads passende nær pladsen for nybyggeri kan der opnås besparelse i såvel omkostninger til betonblanding som transportomkostninger.

Ved erstatning af naturligt tilslag med genanvendt tilslag opnås en besparelse af råstofafgiften, 5 kr./m³.

Forskelle i miljøpåvirkninger mellem de to scenarier ligger ligesom økonomien i de forskellige aktiviteter. Hvor de primære miljøpåvirkninger, CO₂ emission, energiforbrug, støv, støj og vibrationer afhænger af hovedsagelig af transportafstande og transportgener. Hertil kommer miljøpåvirkninger fra knusning og sortering af materialer, hvor produktion af naturlige materialer i en grusgrav og knusning af beton på et stationært anlæg er mindre problematisk en knusning og sortering på et mobilt anlæg på en byggeplads.

Reduktion af omkostninger, energiforbrug og CO₂, afhænger af de aktuelle logistiske forhold og mulighederne for at "matche" nye bygge- og anlægsprojekter med nedrivningsprojekter. Den ideelle løsning ligger i genanvendelse af beton fra en nedrivning til et nybyggeri på samme sted. Dette forudsætter god plads og muligheder for opstilling af knuseanlæg og midlertidig lagring af materialer.

Det anbefales, at man indledningsvis skaber et overblik over omkostninger og miljøpåvirkninger ved simple overslagsberegninger og sammenligninger mellem traditionel nedrivning og byggeri med optimeret ressourcelogistik, som vist i figur 10 og 11. En mere detaljeret beregning bør udføres på grundlag af LCA af de forskellige muligheder for genanvendelse og opstilling af sammenlignelige logistiske modeller.

6. IMPLEMENTERINGSSTRATEGI

6.1 Indledning

Implementering af værdikædens aktiviteter og samarbejde mellem aktørerne omkring de enkelte aktiviteter sigter på en sammenhængende og robust værdikæde rettet mod cirkulær økonomi. Implementeringen af værdikæden og forretningsmodellen for knust beton som tilslag i ny beton skal ses i lyset af regeringens *Strategi for Cirkulær Økonomi*²⁵ og den aktuelle planlægning i Miljø- og Fødevareministeriet og de enkelte kommuner om affaldsforebyggelse og ressourceeffektivitet frem til 2022/2024. Med henvisning til *Analyse af de væsentligste lovgivningsmæssige barrierer og muligheder ved cirkulært byggeri*²⁶ er der ingen direkte barrierer, som forhindrer cirkulært byggeri. Der er dog en række uudnyttede muligheder i lovgivningen samt problemområder, der fremtræder som de facto barrierer for cirkulært byggeri. En af de vigtigste barrierer består i, at der er stor usikkerhed forbundet med den fremtidige genbrug og genanvendelse af materialer til brug for cirkulært byggeri og lovgivningen på området.

6.2 Strategi

Som oplæg til drøftelse af strategien for at nå målsætningen for udvikling af værdikæden for lokal genanvendelse af beton, som nævnt i pkt. 1.3, anbefales overvejelse af rammebetingelser og instrumenter for cirkulært byggeri, øget kvalitet i genanvendelse af bygge- og anlægsaffald og grøn omstilling.

Der skal peges på følgende idéforslag:

- Regional råstofplan med strategi for kortlægning af potentialet af genbrugsmaterialer og konkrete plan for udnyttelse af bygningsaffald som sekundære råstoffer til substitution af og supplement til primære råstoffer. Det skal bemærkes, at det fremgår af Råstofplan for Region Midtjylland 2016, at der er stor usikkerhed omkring mængderne af bygge- og anlægsaffald og det mulige råstofpotentiale²⁷.
- Kommunale affalds- og ressourceplaner med sigte på genanvendelse af beton i højest mulig kvalitetsklasse.
- Kommunal plan for cirkulær økonomi med konkrete bestemmelser for genanvendelse af byggeaffald, inkl. beton.
- Kommunale lokalplaner med krav om genanvendelse af beton.

²⁵ Udgivet af Miljø- og Fødevareministeriet og Erhvervsministeriet, september 2018

²⁶ HORTEN og Lauritzen Advising, *Analyse af de væsentligste lovgivningsmæssige barrierer og muligheder ved cirkulært byggeri*, oktober 2017 udarbejdet for Foreningen for Byggeriets Samfundsansvar i forbindelse med projekt Circle House.

²⁷ Region Midtjylland, Råstofplan 2016, side 24.

- Kommunalt affaldsregulativ med inddragelse af kvaliteten af affaldet i klassificering og anvisning af beton til genbrug/genanvendelse. Dvs. bygherre nedrivning skal anmelde sit betonaffald ud fra en kvalificeret vurdering af genanvendelsespotentialiet.
- Krav til kommunale bygherrer om genanvendelse af beton i kommunale renoveringer og nybyggerier i byggetilladelser.
- Krav om selektiv nedrivning i meddelelse af nedrivningstilladelser.
- Fælleskommunale anlæg til behandling af bygge- og anlægsaffald, herunder plads til midlertidige oplæg af brokker, knuseanlæg og færdigvarer.
- Inspiration til private – offentlige partnerskaber.
- Regionale og fælles kommunale tiltag til uddannelse, information og formidling af erfaringer fra genanvendelsesprojekter.
- Indledende økonomisk støtte til demonstrationsprojekter, uddannelse, informationsformidling og strategi for overgang til privat finansieret bæredygtig markedsføring af genanvendte betonmaterialer.

6.3 Operationelle scenarier

For at implementeringen af værdikæde for genanvendelse af beton giver mening, er det nødvendigt at fastsætte nogle operationelle betingelser for indsatsen. For det første skal der foreligge et passende volumen og potentiale af beton fra nedrivninger og renoveringer, mindst 200 t, jf. afsnit 2.5. For det andet skal der eksistere byggeri, renovering og anlægsarbejder med behov for de transformerede materialer. For det tredje skal der være muligheder for logistisk match mellem nedrivninger og byggeprojekter, så værdikædens aktiviteter integreres, jf. afsnit 3.4, og omkostninger til transport, flytning, lagerleje m.v. reduceres til et minimum.

Vi ser på følgende typiske operationelle scenarier²⁸:

- Nedrivning og genanvendelse på stedet
- Lokal genanvendelse
- Byudvikling med genanvendelse

6.3.1 *Genanvendelse på stedet*

Genbrug af bygninger eller nedrivning og opførelse af bygninger på stedet. Transformation af ressourcer inden for matriklen. Dette er den mest optimale transformation, idet man ved at holde aktiviteterne inde på grunden kan man undgå transport. Som eksempel skal nævnes ombygning af kornsilo i Løgten, genbrug af kasernebygninger i Viborg, Maltfabrikken i Ebeltoft, Statsfængslet i Horsens m.fl.

6.3.2 *Lokal genanvendelse*

Nedrivning af bygninger og genbrug/genanvendelse på samme matrikel eller andet sted. Transformation sker uden for matriklen. Her er der behov for at henlægge en del af aktiviteterne uden for grunden på grund af pladsmangel eller fordi der ikke skal bygges nyt på grunden. Vi taler om to typer transformation:

²⁸ Scenarierne er nærmere defineret og beskrevet i *Construction, Demolition and Disaster Waste Management (Lauritzen 2018)*

- Nedrivning af en eller flere bygninger på en relativt lille grund og opførelse af ny bygning på grunden med genanvendte materialer, men på grund af pladsmangel på knusning og sortering af beton samt blanding af ny beton foregå andet sted. Det er måske aktuelt at blande genbrugsbeton på nærliggende permanente betonfabrik, eller opstille mobilt betonanlæg på egnet plads i nærheden, hvor der også er plads til knuseanlæg og opæg af brokker og færdigvarer.
- Nedrivning og fjernelse af bygninger og anden udnyttelse af grunden uden nyt byggeri. Alle materialer fjernes og genanvendes andre steder i lokaliteten. Muligheder for samling og oparbejdning af pulje for betonmaterialer af samme type og kvalitet bør udnyttes.

6.3.3 *Byudvikling med genanvendelse*

Nedrivning, rehabilitering og genbrug af et antal bygninger og infrastruktur inden for et lokalområde. Transformation inden for området. Her tænkes på den løbende byfornyelse, udvikling af havneområder, gamle jernbanearealer, større industriområder m.v. Som typisk eksempel skal nævnes Gellerupparken, hvor man hidtil ikke har udnyttet mulighederne planmæssig genanvendelse af ressourcerne. Det har været op til nedrivningsentreprenøren selv at afsætte betonaffald til genanvendelse af nedrivning af de første bygninger.

6.4 Indikatorer og parametre

Måling og evaluering af indsatsen og resultatet af værdikædens aktiviteter kræver, at vi er enige om en række indikatorer, som kan sammenlignes og måles. Miljøstyrelsen har i 2014 udgivet rapporten *Indikatorer til måling af affaldsforebyggelse*, som giver følgende indikatorer:

- Mængden af farligt affald fra bygge- og anlægssektoren.
- Materialeanvendelsen i bygge- og anlægssektoren i forhold til gulvarealet.
- Bygge- og anlægsaffald i forhold til materialeanvendelse i konstruktion.
- Bygge- og anlægsaffald i forhold til værditilvækst i byggesektoren
- Antallet af bygninger og byggeprodukter, der er certificeret som værende uden skadelige stoffer.

Ingen af disse indikatorer er umiddelbart relevante for genanvendelse af beton. Det anbefales at overveje følgende væsentlige indikatorer og parametre til brug ved sammenlignede livscyklus- og værdikædeanalyser for genbrug og genanvendelse af beton:

- Den procentvise andel af henholdsvis genanvendelse af beton som tilslag, genanvendelse af beton i ubunden form og anden nyttiggørelse af beton i forhold til de samlede mængder beton i bygningsaffald.
- Den procentvise andel af tilslag af knust beton i forhold til tilslag af naturlige materiale i ny beton.
- Substitution af naturlige råstoffer (sten og grus) med knuste betonmaterialer - bundne såvel som ubundne.
- Forbrug af cement i beton med tilslag af knust beton i forhold til cement i beton med tilslag af naturlige materialer.
- Samlet transportbehov for produktion og levering af genbrugsbeton i forhold til levering af traditionel beton.

- Samlet CO₂ emission for produktion og levering af genbrugsbeton i forhold til levering af traditionel beton.
- Samlet energiforbrug for produktion og levering af genbrugsbeton i forhold til levering af traditionel beton.

7. DEMONSTRATIONSPROJEKT

7.1 Indledning

Med henblik på evaluering, praktisk erfaringsopsamling og synliggørelse af udvikling af værdikæde og forretningsmodeller har vi under starten af prospektet i efteråret 2018 overvejet at gennemføre et mindre antal demonstrationsprojekter. Overvejelserne er endt med forslag om et enkelt demonstrationsprojekt, nemlig genanvendelse af beton i den forestående næste fase af nedrivninger i Gellerup Parken.

7.2 Vurdering af mulige demonstrationsprojekter

Det er vigtigt at det planlagte demonstrationsprojekt indeholder såvel et eller flere nedrivningsprojekter med produktion af betonbrokker egnet til genanvendelse som et eller flere byggeprojekter med efterspørgsel af nedknust beton enten til brug i ubundne bærelag eller som tilslag i ny beton. Der skal foreligge en passende tidsmæssig og mængdemæssig matchning med muligheder for lokal genanvendelse. Det vil sige at betonmaterialerne bør ikke transporteres over længere afstande, fx max 30 km, for at blive genanvendt. Vi har søgt at identificere mulige demonstrationsprojekter i Region Midtjylland grundlag af de følgende tre scenarietyper, som beskrevet i pkt. 6.3:

7.2.1 *Genanvendelse på stedet*

Nedrivningsprojekt på en rimelig stor grund med mulighed for sortering og nedknusning af betonmaterialer på grunden med henblik på genbrug af nedknust beton som tilslag i nyt byggeri på samme grund. Der er behov for støbning af med mobilt knuseanlæg fx FIBO-anlæg, som eksempelvis er anvendt til byggeri med genbrugsbeton for Pelican Self Store i København.

Vi overvejede mulighederne for at finde nedrivning og genopbygning af større skoler p.g. af PCB og skimmelsvamp, nedrivning og ombygning af kaserner, som ikke længere benyttes og større industri-anlæg og havneudvikling. Der blev foretaget undersøgelse af muligheden for at nedrivning af slagteriet i Skive og udvikling af grunden med nyt byggeri. Men, tidsmæssigt viste denne mulighed sig ikke at være realiserbar.

7.2.2 *Lokal genanvendelse*

Her taler vi om typiske mindre nedrivningsprojekter i byområder, som antagelig pågår jævnligt i regionens kommuner. Der søges fx to typer nedrivning:

- Nedrivning af en eller flere offentlige bygninger, fx mindre skoler og kontorer, med efterfølgende byggeri på matriklen. Materialer fra nedrivning håndteres andet sted, fx på kommunens genbrugscenter, og genbruges i det nye byggeri.

- Nedrivning og fjernelse af tomme/faldefærdige bygninger med støtte fra Landsbyggefonden. Her er der tale om fjernelse af relativt mange mindre bygninger med begrænsede betonmængder og tomme landbrugsbygninger med større mængder beton. Der er næppe beton i større mængder og med god kvalitet til genbrug som tilslag. Genanvendelse af fleres forskellige typer og mængder til nedknust beton i ubundne bærelag. Kommunerne udbyder nedrivning af flere bygninger på en gang. Der bør være mange muligheder for kreativ genanvendelse af beton. Mulighederne for at samle betonmaterialer fra flere bygninger bør udnyttes.

Byudvikling med genanvendelse

I Region Midtjyllands større byer sker der relativt store byfornyelsesprojekter over flere år med muligheder for genbrug/genanvendelse af bygninger og bygningsmaterialer, samt infrastruktur, som sjældent udnyttes. Efter en hurtig screening af mulighederne for genanvendelse af beton i byfornyelse af Region Midtjyllands ghettoområder²⁹: Sundparken (Horsens), Bispehaven, Skovgaardsparken og Gellerupparken, og andre udviklingsprojekter, fx udvikling af Regionshospitalet i Herning, fandt vi Gellerupparken som mest egnet som demonstrationsprojekt

7.3 Demonstrationsprojekt Gellerupparken

Den 25. februar 2019 blev der fortaget besigtigelse af Gellerupparken med deltagelse af repræsentanter for Brabrand Boligforening, Minor Change, Fibo og Lauritzen Advising. Mulighederne for genanvendelse af knust beton fra nedrivning af 3 – 4 blokke³⁰ i fase 2 af reovering af Gellerup Park, Helhedsplanen Gellerup Toveshøj, blev drøftet. Det blev oplyst, at i hver boligblok er der ca. 3600 m³ beton svarende til ca. 8.000 t beton. Dvs. at der i alt vil blive tale om størrelsesorden 24.000 – 32.000 t beton.

7.3.1 *Muligheder for genanvendelse af beton i Gellerupparken*

Tabel 3 giver en oversigt over de mest nærliggende muligheder for genanvendelse af beton i Gellerupparken. På møde d. 25. februar aftaltes, at der indledningsvis skulle fokuseres på genanvendt tilslag i passiv miljøklasse.

7.3.2 *Forudsætning for genanvendt tilslag*

Med henvisning til *DS/EN 206 Beton* og *DS/EN 12620 Tilslag til beton* er det som nævnt i afsnit 2.5 tilladt at bruge tilslag af nedknust beton med en andel op til 30% af det grove tilslag.

Bygherrens incitament til byggeri med genbrugsbeton er en kombineret økonomisk og miljømæssig gevinst, der betinget af, at genanvendelsen sker lokalt, at der er et reduceret transportbehov af materialer, og der spares naturlige råstoffer. Totaløkonomien ved genanvendelse af beton hænger sammen med besparelse på omkostninger til håndtering af beton som affald fra nedrivning af bygninger i nærheden eller besparelse på omkostninger for bortskaffelse af anden overskudsbeton.

Forudsætningerne for anvendelse af genbrugsbeton kan opdeles i økonomiske, miljømæssige, produktionsmæssige og logistiske forudsætninger samt lovmæssige forudsætninger og udfordringer, som er nærmere beskrevet i afsnit 2.5, er følgende:

²⁹ Jf. Transport, Bygnings og Boligministeriets liste over ghettoområder pr. 1. december 2017.

³⁰ Der tales uofficielt om ønsker om nedrivning af 8 blokke, hvilket har betydning for demonstrationsprojektets ressourcer og økonomi

| Kvalitets-niveau | Materiale | Anvendelse |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Genbrug af beton. Genbrug af vægelementer og konstruktionsdele | Skærme og plader i friarealer, støjskærme, niveausikring, støttevægge m.v. |
| 2 | Genanvendt tilslag. Genanvendelse af knust beton som tilslag til ny beton | Beton i passiv miljøklasse, uklassificerede betonkonstruktioner eller f.eks. i fundamenter, etagedæk, kantsten, fliser, klaplag, og afspærringsblokke (Hofmannblokke). Evt. genanvendelse som tilslag i moderat og aggressiv miljøklasse. |
| 2-4 | Genbrug af brokker og fliser | Flisebelægninger. |
| 3 | Genanvendt bærelag. Genanvendelse af knust beton i ubundne bærelag | Genbrugsstabil 0-32 og større stenfraktioner f.eks. i veje og befæstelser, f.eks. i byggepladsveje, permanente veje, og pladser. |
| 4 | Genanvendelse af knust beton i overfladebelægninger | Evt. blandet med nedknust tegl og asfalt i belægninger, f.eks. i cykelstier, midlertidige byggepladsveje m.v. |
| 5 | Fyld | Fyld i ledningsgrave, fyld ved fundamenter, terrænregulering m.v. |

Tabel 3. Forskellige kvaliteter af genbrug og genanvendelse af beton, nævnt i kvalitetsmæssig orden fra toppen, som tænkes relevant for demonstrationsprojekt i Gellerupparken.

Økonomiske forudsætninger

Leverancen af beton med genanvendt tilslag skal gennemføres til en konkurrencedygtig pris sammenlignet med pris for færdigbeton med naturlige materialer leveret på byggeplads i Gellerupparken. Henset til de miljømæssige forudsætninger og besparelse i CO₂ sammenlignet med leverance af færdigbeton kan en mindre prisdifference accepteres.

Miljømæssige forudsætninger:

- Genanvendelsesprocesserne, dvs. knusning og betonblanding, skal ske lokalt i eller tæt på Gellerupparken for at spare på transport og dermed spare energi og reducere CO₂.
- Knusning af brokker og midlertidig oplægning af brokker før og efter knusning bør ligeledes ske i nærheden af nedrivning af de 3-4 (måske op til 8 blokke) under størst mulig hensyntagen til støj, støv og vibrationer.
- Renheden af brokkerne fra nedrivning skal være dokumenteret. Der henvises til erfaringerne fra nedrivning af de første blokke for nogle år siden.

Produktionsmæssige forudsætninger:

- Der er behov for ensartede betonmængder med en passende kvalitet for at producere beton med den krævede kvalitet, som nævnt i tabel 3.
- Beton skal kontrolleres og kvalificeres før nedrivning.
- Beton med genanvendt tilslag bør blandes på byggepladsen eller i nærheden med mobilt blandeanlæg med en kapacitet, der er nødvendig for den planlagte støbeprocess, alternativt blandes beton på stationært anlæg så nær ved Gellerupparken som muligt.
- Betonbrokker skal nedknuses i fraktioner, afhængig af de specifikke krav til beton, jf. nedenstående krav.
- Sandfraktionen, under 4 mm, efter knusning af brokker bør om muligt anvendes som fint tilslag, subsidiært bruges som fyld.

Logistiske forudsætninger:

- Ved produktion af genanvendt tilslag, 4 mm – 25 mm (evt. 32 mm) skal der regnes med 40-50 % frasortering af fine materialer. Ser vi på nedrivning af én blok med ca. 8.000 t, kan vi regne med 4.000 t genanvendt tilslag. Forudsat 100% tilslag af nedknust beton, kan der produceres ca. 4.000 m³ frisk beton. Forudsat 20% tilslag af nedknust beton taler vi om 20.000 m³ beton.
- Knusning og sortering af 8.000 t brokker til 4-24 mm tilslag forventes at tage 5-6 dage.
- Der skal findes plads til nedknusning og midlertidig oplægning af materialer før og efter knusning. Hvis knusning og sigtning gennemføres som en samlet proces kræves god plads på grund af anlæggets størrelse, og det vil næppe kunne gennemføres på nedrivningspladsen. Hvis knusning og sortering sker i opdelt processer antages, at der er mulighed for knusning på nedrivningsstedet.

Lovmæssige forudsætninger og udfordringer:

- Den gældende lovgivning tillader ikke at anvende genanvendt tilslag til konstruktioner af højere klasse end passiv miljøklasse. Ønsker om højere klasse og mere end 30% tilslag kræver dispensation fra Aarhus kommune.
- Det er teknisk muligt at fremstille beton med genanvendt tilslag, der opfylder alle styrkemæssige og holdbarhedsmæssige forudsætninger til klasse-A – det fordrer naturligvis at kvaliteten af den oprindelige beton er tilstrækkelig god, samt ikke mindst, at de produktions tekniske forhold sikrer mod opblanding med genbrugsmaterialer af lavere lødighed.

7.3.3 *Krav til genanvendt tilslag*

Forud for nedrivning af eksisterende konstruktioner skal betonkvaliteten i de forskellige konstruktionsdele i bygninger, der skal nedrives, kortlægges og indledende dokumenteres. Efter nedrivning skal brokkerne håndteres og lagres i bunker, der kvalitetsmæssigt er adskilt, så der er grundlag for at fremstille beton i forskellige styrke og miljøklasser.

Betonbrokkerne nedknuzes og sorteres i fraktioner, med en D_{max} der er tilpasset dæklagskravet – eventuelt kan fremstilles én bredere fraktion, forudsat den indre kornkurve muliggør sammensætning af en brugbar sætmålsbeton, fx 4-25mm med 15-25 % i fraktionen 4-8mm; de endelige grænser afhænger af det/de specifikke materialer.

Forud for den egentlige nedknusning af betonbrokkerne skal der udføres indledende forsøgsknusning og -sortering for at afklare hvordan de aktuelle materialer responderer på knusningen. På denne baggrund opstilles forudsætningerne for fremstilling af den/de ønskede fraktioner, hvorefter den egentlige nedknusning kan udføres. Dette indledende arbejde skal udføres under nøje overvågning og kontrol af specialister med erfaring i beton med genanvendt tilslag.

7.3.4 *Design af beton med genanvendt tilslag*

Det forudsættes, at Gellerupparkens rådgivere designer bygninger og konstruktioner med genanvendt beton. På grundlag af prøveknusning og laboratorieundersøgelser og design af beton med hensyn til styrke, armeringsdæklag og miljøklasse udarbejdes betonrecept. Materialerne skal opfylde DS/EN 12620 og DS2426. Betonen skal opfylde de brugsmæssige og holdbarhedsmæssige krav i DS/EN 206 og DS 2426.

7.3.5 *Leverance af beton*

Det anses under normale forudsætninger ønskværdigt, at betonleverandøren i samarbejde med entreprenøren selv vælger den/de aktuelle betonsammensætninger og recepter, for at reducere bygherres og rådgivers ansvar. Da værdikæden for genanvendt tilslag afviger fra værdikæden for traditionel beton, kan der opstå usikkerhed med hensyn til materialernes kvalitet og rettidige leve-

rance, som kan skabe problemer under betonentreprisernes udførelse. Derfor kan det være hensigtsmæssigt, at bygherren (Brabrand Boligforening) står for betonleverancen og kontrol af betonproduktionen, som bygherreleverance.

7.3.6 *Scenario for genanvendelsesprocesser*

Når der er truffet beslutning om nedrivning af en eller flere af de omtalte blokke foretages kortlægning af mulige forureninger og kortlægning af ressourcer, herunder mulighederne for genanvendelse af knust beton som tilslag i ny beton eller som ubundne materialer til vejbygning eller andet formål. Efter grundig miljøsanering, ligesom i nedrivning af de første blokke i fase 1, gennemføres nedrivning som selektiv nedrivning afsluttende med nedrivning af råhus. Betonkonstruktioner nedrives og forknuses til håndterbare brokker, typisk 40 cm størrelse.

Efter nedrivning og forknusning køres brokkerne til knuseanlæg, evt. midlertidigt oplag før knusning. Mulighederne for knusning på stedet bør overvejes, hvilket afhænger af den samlede transformationsproces og brug af materialerne. Det mest hensigtsmæssige vil være at leje et passende areal så tæt på Gellerupparken som muligt, hvor der er plads til både oplag af brokker og færdigvarer efter knusning samt plads til knuseanlæg og sigte. En mulighed er at køre brokkerne til AffaldsCentret i Aarhus kommune, Ølstedvej 20-36, Lisbjerg, afstand 18,2 km, 20 min. køretid, kan også komme på tale.

Vi sigter på at bruge den knuste beton som tilslag i beton, passiv miljøklase, i renoveringsarbejdet og nybyggeri. Derfor vil en løsning med knusning og beton blanding på stedet eller så nær Gellerupparken være mest hensigtsmæssig. På mødet d. 25. februar 2019 talte vi om i muligheden for opstilling af et mobilt blandeanlæg på en nærliggende lokalitet, som efter behov kunne flyttes til byggeplads i Gellerupparken og blande beton til aktuelt nybyggeri. I mellemtiden kan det mobile blandeanlæg opstilles på den lokale, lejede plads og blande beton til betonprodukter som fx kantsten, Hoffman-blokke, betonskærme og andre produkter, som både kunne bruges i renoveringsprojektet eller afsættes til anden side.

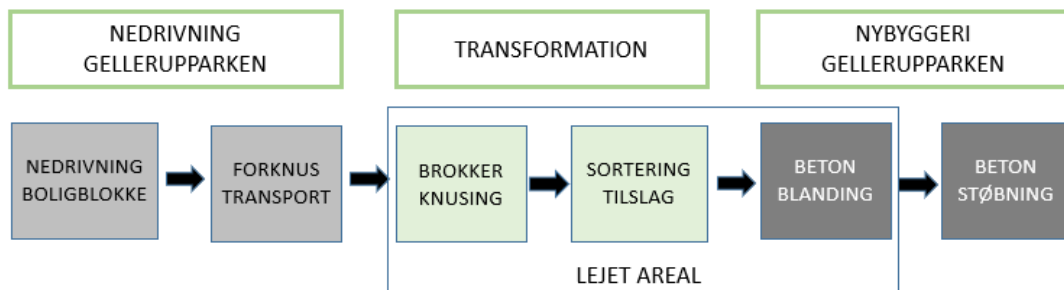
Alternativt til betonblanding på mobilt anlæg kan de genanvendte tilslagsmaterialer køres til betonfabrik og blandes til færdigbeton, som med betonbil køres til byggeplads i Gellerupparken, f.eks. DK Beton, Grydehøjparken, Tilst, 7,5 km, 12 min. Køretid.

Det er vigtigt at logistikken i transformationsprocesserne planlægges og styres, så transportbehovet og behovet for læsning, aflæsning og flytning minimeres. Som nævnt ovenfor er logistikken er af de mest betydende faktorer for omkostninger og CO₂ emission med hensyn til de transformerede ressourcers konkurrencedygtighed i forhold til naturlige råstoffer. Som udgangspunkt for den videre planlægning og vurdering af mulighederne for beton med genanvendt tilslag i renovering af Gellerupparken anbefales et scenario som vist i figur 12.

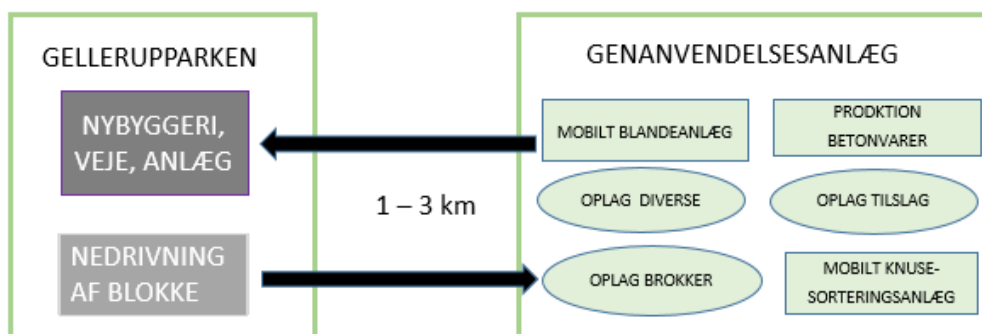
7.3.7 *Kortfattet forslag til koncept for genanvendt tilslag i ny beton*

- Beton fra 3-4 (måske op til 8) blokke i Gellerupparken á ca. 8000 t beton nedrives og forknuses på stedet til maks. 40 – 50 cm og friskæres for armeringsjern med henblik på knusning.
- De forknuste materialer køres til udpeget (lejet) areal nær Gellerupparken (helst ikke over ca. 3 km) og oplægges til knusning.
- Materialerne knuses til 04–24 mm evt. 04-32 mm med mobilt knuseanlæg opstillet på pladsen, kapacitet ca. 1.000 – 1.600 t pr. dag. Færdigvarerne oplægges på pladsen med henblik på betonblanding, se figur 14.

- Blanding af beton foregår med mobilt blande anlæg på lejet areal i takt med behov for leverancer til nybyggeri. Kapacitet 20 – 25 m³ pr. time.
- Overskydende tilslagsmateriale blandes på stedet og bruges til produktion af betonvarer, som kan bruges i renoveringsprojektet eller afsættes til anden side.



Figur 12. Foreslået værdikæde for genanvendelse af beton som genanvendt tilslag i ny beton i Gellerupparken.



Figur 13. Foreslået scenarie for genanvendelse af beton i Gellerupparken.

Genanvendelsesprocessen som helhed forudsætter en klar organisation og ansvarsfordeling mellem parterne.

Det anbefales,

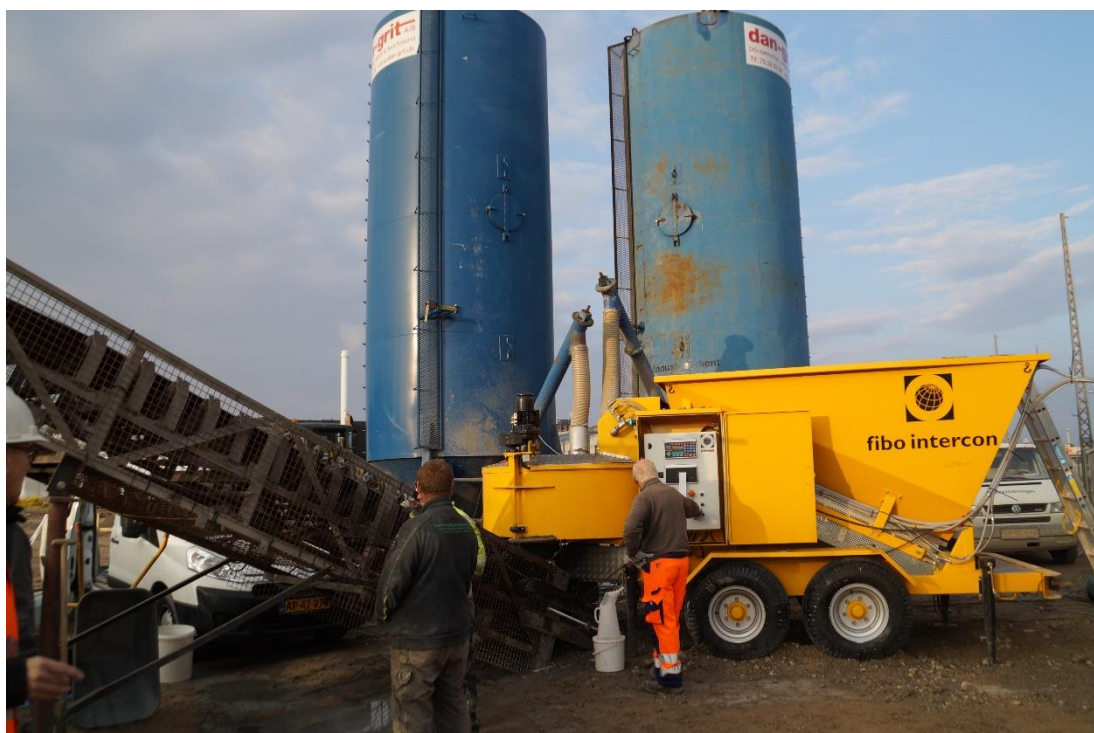
- at nedrivningsentreprisen omfatter forknusning og levering af de knuste materialer til aftalt plads (areal for knusning og blanding af beton),
- at nedrivningsentreprenøren har ansvar for materialernes renhed,
- at bygherren eller byggeentreprenør har ansvar for knusning og tilslagsmaterialernes kvalitet,
- at betonentreprisen udføres med genanvendt tilslag og betonblanding på mobilt anlæg, og
- at entreprenøren, der udfører betonentreprisen, også har ansvar for betonrecept og blanding af beton.

Knusning og ansvar for kvalitet af tilslagsmaterialerne kan evt. overlades til nedrivningsentreprenøren eller betonentreprenøren. Men det kræver en nærmere vurdering af den samlede transformationsproces med hensyn til matching, materiale-flow, tid og mængder.

7.3.8 Økonomiske og miljømæssige fordele og ulemper

Vi vurderer, at der ved genanvendelse eller nyttiggørelse af ca. 8.000 t beton fra en blok i Gellerupparken foreligger følgende fordele og ulemper sammenlignet med traditionel nedrivning og bort-

skaffelse af beton samt byggeri og anlægsarbejde med tilslagsmaterialer og grus af naturlige materialer.



Figur 14. Mobilt Fibo Intercon anlæg ved blanding af beton med genanvendt tilslag til Pelican Self Storage byggeri på Amager (foto Lauritzen).

Fordele:

- Genanvendt tilslag kan leveres nedknust og sorteret til en pris af størrelsesorden 40 – 50 kr. pr t. Til sammenligning koster tilslag af naturlige materiale afhængig af kvalitet 70 – 150 kr. ekskl. transport.
- Nedknuste brokker til stabilgrus 0 -32 mm kan leveres til byggepladser i Gellerupparken til en pris af størrelsesorden 40 – 60 kr. pr.t.
- Restprodukter fra knusning kan leveres til Gellerupparken som fyld til priser af størrelsesorden 20 kr. pr. t
- Blanding af beton på mobilt anlæg kan udføres fleksibelt og til mindre omkostninger end blanding på betonfabrik³¹.
- Forudsat, at der kan findes et passende areal nær Gellerupparken vil omkostninger til transport af brokker, tilslag m.v. og de hermed forbundne CO₂ udledninger kunne reduceres væsentligt sammenlignet med bortkørsel af brokker, transport af naturligt tilslag og beton fra betonfabrik transportomkostninger.
- Ved genanvendelse eller nyttiggørelse af 8.000 t beton fra nedrivning opnås en besparelse af naturlige råstoffer med en tilsvarende mængde.

³¹ Fibo Intercon A/S har kalkuleret priser på betonproduktion til under 600 kr/m³.

Ulemper:

- Genanvendelse af materialer fra nedrivning til nyt byggeri i Gellerupparken kræver en detaljeret planlægning med fokus på sikring af, at beton med genanvendt tilslag opfylder de givne normkrav.
- Genanvendelsen er forbundet med en særlig logistik med sigte på matching af materialestrøm fra nedrivning til rettidig levering af genanvendte materialer til nyt byggeri eller anlægsarbejde.
- Der må påregnes omkostninger til prøvetagning og laboratorieundersøgelser af beton før nedrivning af størrelsesorden 100.000 kr. pr. blok samt ekstra omkostninger til prøvning og test af materialerne under procesforløbet.
- Der skal regnes med lejeomkostninger og drift af areal til knusning, oplag og blanding af beton m.v.

Det er vigtigt at der tidligt i forundersøgelserne foretages en detaljeret vurdering af de økonomiske og miljømæssige fordele og ulemper.

7.4

Aktionsplan

Det anbefales, at de indledende forundersøgelser omfatter:

- Vurdering af genanvendelsespotentiale for beton i de 3-4 nævnte blokke, herunder laboratorieundersøgelse af betonkvalitet.
- Undersøgelse af muligheder for areal til oplag af materialer før og efter knusning samt plads til knuseanlæg, sigte og senere mobilt blandedanlæg, skønnet størrelse, 50 m x 50 m (1/4 ha) - 100 m x 100 m (1 ha).
- Vurdering af alternative muligheder for lokal knusning og fabriksfremstilling af beton.
- Vurdering af konkrete muligheder for genanvendelse af beton, konstruktionstyper, mængder, kvalitet m.v.
- Vurdering af muligheder for fremstilling og afsætning af andre betonvarer med genanvendt tilslag.
- Oplæg til plan for genanvendelsesprocesser med af konkret genanvendelsesscenarie, evt. et – to alternative scenarier.
- Vurdering af økonomi i genanvendelsen af beton i forhold til traditionel beton i renoveringsprojektet.
- Vurdering af miljøpåvirkninger ved genanvendelse i forhold til traditionel beton med fokus på energiforbrug, CO₂ emission og trafikbelastning.
- Oplæg til udbudsbetingelser for nedrivning af de nævnte blokke.
- Oplæg til udbudsbetingelser for betonentrepriser med genanvendt tilslag og for betonentrepriser.
- Samlet rapport over forundersøgelser med budget og tidsplan.

Når der er truffet beslutning om nedrivning af en eller flere blokke i 2. fase af renoveringsprojektet, planlægges og projekteres nedrivning med henblik på genanvendelse af beton efter følgende retningslinjer:

- Opfølgende undersøgelse af konkrete muligheder for genanvendelse af beton.
- Miljøundersøgelser og udarbejdelse af miljørapport med plan for miljøsanering
- Kortlægning af ressourcer, som beskrevet i Miljøprojekt nr. 2006 Ressourcekortlægning af bygninger, april 2018.
- Beslutning om konkrete genanvendelsesmuligheder med fastlæggelse af organisation og ansvarsfordeling.

- Projektering af nedrivningsprojekt
- Udbud af nedrivningsprojekt, hvor nedrivningsentreprenøren får til opgave at levere brokker forknust til udpeget, lejet areal med henblik på genanvendelse – knusning kan evt. indgå i opgaven.
- Projektering af nybyggeri med konstruktioner af beton med genanvendt tilslag.
- Udbud af nyt byggeri med genanvendt beton, hvor der foreskrives, at entreprenøren skal bygge konkrete betonkonstruktioner med beton med genanvendt tilslag, blandet på stedet med mobilt blandeanlæg.
- Opstilling af tidsplan med fastlæggelse af tidsfrister for henh. dispositionsplan, projektering og udbud.

Det anbefales, at Brabrand Boligforening og Aarhus kommune snarest i 2020 indkalder potentielt interesserede entreprenører, rådgivere, leverandører m.fl. til et møde, hvor Værdisamarbejdet kan præsentere forslag i denne rapport og, hvor man kan drøfte de forskellige interesser og muligheder for genanvendelse af beton fra de fremtidige nedrivninger af boligblokke i nyt byggeri i Gellerupparken.

TILLÆG I. DEFINITIONER OG FORKORTELSER

BAA: Bygge og anlægsaffald

Bortskaffelse: Enhver operation, der ikke er nyttiggørelse, også hvis operationen som sekundær konsekvens fører genvinding af stoffer eller til energiudnyttelse.

Genanvendeligt affald: Affald, som er egnet til genanvendelse, og som efter lovgivningen skal genanvendes.

Genanvendelse: Enhver nyttiggørelsesoperation, hvor affaldsmaterialer omarbejdes til produkter, materialer eller stoffer, hvad enten de bruges til det oprindelige formål eller andre formål.

Genanvendelse af beton: Overordnet uspecificeret begreb for genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse af beton fra bygge- og anlægsaffald. Se nedenstående tabel.

Genanvendt tilslag: Genanvendelse af beton som nedknust tilslag i ny beton

Genanvendt bærelag: Genanvendelse af beton som nedknust ubundet materiale i bærelag

Genbrug: Enhver operation, hvor produkter eller komponenter, der ikke er affald, bruges igen til samme formål, som de var udformet til.

Genbrugsstabil: Genanvendelse af knust beton som stabilgrus 0-32 mm

Materialenyttiggørelse: Forberedelse til genbrug, genanvendelse eller anvendelse til anden endelig materialenyttiggørelse eller forbehandling med henblik på en af de nævnte behandlingsformer.

Nyttiggørelse: Enhver operation, hvis hovedresultat er, enten at affald opfylder et nyttigt formål ved at erstatte anvendelsen af andre materialer, der ellers ville være anvendt til at opfylde en bestemt funktion, eller at affaldet bliver forberedt med henblik på at opfylde den bestemte funktion i anlægget eller i samfundet generelt.

Opfyld: Knust beton i fyldmateriale

Transformation: Samlede processer i genanvendelse af beton fra affald i gammel bygning til ressource i ny bygning.

TILLÆG II. REFERENCER

Bygningsreglementet, BR2018

Bendtsen, Jan. Hvad er en forretningsmodel, <http://forretningsmodellen.dk/2011/03/hvad-er-en-forretningsmodel/>

CLEAN, Genanvendelse af bygge- og anlægsaffald via udbud, CLEAN, 2015-2017, med tilskud fra Grøn Omstillingsfond og 0.5 mio. kr. fra Region Sjælland

DS/EN 206 NA 2019 Beton - Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse

DS/EN 12620 Tilslag til beton

DS 2426 Beton Materiale Regler for anvendelse af EN 206-1 i Danmark

DS/EN 15978 Bæredygtighedsvurdering inden for byggeri og anlæg- Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet.

EU. Integrated Decontamination and Rehabilitation of Buildings, Structures and Materials in Urban Renewal [IRMA] European Fifth Framework Programme Energy, Environment and Sustainable Development Key Action 4: City of Tomorrow and Cultural Heritage. Contract no. EVK4-CT-220-00092. Project files and report to the EU Commission 2006.

Flemming Berg og Caroline Hejlesen: Nye udbudsforskrifter for ubundne bærelag af knust beton, tegl og asfalt, Trafik & Veje, november 2011

Guldager Jensen, K. and Sommer, J. *Building a Circular future*, Published by GXN and MT Hojgaard in 2016 with support from the Danish Environmental Protection Agency

HORTEN og LAURITZEN ADVISING Analyse af de væsentligste lovgivningsmæssige barrierer og muligheder ved cirkulært byggeri. CIRCLE HOUSE og Foreningen for Samfundsansvarligt Byggeri 2017.

København Kommune og ARC, Genanvendelse af beton. Erfaringer fra nedrivning af skorsten, HOFOR Amagerværket, og genanvendelse af knust beton som tilslag i ny beton til opførelse af Sydhavn Genbrugscenter i Valby (udkast til rapport december 2019)

Københavns Kommune, Ressource og affaldsplan 2018

Lauritzen, Erik Krogh, Construction, demolition and disaster waste management, CRC, Taylor & Francis Group, 2018

Lauritzen, E. K., Demolition and reuse of concrete and masonry. *Proceedings of the 3rd International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, Odense, Denmark, 1993, E. & F. N. Spon, 1993.

Miljøstyrelsen, Danmark uden affald. Ressourceplan for affaldshåndtering. Miljøstyrelsen 2014. kap. 7 Øget kvalitet i genanvendelsen af bygge- og anlægsaffald Miljøstyrelsen,

Miljøstyrelsen, Miljøprojekt 157, Anvendelse af nedknust beton i ny beton. Axel Nielsen A/S. Miljøstyrelsen 1990

Miljøprojekt nr. 1667, 2015. Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton, udarbejdet af Teknologisk Institut.

fra Miljøstyrelsen nr. 10 1996 Genanvendelsesindsatsen i bygge- og anlægssektoren 1986-1995.

Miljøstyrelsen, Miljøprojekt Affaldsforebyggelse i byggesektoren, Forprojekt, NIRAS, Copenhagen ressource Institute og Lauritzen Advising 2017.

Miljø- og Fødevarestyrelsen, Miljøstyrelsen. Genanvendelse af knust beton og tegl i nye betonkonstruktioner, MUDP-Rapport August 2018.

Miljø- og Fødevarestyrelsen, Genanvendelse af knust beton i nye betonkonstruktioner, Lendager Group 2017

Miljø og Fødevareministeriet Strategi for cirkulær økonomi, september 2018

Porter, M. E. Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance, 1985.

RILEM AAR4 Detection of potential alkali-reactivity - 60°C test method for aggregate combinations using concrete prisms

RILEM specifications for concrete with recycled aggregates. *Materials and Structures* 27, 1994, 557–559.

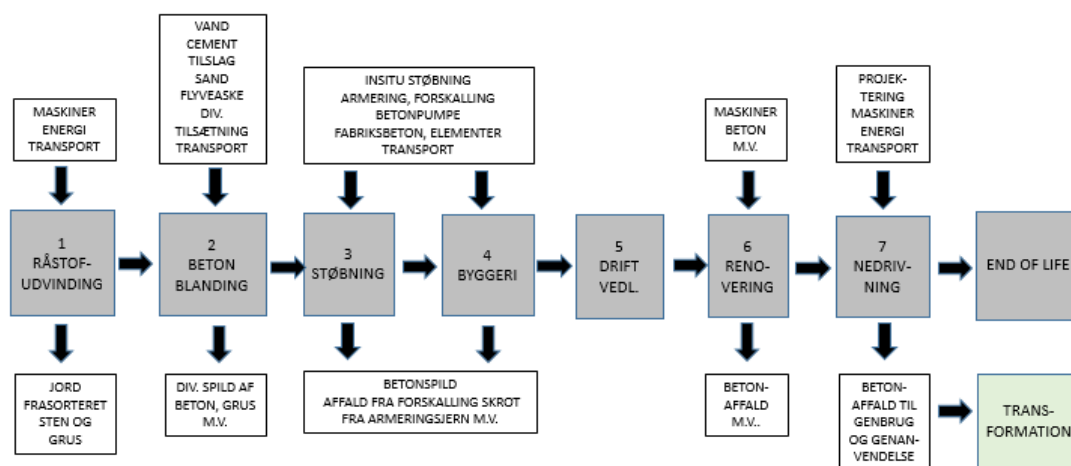
Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen skr. til samtlige kommunalbestyrelser. Dispensation fra byggeloven og bygningsreglementet – genbrugte byggevarer, 02.08.2017

Transport, Bygnings og Boligministeriets liste over ghettoområder pr. 1. december 2017

TILLÆG III. VÆRDIKÆDE FOR BETON, DETALJERET BESKRIVELSE

Med henvisning til forslag til værdikæde for genanvendelse af beton i afsnit 3.4 gives en detaljeret beskrivelse af de enkelte led:

- Første led, livscyklus for gammelt byggeri
- Andet led, transformation af betonaffald fra gammelt byggeri til grus og sten i beton i nyt byggeri
- Tredje led, livscyklus for ny bygning med beton med genanvendt tilslag.



Figur III.1. Første led. Livscyklus for betonkonstruktioner i gammelt byggeri, svarende til traditionel livscyklus.

Første led. Livscyklus for betonkonstruktioner i gammelt byggeri

1. Råstofindvinding

Indvinding af grus og sten fra råstofgrav, granitbrud eller opgravning fra havbund, knusning og sigtning af materialer. Transportafstanden og transportmåde, skib eller køretøj, betyder meget for økonomi og CO₂ emission.

2. Beton blanding

Blanding på mobilt eller stationært anlæg, afhængig af de aktuelle muligheder. Det ældre eksisterende byggeri er hovedsagelig bygget med beton støbt på stedet, medens det nyere byggeri er støbt med færdigbeton leveret i specialkøretøjer til byggepladserne. Tilførsel af sand, cement og vand samt tilsætningsstoffer jf. tidens traditioner for betonbyggeri.

3. Støbning

Transport af beton til byggeplads og støbning af konstruktionselement. Støbning er sket i forme af træ, spånplader, med ilagt armeringsnet. Afhængig om der er tale om elementbyggeri eller beton støbt på stedet sker støbningen på betonfabrik eller byggeplads.

4. Byggeri

Industrielt byggeri er gennemtidene udført med beton støbt på stedet. Byggeri med betonelementer begyndte i 1950 og er senere blevet almindeligt i det almene boligbyggeri. Betonelementer leveres med køretøj, hejses på plads og samles. Betonkonstruktioner støbt på stedet afforskalles og behandles til færdig brug i byggeriet. En stor del af byggeriet indtil slutningen af 1970erne er forurenet med PCB, bly m.v.

5. Drift og vedligehold

Betonkonstruktioner kræver normalt ikke vedligeholdelse, men i tilfælde af vandpåvirkning kan der opstå frostskafer og gennemtrængning af dæklag og angreb af rust på armering. Mindre reparationer af dæklag og armering m.v. udføres efter behov.

6. Renovering

I tilfælde af behov for reparation af betonskader eller ændring af bygningskonstruktionen foretages partiel fjernelse af beton og reparation af skadede konstruktionsdele med udskiftning af beton. Med hensyn til andet brug af bygningen kan betonkonstruktionen evt. blive ændret.

7. Nedrivning

Når byggeriet ikke længere er formålstjenligt, kan bygherren afhængig af grunden og bygningens værdi vælge mellem total nedrivning eller partiel nedrivning for at skabe nyt byggeri.

Når der er truffet beslutning om nedrivning foretages kortlægning af mulige forureninger og kortlægning af mulighederne for genbrug/genanvendelse af knust beton som tilslag i ny beton eller som ubundne materialer til vejbygning eller andet formål. Nedrivningen gennemføres som selektiv nedrivning afsluttende med nedrivning af råhus. Betonkonstruktioner nedrives og forknuses til håndterbare brokker, typisk 40 cm størrelse.

Nedrivning af betonkonstruktioner sker efter miljøundersøgelse og evt. rensning af betonen for miljøskadelige stoffer. Nedrivning sker sædvanligvis med betonhammer eller betonknuser til mindre og håndterbare brokker, som transporteres til anlæg for knusning og transformation.

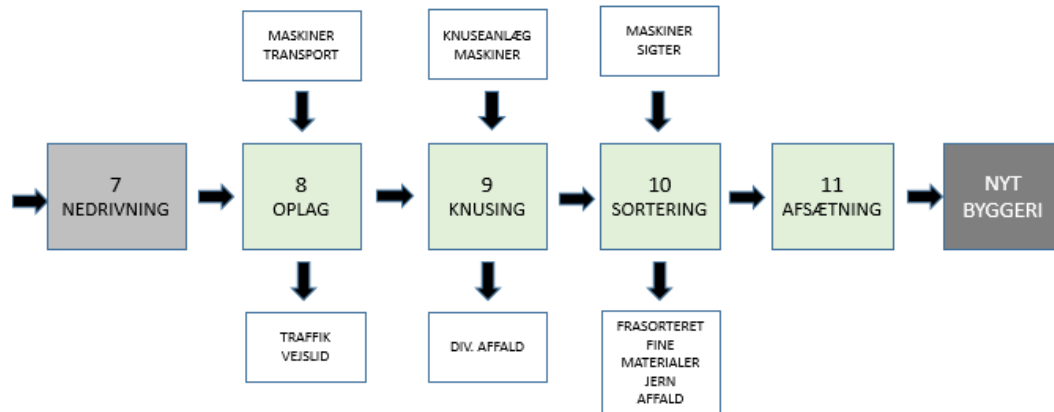
End of life

det oprindelige formål med betonkonstruktionen er afsluttet, og bygningen er nedrevet eller gjort klar til genbrug i nyt byggeri betragtes livscyklus som afsluttet.

Transformation

Bygningen transformeres ved genbrug af konstruktion i ny bygning eller nedrivning og knusning af beton med henblik på genbrug som tilslag i ny beton eller genanvendelse i ubunden form til vejbygning, evt. nyttiggørelse som fyld. Genbrug af betonelementer sker kun sjældent i dag. I fremtiden må der regnes med mulighed for genbrug af betonelementer under forudsætning af at den gamle bygning er designet til adskillelse (disassembly).

Ren beton fra nedrivning af den gamle bygning transformeres til beton i det efterfølgende byggeri enten på stedet eller på en helt anden grund afhængig af de konkrete omstændigheder.



Figur III.2. Andet led. Transformation af beton fra nedrivning af gammelt byggeri til beton i nyt byggeri.

Andet led. Transformation af beton fra nedrivning til genanvendt tilslag

Det andet led i værdikæden indeholder elementer som vist i Figur III.2, som er beskrevet nedenfor:

8. Oplag

Efter nedrivning

- oplægges betonbrokkerne på matriklen med henblik på transformation og brug i nyt byggeri på stedet, eller
- køres til registreret modtageanlæg og afhændes til videre behandling og transformation andet sted, eller
- køres til anden lokalitet og oplægges til videre behandling og transformation andet sted.

Oplag af materialer kan også finde sted senere i værdikæden mellem knusning og sortering og mellem sortering og afsætning. Uanset hvor i værdikæden materialerne oplægges er der behov for plads til såvel materialer som kørsel og læsning og andet arbejde.

Det er vigtigt at logistikken i transformations-leddet planlægges og styres, således at transportbehovet og behovet for læsning, aflæsning og flytning minimeres. Logistikken er nemlig en af de mest betydende faktorer for omkostninger og CO₂ emission med hensyn til de transformerede ressourcers konkurrencedygtighed i forhold til naturlige råstoffer.

9. Knusning

Afhængig af betonmængder, plads på lokaliteten, naboer m.v. knuses betonen med knuseanlæg på stedet eller køres til knusning andet sted. Opstilling af knuseanlæg kræver de kommunale myndigheders tilladelse. De større kommunale og private modtageanlæg, fx RGS Nordic og Norrecco har opstillet stationære knuseanlæg.

10. Sortering

Beton, som transformeres til tilslag i ny beton knuses til fx 4 mm – 25 mm og beton til ubundne bærelag knuses til 0 – 32 mm. Armeringsjern og forureninger frasorteres. Ved knusning og sortering af tilslagsmaterialer skal man regne med frasortering op til 50% fine materialer 0-4 mm. Med mindre at der foreligger konkrete muligheder for udnyttelse af den fine fraktion, skal frasorteringen ses som spild og en omkostning i produktion af tilslagsmaterialer sammenlignet med produktion af stabilgrus 0-32 mm til ubundne belægninger m.v.

11. Afsætning

Afsætning af transformeret beton i nyt byggeri er ikke noget problem, så længe vi taler om genanvendelse af nedknust beton 0-32 til fyld og ubundne overfladebelægninger. Endnu er der ikke skabt grundlag for løbende afsætning af nedknust beton som tilslag i ny beton. Uanset efterspørgslen er det ikke altid muligt at afsætte materialerne direkte fra knusning og sortering, må materialerne køres på mellemliggende lager et eller andet passende sted. Spørgsmålet om markedsføring og afsætning af transformeret beton vil blive behandlet nærmere i kapitel 5. Forretningsmodel.

Nyt byggeri

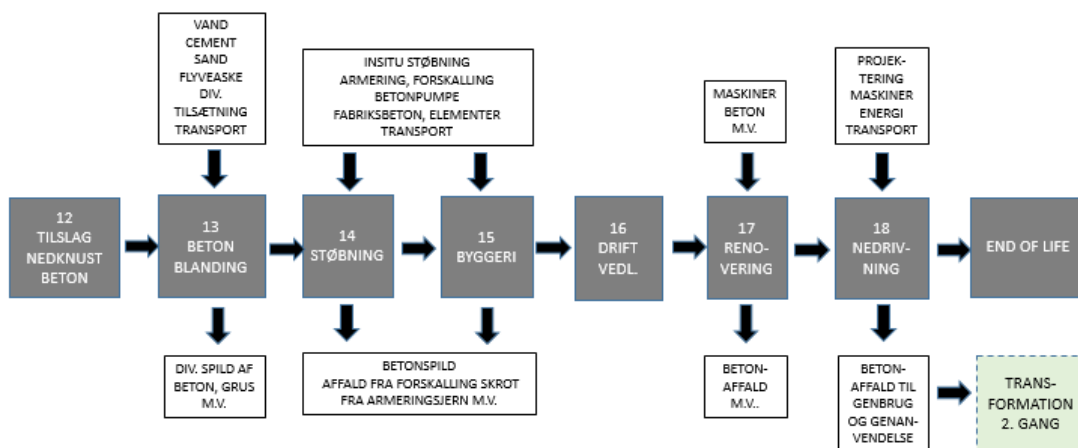
De transformerede betonmaterialer levers i rette mængder til rette tid på rette sted til nyt byggeri.

Tredje led. Livscyklus for betonkonstruktioner i nyt byggeri.

Det tredje led i værdikæden som vist i Figur III.3 ligner det første led som vist i Figur III.1 på nær det forhold, at der anvendes genanvendt tilslag af nedknust beton råstoffer i stedet for naturlige råstoffer.

12. Tilslag af nedknust beton

Det forudsættes at beton for nedrivning og knusning er blevet laboratorieprøvet og fundet egnet til anvendelse i beton, passiv miljøklasse. Efter knusning og frasortering af fine materialer skal tilslagsmaterialet opfylde de normer, som gælder for tilslag af naturlige stenmaterialer.



Figur III.3. Tredje led i værdikæden, livscyklus for nyt byggeri

13. Betonblanding

Beton blandes liges om beton med tilslag af naturlige materialer. Betonrecepten fastsættes ud fra de særlige hensyn til nedknust betons egenskaber og kontrolleres ved prøvestøbninger. Med henvisning til normen DS/EN 206-1 må der højst bruges 20% - 30% tilslagsmaterialer af knust beton. Såfremt der ønskes højere procentandel tilslag af nedknust beton kræves dispensation fra normen hos den kommunale byggemyndighed.

Da økonomien og reduktion af CO₂ emission sammenlignet med traditionel beton er afhængig af en optimal logistik i hele værdikæden kan betonblanding i et mobilt blandeanlæg på byggepladsen være mere fordelagtig end et stationært blandeanlæg i en større afstand fra pladsen.

14. Støbning

Støbning vil i fremtiden antagelig fortsat ske med forme, måske med mere avancerede og genbrugelige forme og forskallingssystemer. Støbning med 3D printning kan forventes anvendt til særlige betonkonstruktioner.

15. Byggeri

Byggeri i almindelighed fortsætter med udviklede metoder. En del betonbyggeri i fremtiden, især certificeret byggeri, forventes designet med henblik på nedrivning. Betonelementer udføres med materialepas og individmarkering.

16. Drift

Drift af betonkonstruktioner fortsætter som hidtil, eventuelt med forbedrede metoder til rensning og vedligeholdelse af betonoverflader.

17. Renovering

Levetidsforlængelser og ændringer af konstruktioner må påregnes som hidtil.

18. Nedrivning

Nedrivning påregnes udført i fremtiden på samme måde som i dag. Der vil antagelig blive anvendt metoder der i højere grad tilgodeser omliggende miljø, dvs. nedrivning af elementer med kran og fuld inddækning af konstruktionen. Bygninger, der er designet til nedrivning, nedrives i overensstemmelse med de aktuelle planer for nedrivning.